



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ENTORNO VIRTUAL PARA EL APRENDIZAJE DEL SISTEMA
RESPIRATORIO MEDIANTE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y
LEAP MOTION**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: Luis Fernando López Quezada

Alex Ricardo García Gualoto

TUTORA: Carmen Johanna Celi Sánchez

Quito-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Fernando López Quezada, con documento de identificación N° 1724043813 y Alex Ricardo García Gualoto, con documento de identificación N° 2300188626; manifestamos que:

Somos autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 01 de agosto del año 2022

Atentamente,



Alex Ricardo García Gualoto
2300188626



Luis Fernando López Quezada
1724043813

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Fernando López Quezada con documento de identificación N° 1724043813 y Alex Ricardo García Gualoto, con documentos de identificación N° 2300188626, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Entorno virtual para el aprendizaje del sistema respiratorio mediante el uso de inteligencia artificial y Leap Motion”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del año 2022

Atentamente,



Alex Ricardo García Gualoto

2300188626



Luis Fernando López Quezada

1724043813

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carmen Johanna Celi Sánchez con documento de identificación N° 1717437808, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ENTORNO VIRTUAL PARA EL APRENDIZAJE DEL SISTEMA RESPIRATORIO MEDIANTE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LEAP MOTION, realizado por Luis Fernando López Quezada con documento de identificación N° 1724043813 y por Alex Ricardo García Gualoto con documento de identificación N° 2300188626, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'JOHANNA CELI SANCHEZ', written over a horizontal line.

Ing. Carmen Johanna Celi Sánchez MSc.

1717437808

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a mis padres pilar fundamental en mi vida, a mis familiares amigos y compañeros los cuales forman una parte importante en mi vida, por el apoyo en momentos difíciles y la motivación de cada uno de ellos; a la MSc. Johanna Celi por su tiempo y apoyo con tutorías y por su colaboración en la dirección de este proyecto, dedicado a mi primer mentor el Lic. José Nagua que ya no lo tenemos con nosotros, pero desde mi primer día de clases mostró su confianza en mí y su apoyo incondicional.

García Gualoto Alex Ricardo

Dedico con todo el corazón mi tesis a mis padres, ya que sin su apoyo incondicional y consejos nada sería posible, a mi abuelita y mi hermano que siempre confiaron en mis capacidades y me han alentado a ser un gran ser humano y un buen profesional; a la MSc. Johanna Celi por creer en nosotros y en nuestro trabajo, a todas las personas que compartieron conmigo durante toda mi vida y colaboraron para que este sueño se haga realidad.

López Quezada Luis Fernando

AGRADECIMIENTOS

Ambos autores queremos agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, a todos los maestros de Ingeniería Electrónica, que nos aportaron muchos conocimientos y enseñanzas valiosas, sin las cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Primeramente agradezco a Dios por la salud dada, por bendecirme y guiarme en este camino universitario, a mi familia por ser el pilar fundamental y el apoyo incondicional en los momentos más difíciles donde me motivaron para superar todo tipo de retos; como principal quiero agradecer a mis padres Mesías García e Isabel Gualoto que gracias a sus esfuerzos y sus consejos lograron guiarme por el buen camino y así cumplir una meta más en mi vida; a mis hermanos por todo su apoyo indistinto, los consejos y las gestiones que realizaron para culminar esta carrera de la mejor manera posible y evitando sobresaltos en el camino, por último quiero agradecer a Fernando López por el acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

García Gualoto Alex Ricardo

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de crecimiento profesional con salud, a mis padres Luis López y Amparo Quezada por ser mi ejemplo a seguir de constancia, dedicación y amor, a mi hermano Sebastián López por darme la oportunidad de ser mejor hermano cada día, a mi abuelita Elena, por darme las fuerzas necesarias para no rendirme, mis ángeles del cielo Camilo, Luz María y Aladino que, aunque no estén con nosotros me cuidan desde el cielo, a mis tíos Marina, Dolores, William y Miriam por sus consejos, a mi amigo Israel por apoyarme en cada decisión que he tomado, a Erika por darme su apoyo y amor incondicional en cada momento, por ultimo agradecer a Alex García por ayudarme con la realización de este proyecto.

López Quezada Luis Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Propuesta de solución	3
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO CONCEPTUAL	5
2.1 Aparato respiratorio	5
2.2 Estructura respiratoria.....	5
2.2.1 Nariz	6

2.2.2	Faringe.....	6
2.2.3	Laringe	6
2.2.4	Cavidad bucal.....	6
2.2.5	Cartílago tiroides	7
2.2.6	Cartílago cricoides.....	7
2.2.7	Tráquea.....	7
2.2.8	Anillos traqueales.....	7
2.2.9	Bronquios	7
2.2.10	Alveolos	9
2.2.11	Pulmones	9
2.3	Leap Motion	10
2.3.1	Características técnicas.....	11
2.4	Blender.....	14
2.5	Unity	15
2.6	Mecánica respiratoria.....	15
2.7	Inteligencia artificial.....	16
2.8	Multimedia Inmersiva.....	16
2.9	Estado del arte	17
CAPÍTULO 3.....		19
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN		19
3.1	Selección de software de modelamiento tridimensional	19
3.2	Modelamiento de elementos del sistema respiratorio.....	19
3.2.1	Pulmones	19
3.2.2	Tráquea y bronquios.....	20
3.2.3	Anillos traqueales.....	21
3.2.4	Cartílago tiroides y cricoides.....	22

3.2.5	Cavidad bucal y laringe.....	22
3.2.6	Nariz y faringe.....	23
3.3	Pintura y textura de elementos.....	23
3.3.1	Pintura	23
	Coloración pulmones	24
3.4	Diseño de ambiente virtual en Unity	25
3.4.1	Descargables.....	25
3.4.2	Detector de dedos extendidos.....	26
3.4.3	Detector de dirección de palma.....	27
3.4.4	Detector de puerta lógica	28
3.5	Escenas del ambiente de aprendizaje.....	29
3.5.1	Menú principal	29
3.5.2	Interacción 3D.....	30
3.5.3	Museo respiratorio	31
3.5.6	Conoce con inteligencia artificial	32
3.5.7	Contribución de la mecánica respiratoria.....	36
3.6	Inteligencia artificial mediante lógica difusa.....	37
3.6.1	Diseño de sistema difuso mediante el software Matlab.....	37
3.6.2	Creación de la lógica del sistema difuso en C#	43
	CAPÍTULO 4.....	48
	ANÁLISIS Y RESULTADOS	48
4.1	Pruebas en ambiente controlado	48
4.2	Pulmones	51
a)	Nivel 1	51
b)	Nivel 2	52
c)	Nivel 3	52

d) Nivel 4	53
e) Nivel 5	54
f) Nivel 6	54
g) Nivel 7	55
h) Nivel 8	56
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura del sistema respiratorio.....	5
Figura 2.2. Bronquios y bronquiolos principales y secundarios	8
Figura 2.3. Nomenclaturas bronquiales.....	9
Figura 2.4. Fisiología pulmonar	10
Figura 2.6. Componentes del dispositivo Leap Motion	11
Figura 2.7. Iluminación infrarroja del dispositivo.....	12
Figura 2.8. Microcontrolador del dispositivo	13
Figura 2.9. Zona de cobertura del dispositivo	14
Figura 3.1. Proceso de estructuración de pulmones 1	20
Figura 3.2. Proceso de estructuración de pulmones 2	20
Figura 3.4. Formación del sistema bronquial	21
Figura 3.5. Vistas del sistema bronquial y tráquea	21
Figura 3.6. Anillos Traqueales	22
Figura 3.7. Cartílagos tiroides y cricoides.....	22
Figura 3.8. Cavidad bucal y laringe	23
Figura 3.9. Modelamiento de la nariz.....	23
Figura 3.10. Diagrama de barras de coloración de pulmones	24
Figura 3.11. Pulmones matizados	25
Figura 3.12. Script detector de dedos extendidos.....	26
Figura 3.13. Dedos extendidos y contraídos	27
Figura 3.14. Script detector de dirección de palma.....	27
Figura 3.15. Detector de dirección de palma.....	28
Figura 3.16. Comportamiento detector de puerta lógica.....	28
Figura 3.17. Menú principal.....	29
Figura. 3.18. Botonera Menú principal	30

Figura 3.19. Escena interacción 3D.....	30
Figura 3.20. Escenario museo respiratorio, estación “Pulmones”	31
Figura 3.21. Información bloque Pulmones	32
Figura 3.22 Diagrama de bloques del sistema difuso.....	33
Figura 3.23. Entrada “Edad”	33
Figura 3.24. Entrada “Peso”	34
Figura 3.25. Entrada “Estatura”	34
Figura 3.26 Entrada “Enfermedades previas”	35
Figura 3.27. Entrada “Biomasa contaminante”	35
Figura 3.28. Entrada “Consumo de cigarrillos”	36
Figura 3.29. Salida “Nivel 1”	36
Figura 3.30. Diseño de conjuntos difusos entrada 1: Peso.....	38
Figura 3.31. Diseño de conjuntos difusos entrada 2: Edad	38
Figura 3.32. Diseño de conjuntos difusos entrada 3: Estatura	39
Figura 3.33. Diseño de conjuntos difusos entrada 4: Enfermedades.....	39
Figura 3.34. Diseño de conjuntos difusos entrada 5: Exposición a biomasa	40
Figura 3.35. Diseño de conjuntos difusos entrada 6: Consumo de tabaco.....	40
Figura 3.36. Diseño de conjuntos difusos salida 1: Decoloración del pulmón	41
Figura 3.37. Diseño de conjuntos difusos salida 2: Deformación del pulmón.....	41
Figura 3.38. Diseño de conjuntos difusos salida 3: Frecuencia respiratoria	42
Figura 3.39. Estructura del sistema difuso	43
Figura 3.40. Creación de las funciones de membresía	44
Figura 3.41. Valores flotantes de inicialización de conjuntos.....	45
Figura 3.42. Fusificación de las entradas.	45
Figura 3.43. Combinación de entradas y salidas posibles.....	46
Figura 3.44. Creación de las reglas de inferencia difusas.	46

Figura 3.45. Desfusificación del sistema.....	47
Figura 4.1. Pregunta 1, conocimientos de VR.....	48
Figura 4.2. Pregunta 2, segmento educativo VR.....	49
Figura 4.3. Pregunta 3, nivel de aceptación de VR.....	49
Figura 4.4. Pregunta 4, importancia de VR.....	50
Figura 4.5. Pregunta 5, implementación de VR en laboratorios.....	50
Figura 4.6. Pulmones nivel 1.....	51
Figura 4.7. Pulmones nivel 2.....	52
Figura 4.8. Pulmones nivel 3.....	53
Figura 4.9. Pulmones nivel 4.....	53
Figura 4.10. Pulmones nivel 5.....	54
Figura 4.11. Pulmones nivel 6.....	55
Figura 4.12. Pulmones nivel 7.....	56
Figura 4.13. Pulmones nivel 8.....	56
Figura 4.14. Datos obtenidos del Usuario A.....	58
Figura 4.15. Datos obtenidos del Usuario B.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción del Microcontrolador de circuito integrado	13
Tabla 3.1. Estructura del sistema difuso entradas	42
Tabla 3.2. Estructura del sistema difuso salidas.....	43
Tabla 4.1. Estado final de los pulmones.....	57
Tabla 4.2. Datos de entrada de 2 usuarios	57

RESUMEN

En este proyecto de titulación se presenta el desarrollo de un entorno virtual interactivo como enseñanza-aprendizaje del sistema respiratorio y su funcionamiento, esto se genera de manera que aporte como herramienta de soporte educativo en todo nivel de aprendizaje. Este entorno es creado mediante la plataforma de desarrollo Unity en conjunto con Leap Motion y Blender que se encarga del diseño de los modelos de la estructura del sistema respiratorio humano.

El uso de la realidad virtual forma parte de este proyecto que comprende el modelado de la estructura del sistema respiratorio en cuanto a su función y visualización haciendo que el usuario obtenga una experiencia única y sea lo más parecido a la realidad. La interfaz del entorno cuenta con un menú que presenta 3 opciones de aprendizaje, Interacción 3D, Museo Respiratorio y Conoce con Inteligencia Artificial (IA). El dispositivo Leap Motion permitirá a los estudiantes interactuar y manipular de manera inalámbrica cada parte del sistema respiratorio en 3D en los entornos virtuales haciendo gestos con las manos sobre el dispositivo, además se despliega información relevante sobre el objeto señalado con fines informativos.

ABSTRACT

This degree project presents the development of an interactive virtual environment as teaching-learning of the respiratory system and its operation, this is generated so that it contributes as an educational support tool at all levels of learning. This environment is created using the Unity development platform in conjunction with Leap Motion and Blender, which is responsible for the design of the models of the structure of the human respiratory system.

The use of virtual reality is part of this project that includes the modeling of the structure of the respiratory system in terms of its function and visualization making the user get a unique experience and is as close to reality. The interface of the environment has a menu that presents 3 learning options, 3D Interaction, Respiratory Museum and Know with Artificial Intelligence (AI). The Leap Motion device will allow students to wirelessly interact and manipulate each part of the respiratory system in 3D in the virtual environments by making hand gestures on the device, and relevant information about the pointed object is displayed for informational purposes.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la medicina la simulación y la manipulación de herramientas tecnológicas se han utilizado como ayuda para aprendizaje y entrenamiento de su personal. La visualización computacional ayuda o complementa el estudio de la anatomía del cuerpo humano como en cada uno de sus sistemas haciendo un mayor énfasis hasta en los más pequeños detalles mediante el uso de modelados 2D. Cuando la simulación y la visualización médica se fusionan a la realidad virtual aparece un ambiente inmersivo, el cuál es idóneo para lograr una mejor comprensión del funcionamiento del cuerpo humano y por ende el sistema respiratorio.(Silva et al., 2018) Los simuladores virtuales que reproducen el funcionamiento respiratorio detallan a la respiración como una relación en el intercambio de gases, además de los procesos internos que conlleva. La mayoría de las implementaciones computacionales de estos no poseen con una interfaz gráfica. (Santhanam et al., 2008)

Este trabajo presenta el desarrollo de un entorno virtual del sistema respiratorio usando un dispositivo especializado de carácter preciso en captación de movimientos de la mano con el cual se pretende enlazar la interacción con el usuario donde se muestran modelos 3D del sistema respiratorio que permitan explorar cada una de sus principales funciones desarrollando incrementando la capacidad de comprensión basado en la interactividad realizada, el cual se cumplirá por capítulos:

El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, justificación, objetivos y propuesta de solución del proyecto realizado.

En el segundo capítulo comprende al marco teórico donde se colocan todas las investigaciones y fichas técnicas más importantes que contribuyan a un mejor desarrollo del proyecto técnico.

En el tercer capítulo se describen todos los materiales y herramientas utilizadas, así como el procedimiento del desarrollo del entorno virtual y cada una de sus etapas hasta la culminación de la misma.

En el cuarto y último capítulo se detallan las pruebas realizadas en el entorno creado, se analizan los resultados en base a los parámetros de facilidad de utilización como niveles de aceptación y agrado, factibilidad, contribución al aprendizaje, etc.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

Al día de hoy los simuladores de pulmones utilizan paradigmas de modelado simplificados, lo que provee información valiosa para el aprendizaje del funcionamiento del pulmón, pero carece de sentido en aplicaciones reales como simular el estado del pulmón de una persona. (Nakagawa et al., 2017)

Actualmente existen algunos simuladores del funcionamiento respiratorio vigentes en el mercado, estos son aparatos electrónicos físicos que recrean el movimiento del pulmón. Además, existen simuladores virtuales, que recrean el funcionamiento de ventiladores mecánicos que se muestran al usuario a través de una interfaz gráfica 2D, la misma que no es posible apreciar en su totalidad y de manera clara las partes del cuerpo involucradas en la ventilación. (Santhanam et al., 2008)

Los estudiantes prefieren el aprendizaje interactivo como reemplazo de las clases tradicionales por facilidades de acceso y libertad de navegación, alta calidad de imágenes médicas y la ventaja de práctica repetida, siendo una importante herramienta de la Medicina basada en la evidencia. (Luengas et al., 2012)

De lo antes mencionado surge la idea de desarrollar un entorno virtual interactivo del sistema respiratorio, para el aprendizaje e interacción de estudiantes de cualquier nivel educativo, debido a que en la actualidad las metodologías de enseñanzas a nivel mundial están dando un cambio significativo, por ejemplo: presencial, inmersiva, presencial videoconferencia, presencial avatar. Para desarrollar esta propuesta se utilizará dispositivos electrónicos, modelamiento tridimensional y animación en Unity.

1.2 Justificación del proyecto

En el ámbito medicinal la simulación es utilizada para recrear escenarios clínicos, y reproducir la fisiología del cuerpo, permitiendo el aprendizaje profundo de los estudiantes. La visualización por medio de computadora permite estudiar y tener una mayor proyección de la anatomía del cuerpo humano mediante el uso de modelos 3D de alta resolución. Los simuladores virtuales del funcionamiento respiratorio detallan a la respiración como una

relación entre volúmenes, presiones, y flujos de aire, de manera simplificada, y la mayoría de las implementaciones computacionales utilizadas no cuentan con una interfaz gráfica. (Santhanam et al., 2008)

En la actualidad se están desarrollando varios estudios referentes a entornos virtuales direccionado a la mayoría de las Ingenierías, es así que (Cortez Ospina et al., 2020), desarrollaron un simulador que es una herramienta computacional de investigación, educación, y desarrollo, permite comprender y examinar los efectos y variables de más relevancia de la respiración, con aplicaciones en generación de conocimiento y entrenamiento de personal a partir de la simulación. Así también (Nicola et al., 2016), en su estudio establece un algoritmo de inteligencia artificial basado en técnicas de aprendizaje reforzado, este algoritmo ayuda a los usuarios del simulador a escoger valores para los parámetros del simulador.

Otro estudio desarrolló un sistema respiratorio, el cual tiene como objetivo la utilización de la plataforma de realidad virtual para la adquisición de conocimiento para diferentes tipos de público, empezando como una introducción virtual para estudiantes principiantes. (Rajeswaran, 2019) Sin embargo, los estudiantes no obtendrían la interacción anatómica con el sistema respiratorio, donde Leap Motion si lo permite mediante la interacción de modelos tridimensionales.

En el estudio de (Gonzalez, 2017), indica que la formación médica en entornos virtuales de simulación, es la idea principal de formación para las futuras generación de médicos, como lo indica en su trabajo, tiene como objetivo principal la visualización inmersiva del corazón utilizando Leap Motion para la manipulación de modelos 3D, indicando las partes que lo componen y su representación en realidad virtual. No obstante, no muestra un entorno emulado con las características del funcionamiento que genera el movimiento del órgano humano con ingreso de datos de variables de movimiento con Leap Motion y así obtener una experiencia casi real.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un entorno virtual para el aprendizaje del sistema respiratorio mediante modelado 3D e inteligencia artificial.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar el software de realidad virtual, sensor Leap Motion, modelamiento 3D y mecánica respiratoria para el estudio del sistema respiratorio, mediante base de datos de artículos científicos y repositorios universitarios.
- Desarrollar un entorno virtual para el aprendizaje del sistema respiratorio a través de la plataforma Unity.
- Establecer una conexión entre la plataforma Unity con el sensor Leap Motion, para la interacción en el entorno virtual, mediante una interfaz de comunicación.
- Integrar las variables de la mecánica respiratoria en el modelado tridimensional para la emular el comportamiento respiratorio mediante inteligencia artificial.
- Evaluar el funcionamiento del entorno virtual para la validación del comportamiento del sistema respiratorio mediante distintas características de la mecánica respiratoria en entornos controlados.

1.4 Propuesta de solución

Este trabajo presenta el desarrollo de un simulador virtual del sistema respiratorio usando un dispositivo especializado de carácter preciso en captación de movimientos de la mano con el cual se pretende enlazar con la interacción del usuario donde se muestran modelos 3D del sistema respiratorio que permitan explorar cada una de sus principales funciones desarrollando una mayor capacidad de comprensión basado en la interactividad realizada.

El proyecto se basa en el modelo de arquitectura 3D, animación por realidad virtual, en donde se observarán las partes que conforman el sistema respiratorio al mismo tiempo interactuar con el mismo, mediante menús, botones interactivos, y movimiento de elementos.

Para la construcción de las partes del sistema respiratorio se utilizará la plataforma de modelado y animación Blender, aquí se crearán las partes necesarias como los pulmones, bronquios, tráquea, cartílagos tiroides y cricoides, faringe, laringe, nariz, etc. En esta plataforma es importante el lineamiento correcto de los rasgos de aspecto que deben tener las animaciones, para conseguir el efecto más cercano a la realidad, considerando que tendrán movimiento. Para la animación e interacción con el usuario se utilizará la plataforma 3D del programa Unity, en un escenario creado con este programa se empleará hardware como Leap Motion, siendo este para realidad virtual.

Se utiliza los modelos difusos que permiten describir el comportamiento y cambios que ha tenido con factores tanto internos como externos a partir de suposiciones de cómo funciona el pulmón. Resulta de importancia la lógica que se emplea para mostrar un posible estado físico de una parte del sistema respiratorio (pulmones), aplicando Inteligencia Artificial.

En el entorno se fijan 3 opciones en el menú principal: “**Interacción 3D**” (Trata de una visualización del sistema respiratorio, con un manejo del mismo con la mano izquierda, además de un recuadro de información adicional de datos curiosos), “**Museo respiratorio**” (El usuario viaja a través de estaciones en donde se encuentran los elementos del sistema respiratorio e información), “**Conoce con IA**” (El usuario introduce datos del estado de salud, la IA toma los datos y produce una salida del estado sus pulmones).

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Aparato respiratorio

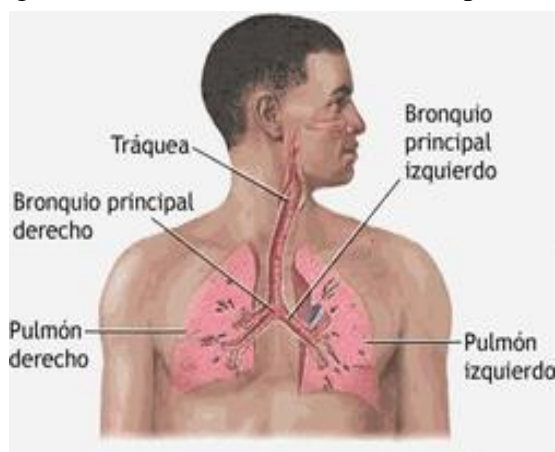
Está constituido por estructuras encargadas de intercambiar gases entre el ambiente y la vía sanguínea. El oxígeno (O₂) es introducido en el cuerpo para que realice la distribución a los tejidos y el dióxido de carbono (CO₂) que es generado por el metabolismo celular, este último es enviado y eliminado al exterior. (West, 2017)

Este proceso de intercambio de O₂ y CO₂, entre sangre y atmósfera se lo denomina respiración externa. Mientras que el intercambio de gases entre sangre capilar con las células de tejidos que se encuentran dentro de dichos capilares, se lo denomina respiración interna. (Reiriz Palacio, 2015)

2.2 Estructura respiratoria

El sistema respiratorio según (Tortora & Derrickson, 2013), muestra que éste comprende una estructura constituida por nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios y pulmones, como se muestra en la Figura 2.1. La estructura del sistema respiratorio se encuentra dividida por partes como: vías respiratorias inferiores y superiores, al igual que también se la puede dividir por su funcionamiento como: zonas de conducción y zonas de respiración.

Figura 2.1. Estructura del sistema respiratorio



Estructura del sistema respiratorio, Fuente: (Tortora & Derrickson, 2013)

2.2.1 Nariz

La nariz es considerada un órgano especializado en la entrada de aire, está comprendida por una sección interna y una externa. El lado externo contiene la porción notable del rostro y está compuesta en su mayoría por hueso, cartílagos hialinos cubiertos por piel y tejido muscular. La otra parte es la interna que tiene 3 funciones importantes como: calentamiento y modificación de las vibraciones vocales. (Tortora & Derrickson, 2013)

2.2.2 Faringe

Está conformada por tejido muscular constrictor y la parte alta de la Orofaringe que son colapsables. El largo de la faringe es de alrededor de 5 pulgadas, las funciones principales son: deglución, fonación, inhalación y exhalación. Cuando se presenta una situación patológica esto puede llevarlas al colapso, produciendo ronquidos y apneas obstructivas. (Sánchez & Concha, 2021)

La faringe se divide en 3 regiones:

- Nasofaringe
- Orofaringe
- Laringofaringe

2.2.3 Laringe

Es parte de la prolongación que se extiende desde el conducto faríngeo hasta la parte superior de la tráquea. Contiene cartílagos, membranas y ligamentos además de cuerdas vocales importantes para la fonación. En su parte superior se ubica la epiglotis que posee su estructura parecida a la de una hoja. La epiglotis actúa como una contención que dirige el aire hacia la tráquea mientras que los sólidos y líquidos van al esófago, impidiendo así que estos puedan pasar al pulmón. (Suárez et al., 2007)

2.2.4 Cavity bucal

Bajo la nariz, la cavidad bucal se utiliza para la alimentación, aunque también tiene importancia en el sistema respiratorio, cuando el ser humano realiza una carga de ejercicio constante, el ritmo cardiaco se eleva, lo que incrementa la cantidad de oxígeno que necesita para llevar a los tejidos, por esta razón se tiene un ritmo de respiración aumentado, y el trabajo de los pulmones

se multiplica, al mismo tiempo la cantidad de aire necesario aumenta, siendo el conducto nasal no suficiente, produciendo la respiración bucal. (Rodríguez & Delgado, 2006)

2.2.5 Cartílago tiroides

Ubicado en el esqueleto nasal, compuesto de láminas tipo placas que tienen una fusión en el lado anterior, formando un pico, con denominación prominencia laríngea, y conocido comúnmente como “Nuez de Adán”. En los hombres la prominencia laríngea es más destacada debido a que en los hombres esta forma un ángulo de 90° y en las mujeres de 120°. (García, 2015)

2.2.6 Cartílago cricoides

Ubicado bajo el cartílago tiroides, hacia su interior el anillo se adelgaza y forma un arco, esta se ensancha y forma una lámina gruesa y cuadrada. Su función principal es proteger la tráquea y la laringe. (García, 2015)

2.2.7 Tráquea

La tráquea es un conducto de aproximadamente unos 11 cm de largo y tiene cabida desde la laringe hasta los bronquios. Pasa de manera descendente frente al esófago e ingresa directo al mediastino, se desvía levemente hacia el lado derecho, ahí los bronquios se dividen en 2 principales: bronquio izquierdo y bronquio derecho. La tráquea se conforma por anillos cartilagosos, fortaleciéndose mediante una mucosa que impide que las paredes se colapsen. Entre los anillos existen fibras elásticas que permiten que se extienda y disminuya durante la inspiración, ayudando así a la retracción pulmonar durante la espiración. (Ferrer, 2018)

2.2.8 Anillos traqueales

Compuestos cada uno de una parte membranosa, además de un semicírculo de cartílago que le aporta forma y resistencia a la tráquea, existen alrededor de 15 – 16 anillos alrededor de toda la tráquea. (Ferrer, 2018)

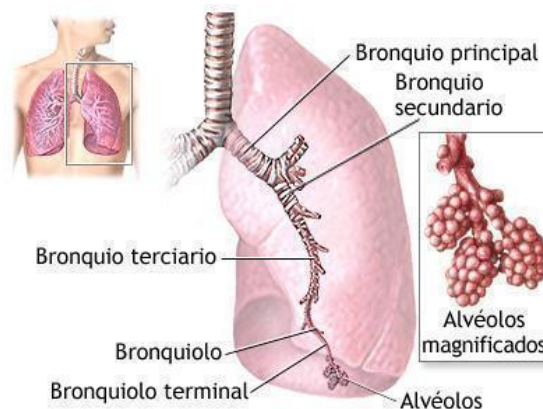
2.2.9 Bronquios

Existen dos bronquios principales un izquierdo y un derecho que están estructurados por anillos cartilagosos, divididos uniformemente en cada pulmón, y se transportan de forma descendente hacia el exterior, desde la parte inferior ubicada en la tráquea hasta ingresar en

cada pulmón. El bronquio ubicado en la derecha posee ciertas características de menor extensión, mayor verticalidad y amplitud en comparación con el bronquio izquierdo, explicando así que existe una mayor probabilidad que un objeto aspirado ingrese en el bronquio principal derecho. Cada bronquio principal se divide en bronquios lobulares o secundarios y existen dos en el lado izquierdo y tres en el lado derecho correspondiente a un lóbulo del pulmón. (Tortora & Derrickson, 2013)

Los Bronquios segmentarios se encuentran divididos en bronquiolos o bronquios de menor tamaño que se extienden en conductos más cortos como se muestra en la Figura 2.2, repitiendo esto hasta formar los bronquiolos terminales. De manera que esta ramificación bronquial se parece a un árbol invertido y por ello se llama árbol bronquial. (Tortora & Derrickson, 2013)

Figura 2.2. Bronquios y bronquiolos principales y secundarios

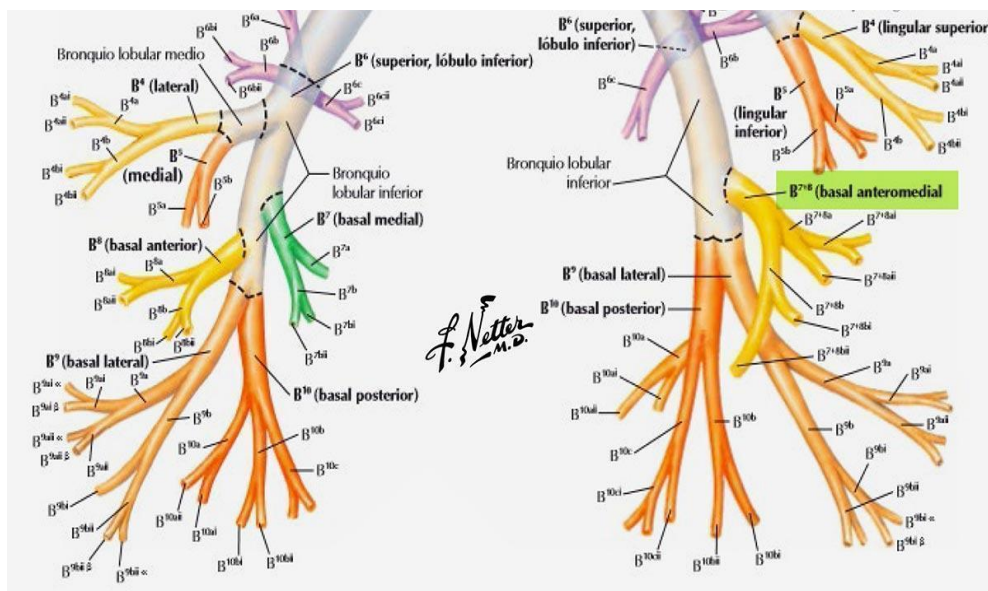


Bronquios y bronquiolos principales y secundarios, Fuente: (Tortora & Derrickson, 2013).

- Nomenclatura de los bronquios

Existe una nomenclatura de uso común para los segmentos broncopulmonares generada por Jackson y Huber, como se muestra en la Figura 2.3, los cuales nombraron los segmentos bronquiales, para las subdivisiones de bronquios hasta la sexta generación. (Netter, 2001)

Figura 2.3. Nomenclaturas bronquiales



Nomenclatura bronquial, Fuente: (Netter, 2001).

2.2.10 Alveolos

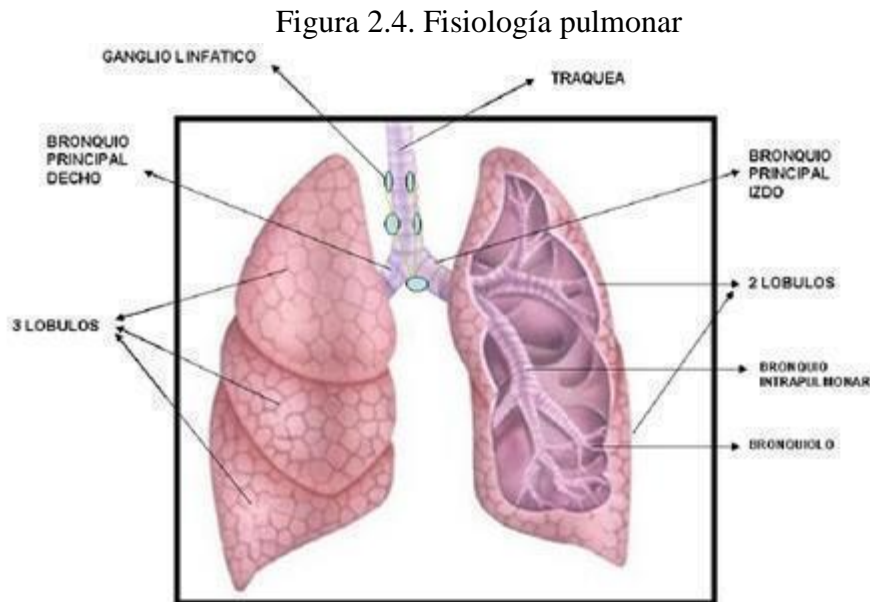
Bolsas de muy pequeño tamaño, ubicadas en los extremos de los bronquios. Su función es el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre la sangre y los pulmones durante el proceso de la respiración. El oxígeno que al ingresar con cada inspiración traspasa los alvéolos, se dirige hacia la sangre y se encamina por el cuerpo. El dióxido de carbono que proviene del cuerpo toma vía por la sangre, atraviesa nuevamente los alvéolos y se elimina durante la espiración. (Sánchez & Concha, 2021)

2.2.11 Pulmones

Los pulmones son los órganos que principalmente se encargan de la respiración. Son ligeros, suaves, esponjosos y muy flexibles como se aprecia en la Figura 2.4, pueden reducirse hasta 1/3 de su tamaño al momento de abrir su cavidad torácica. (Tortora & Derrickson, 2013)

El pulmón situado en la parte izquierda del sistema respiratorio se divide por medio de una rotura inclinada como lo muestra la Figura 2.4, en lóbulos encontrados en la parte inferior y superior que contienen 8 fragmentos. El pulmón restante ubicado en la parte derecha se lo divide por dos roturas en los lóbulos, que posee cerca de 10 fragmentos diferentes. Estos pulmones suelen estar recubiertos por una membrana delgada que se divide mediante una capa exterior que recubre la pared del tórax y del diafragma, al igual que sucede con la capa interior o pleura

visceral, que está colocada en la parte superior de los pulmones. Cuando se juntan las dos capas pleurales existe una pequeña cavidad (cavidad pleural), que retiene el líquido pleural, que realiza el trabajo o función de facilitar el movimiento de los pulmones durante la respiración. (García, 2015)



Fisiología pulmonar, Fuente: (Tortora & Derrickson, 2013)

2.3 Leap Motion

Es un módulo óptico de seguimiento de manos que captura el movimiento de las manos y los dedos de los usuarios, permitiendo esa interacción humano-máquina del mundo real con el mundo digital. Pequeño, rápido y preciso, el Leap Motion Controller puede usarse para aplicaciones de productividad con computadoras con Windows, integrarse en soluciones de hardware o pantallas de nivel empresarial, otra manera de uso que genera la interacción de este dispositivo es conectarse a auriculares de realidad virtual / aumentada para la creación de prototipos digitales AR / VR / XR. (Manual Leap Motion, 2010)

El controlador puede rastrear las manos dentro de una zona interactiva 3D con una longitud que se extiende hasta 60 cm (24") o más, tomando como referencia el lugar donde se encuentra el dispositivo, un rango de proyección de $120 \times 150^\circ$. Leap Motion está capacitado para detectar 27 distintos movimientos que realicen las manos, donde se incluyen articulaciones y parte del sistema óseo ubicado en las manos, rastrearlos a pesar de que algunos se encuentran ocultos por otras partes de la mano. Con una frecuencia de actualización de 120Hz y un software de baja

latencia, el tiempo entre el movimiento y el fotón cae por debajo del umbral de percepción humana. (Manual Leap Motion, 2010)

2.3.1 Características técnicas

- Dimensiones

Las dimensiones particulares de este dispositivo son escasas si se las compara con otros dispositivos de interfaz gestual; sus medidas son 75 mm de longitud y 25 mm de amplitud.

- Componentes

Leap Motion cuenta con dos cámaras frontales, tres diodos emisores de luz y un microcontrolador. A continuación, se muestra en la Figura 2.6, y se detalla cada parte con mayor énfasis:

Figura 2.6. Componentes del dispositivo Leap Motion



Componentes del dispositivo Leap Motion, fuente: (Manual Leap Motion, 2010)

- Cámara

Las cámaras son partes fundamentales del dispositivo, dado que son las encargadas de capturar las imágenes de buena calidad y precisión de disparo que condicionarán el correcto funcionamiento del resto de sistema. Cada cámara instalada cuenta con un sensor monocromático, sensible a la luz infrarroja, con un alcance de longitud de onda de 850 nm. La velocidad promedio de estos sensores es de hasta 200 frames por segundo (fps), dependiendo del rendimiento del ordenador/tablet al que se conecta el dispositivo. Los sensores con los que cuenta son de tipo CMOS. (Leap Motion, 2011)

La digitalización de los píxeles de un sensor semiconductor complementario de óxido metálico (CMOS) se realiza dentro de cada celda, esto hace que no se necesite un chip externo, a diferencia de los sensores de dispositivo de carga acoplada (CCD) que necesitan uno para funcionar correctamente. Esto se traduce en mayor velocidad para capturar imágenes y en menor espacio para albergar los sensores. (Leap Motion, 2011)

- Iluminación infrarroja

Los diodos emisores de luz se encargan de iluminar toda la zona de cobertura por inundación como se muestra en la Figura 2.7. Realizan el trabajo en el espectro de luz infrarroja a una longitud de onda que alcanza los 850 nm que, por lo tanto, dicha distancia es la misma a la que son sensibles los sensores ópticos. Varían su consumo eléctrico y por ende también la iluminación, dependiendo de la luz que haya en la zona de cobertura para asegurar una resolución de imagen parecida. (Leap Motion, 2011)

Los diodos emisores de luz se encuentran distanciados por diminutas paredes plásticas. De esta forma se asegura que la luminaria sea distribuida en partes iguales en la zona de proyección. Además, protege a los sensores ópticos de un posible destello o saturación de luz, dado que de esta manera la luz infrarroja no infiere completamente. (Leap Motion, 2011)

Figura 2.7. Iluminación infrarroja del dispositivo

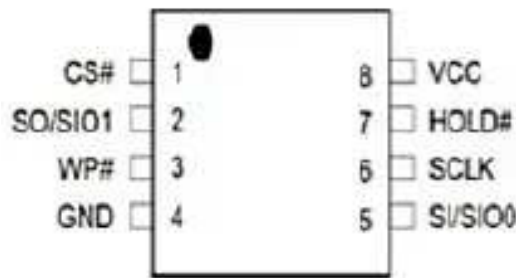


Iluminación infrarroja del dispositivo, Fuente: (Leap Motion, 2011)

- Microcontrolador

Es un circuito integrado que se encarga de hacer la función de BIOS, se observa en la Figura 2.8. El Micro contiene el programa que controla todo el dispositivo, puede regular la iluminación y se encarga de recolectar la información de los sensores que será enviada a través de un driver o controlador instalado en el ordenador/tablet. (Leap Motion, 2011)

Figura 2.8. Microcontrolador del dispositivo



Microcontrolador del dispositivo, Fuente: (Leap Motion, 2011)

Como se observa en la Tabla 2.1, la descripción del circuito integrado del Microcontrolador el mismo que se encuentra en el interior de la carcasa del dispositivo.

Tabla 2.1. Descripción del Microcontrolador de circuito integrado

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
CS#	Chip selects
S1/SIO0	Serial Data Input (for 1 x I/O) serial Data Input & Output (for Dual Output ,mode)
SO/SIO1	Serial Data Output (for 1 x I/O) serial Data Output (for Dual Output ,mode)
SCLK	Clock input
WP#	Write protection
HOLD#	Hold, to pause the advice without deselecting the device
VCC	+3.3V Power Supply
GND	Ground

Tabla de descripción del microcontrolador de circuito integrado, Fuente: (Leap Motion, 2011)

- Envío y recepción de datos

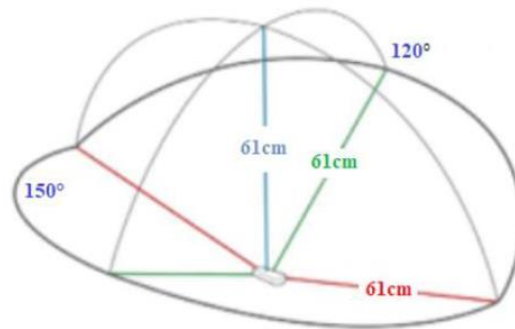
Los datos se transmiten y se reciben al controlador del ordenador mediante dos puertos seriales: UART_RX y UART_TX. (Nicola et al., 2016)

- Zona de cobertura

La zona de cobertura es una semiesfera de 61 cm de radio, tal como se muestra en la Figura 2.9. Esta zona se basará en ángulo de proyección que posee las lentes y su alcance de enfoque. Este ángulo de proyección se rige en base a la longitud concéntrica y dimensión del dispositivo

detector (sensor). El ángulo de visión horizontal de Leap Motion y el ángulo vertical tienen un valor de 150, 92°. Estos ángulos delimitan la zona de trabajo. (Nicola et al., 2016)

Figura 2.9. Zona de cobertura del dispositivo



Zona de cobertura del dispositivo, Fuente: (Manual Leap Motion, 2010)

2.4 Blender

Un software con programación de código abierto, creado por la compañía Blender Foundation y se especializa en animación 3D. Entre los software de animación este es un programa multiplataforma que tiene compatibilidad y funciona sin problemas en Linux, Windows y Macintosh (Mac).

Contiene características de animación, renderizado y modelado en 3D. Blender ha creado un espacio en el mundo de los gráficos por computadora debido a su gran cantidad de características que posee. Permite el desplazamiento completo cambiando la posición, el tamaño y la orientación. Este software permite realizar animación por deformación y animación usando un esqueleto o armadura posteriormente prediseñados. (Hattori et al., 2020)

La animación 3D comprende algunos conceptos básicos los cuales se enfocan en las herramientas de modelados, cursores 3D, polígonos, curvas Bezier y Nurbs, además de manipulaciones de superficies, modificadores, mapeos, matrices espejo; mediante este programa todas las herramientas mencionadas son adaptables y reutilizables. Además, es posible realizar animaciones a un personaje 3D con Rigging y Skinning, animar objetos sólidos o modelados y cambiar su trayectoria mediante Motion Paths. Se puede realizar la exportación de una animación de Blender a OpenGL. (Enmanuel & Berm, 2021)

2.5 Unity

Una plataforma en 3D tanto para personal computer (PC) como computadoras Macintosh (MAC), el mismo que contiene herramientas para la creación de juegos y aplicaciones interactivas, donde interviene usuario-máquina, visualizaciones y animaciones con gráficas 3D en tiempo real. Unity es capaz de publicar contenido para gran variedad de plataformas como PC, MAC, NINTENDO; WII e IPHONE. También es posible publicar juegos que estén cargados o basados en la web utilizando Plugin Unity Webplayer, correspondiente a un componente capaz de interpretar tanto códigos como mapas de archivos en 3D. (González et al., 2017)

Unity posee algunas características principales como: fácil instalación en dispositivos Windows, Mac y Linux; Interfaz de usuario de fácil comprensión, que está formada por 5 partes:

- Visualización de escena
- Visualización de juego
- Visualización de proyecto
- Visualización de jerarquía
- Visualización de inspector

Además, posee algunos modos de vista 3D en cierta perspectiva de fácil configuración comprendidas mediante componentes como:

- Render Mode
- Color Mode
- Interruptor de luces
- Interruptor Skybox, ledenflare
- Control de botones en códigos de transformación

2.6 Mecánica respiratoria

La ventilación en la mecánica respiratoria se encarga del intercambio de aire que ingresa desde la atmósfera hacia los pulmones. Este proceso es generado mediante diferentes conjuntos musculares entre los que se destaca el diafragma, que permite el cambio del volumen de los pulmones, crea una presión atmosférica generando un flujo y contraflujo de aire que ingresa y

sale de los pulmones. Como parte de la facultad respiratoria el flujo, movimiento de volumen de aire, se expresa generalmente en litros por minuto (L/min) y la resistencia, fuerza que se opone a la circulación de flujo en centímetros de agua sobre litros por minuto (cmH₂O/L/min). (Canet, 2017)

2.7 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial está basada en el modo de simular las cualidades de inteligencia del cerebro. La IA es parte fundamental de las Ciencias de la Computación que se enfoca en el diseño de sistemas inteligentes, en estos sistemas se exhiben características que se asocia con la inteligencia en las decisiones incorrectas del humano o sus malas conductas. (Mariño & Primorac, 2016) profundiza un poco más el tema al deducir que la IA es ratificada como parte de la Ciencia de la Computación que contribuyen aportando métodos, técnicas y procesos que mejora la resolución de problemas y toma de decisiones simulando el proceder de los individuos cognoscentes”. Se toma como referencia desde otro punto de vista, la IA puede ser comprendida en los términos manifestados por (Ramos, 2014), quien al respecto lo asume como una ciencia que está orientada a la búsqueda de la comprensión profunda sobre la inteligencia artificial, tomando en cuenta los límites de la misma, sus alcances y caracterizándose como un problema o reto de enorme complejidad, una de las utilidades es la mejora de simulaciones de videojuegos y mundos virtuales asociados a todo tipo de entornos.

2.8 Multimedia Inmersiva

Conocida también como “Realidad Virtual” se relaciona a las figuras en realidad tridimensional que son compuestas por un computador. De aquí nace la presencia de un liado procedimiento electrónico que puede desarrollar áreas percibidas en tres dimensiones que permite transmitir y acoger caracteres con datos entre la interacción de la persona, que, teniendo un ambiente de alta realidad, llega a experimentar estar dentro del “mundo virtual”. (Gómez et al., 2019)

La Realidad Virtual utiliza toda técnica de generación de retratos expandiéndolos, estos se utilizan en un ambiente que el usuario reconoce, opera y se relaciona con todo tipo de entes mostrados. El ambiente virtual se considera un diseño detallado el cual muestra el “espacio tridimensional”, en su interior, existen adjuntos cuerpos que míticamente representan algo, a partir de simples entidades geométricas hasta formas mucho más compactas y complejas como entornos arquitectónicos. Esto sin duda va más allá de la simulación por computador, ya que

trata de una simulación de interacción en tiempo real y además dinámica de un sistema. (Ferreira et al., 2021)

2.9 Estado del arte

En el artículo redactado por (Suárez et al., 2015), presenta una novedosa herramienta, mediante el uso del controlador Leap Motion, con el que se buscó enseñar un procedimiento de la limpieza oral avanzada por medio de una animación basada en la detección del movimiento de las manos. Este estudio se basa principalmente en la educación del correcto cepillado o limpieza oral, en base a lo presentado esta técnica permitió formalizar un procedimiento distinto enfocado en el ámbito la prevención de la salud oral. El entorno creado posee un sistema infraestructura hiperconvergente (HCI), donde el usuario interactúa de manera directa con un cepillo de dientes virtual permitiendo así su educación de las normas correctas del cepillado. Además, muestra una interfaz del desarrollo en 3D, en donde se modeló el conjunto dental, el cepillo de dientes y el vaso recipiente. El modelado del cepillo de dientes que se crea en 3D es capaz de interactuar con Leap Motion permitiendo la manipulación correcta y sin interrupciones con el modelado de manos que se presenta en tercera dimensión. El movimiento derecha e izquierda, arriba y abajo y movimientos circulares es reconocido por el software y fue aplicado para el correcto lavado de dientes.

En este artículo (Diaz, 2018), describe el desarrollo de un sistema de tele rehabilitación para el síndrome de túnel carpiano (STC), utilizando ambientes virtuales basados en protocolos de rehabilitación con el dispositivo de reconocimiento de gestos Leap Motion para la parametrización de movimientos y ángulos, desplazamientos de la mano y un sistema de soporte tridimensional para sujetar el antebrazo con el fin de desarrollar los ejercicios terapéuticos. Se diseñó un software sin conexión de redes inalámbricas evitando así pérdidas de datos al momento de realizar la rehabilitación del síndrome de túnel carpiano mediante la ejecución de rutinas, utilizando el Leap Motion, y la librería de voidplus, Leap Motion en processing que permite la ejecución del dispositivo de seguimiento y la elaboración de un entorno dinámico para el montaje de ejercicios de rehabilitación de STC. Para la realización respectiva de las terapias se diseñó un soporte tridimensional de antebrazo con una impresora 3D el cual permite el desplazamiento con total libertad de la mano para la ejecución correcta de movimientos, en conexión con el dispositivo de seguimiento Leap Motion.

En el artículo de (Torres et al., 2016), muestra una aplicación con realidad virtual que permite a los estudiantes de medicina conocer la anatomía del corazón en un ambiente cercano a la realidad tridimensional y relacionar las secciones de infarto agudo al miocardio con su representación en el electrocardiograma. El entorno desarrollado posee un corazón 3D, que permite desplazarse con movimientos dentro de los ejes x, y, z mediante el dispositivo Leap Motion. De acuerdo con investigaciones previas sobre el corazón, este posee cinco componentes de infarto agudo presentes en el miocardio entre los cuales están: infarto anterior e inferior, posterior, en el ventrículo derecho y lateral. Al instante que el usuario selecciona una de estas zonas afectadas por el infarto, se despliega toda la información correspondiente al infarto seleccionado y un electrocardiograma que el usuario puede manipular y analizar cambios registrados en la zona tratada. Para la creación de la aplicación se obtuvo como base las tecnologías primordiales de software y hardware. En lo que corresponde a hardware se trabajó con el dispositivo desarrollado y preexistente de control gestual Leap Motion, el mismo que realiza el seguimiento de movimientos de todos los dedos de la mano, trabaja con un margen de error por cada dedo correspondiente al 0.01 milímetros. En software se trabajó con Unity 5, que permite el desarrollo completo de aplicaciones en 2D y 3D creando experiencias interactivas con el usuario.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo desarrollará el entorno virtual utilizando el sensor gestual que permita la interacción entre el usuario con la interfaz del sistema respiratorio facilitando el proceso de enseñanza-aprendizaje y su apta manipulación del mismo aplicando la realidad virtual.

El objetivo base del caso de estudio es el aprendizaje mediante el movimiento de objetos tridimensionales, para lo cual se requiere el modelamiento de los mismos, con la utilización de la plataforma Blender. Se creó un programa con interacción humana mediante Unity siendo este el software más adaptable, puede conectarse con distintos dispositivos de entrada y funcionar como un manipulador del programa. Replicando un concepto nuevo llamado “metaverso”, al entrar en un adelanto tecnológico a un mundo sin cables, una interacción en tiempo real y adaptable con inteligencia artificial.

3.1 Selección de software de modelamiento tridimensional

Para elegir el programa de modelamiento tridimensional se tomó en cuenta las características y necesidades de realismo de los objetos, motivo por el cual se requería un programa con modelamiento tipo escultura. Blender es un programa dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado y animación de gráficos tridimensionales. Parte de una imagen base del objeto deseado para modelar en la parte posterior a manera de lienzo, para ello se tomó en cuenta una imagen del programa “Human Anatomy Atlas”.

3.2 Modelamiento de elementos del sistema respiratorio

3.2.1 Pulmones

En la Figura 3.1 se puede observar el proceso de estructuración de los pulmones donde se colocó una esfera geodésica de 64 subdivisiones de radio variable, se ajusta la escala del mismo y se moldea de acuerdo a la imagen que se seleccionó de los pulmones, con el modo escultura, se puede modificar de una manera sencilla el tamaño y de acuerdo a los pinceles necesarios se estira, reduce, mueve, y aplana de tal manera en que parezca lo más similar a las vistas de la imagen.

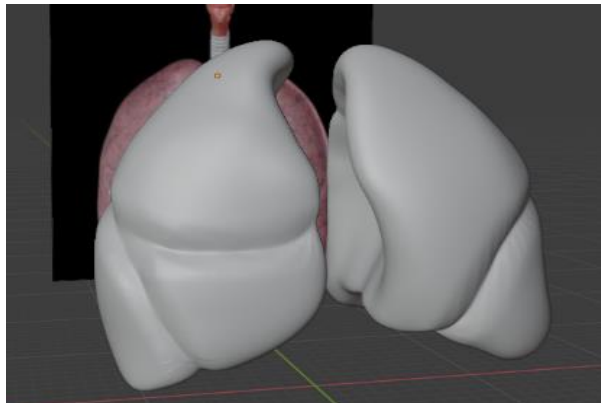
Figura 3.1. Proceso de estructuración de pulmones 1



Proceso de estructuración de pulmones 1, Fuente: (García, López).

De esta forma se puede esculpir tanto el pulmón derecho como el izquierdo y sus partes como el lóbulo superior, medio e inferior izquierdo y superior e inferior derecho, como se muestra a continuación en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Proceso de estructuración de pulmones 2



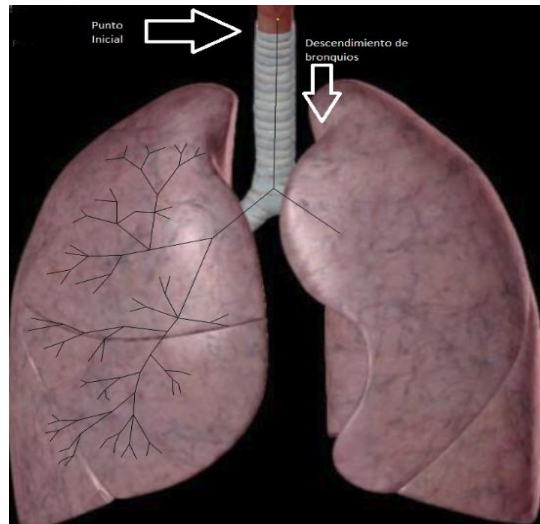
Proceso de estructuración de pulmones 2, Fuente: (García, López).

3.2.2 Tráquea y bronquios

Las variaciones del patrón bronquial estándar que se muestra son corrientes especialmente en las vías aéreas periféricas.

Se coloca un nodo inicial desde la parte superior donde inicia, y se desciende con cada nodo dando continuidad al mismo para formar el sistema bronquial como se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3.4. Formación del sistema bronquial



Formación del sistema bronquial, Fuente: (García, López).

Mediante los modificadores de Blender: “Forrar” y “subdividir”, se da forma a cada uno de los bronquios Figura 3.5, una modificación en el modo escultura ajustando la posición de ciertos bronquios en su respectivo lugar, como resultado final los bronquios y tráquea.

Figura 3.5. Vistas del sistema bronquial y tráquea



a) Frontal

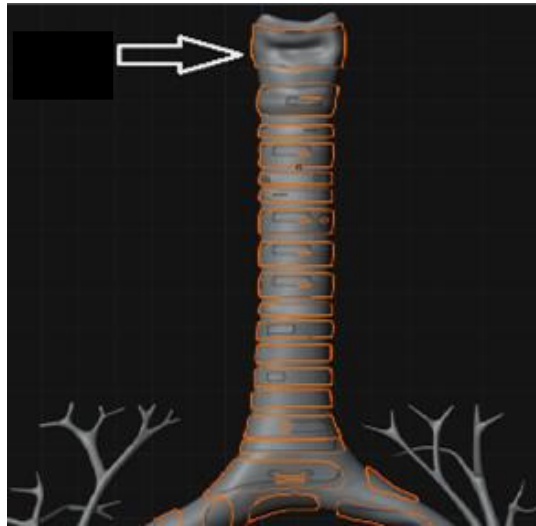
b) Lateral

Vista del sistema bronquial y tráquea, Fuente: (García, López).

3.2.3 Anillos traqueales

Como base de los anillos traqueales se toma una copia de la tráquea y parte de los bronquios, se aumenta la escala del mismo y se recorta varias caras, obteniendo así la misma estructura, en el modo escultura se ajusta si existe algún fallo de posición y tamaño como se observa en la Figura 3.6.

Figura 3.6. Anillos Traqueales



Anillos Traqueales, Fuente: (García, López).

3.2.4 Cartílago tiroides y cricoides

Se tomó un plano 2D estirándose desde sus extremos y moldeando un contorno de manera que este tome la misma forma del cartílago tiroides hasta el cartílago cricoides como se observa en la Figura 3.7. Luego se realiza una malla nueva de polígonos para generar un relleno al mismo, se aplicó el modificador de espejo el cual permite mantener el tamaño y forma.

Figura 3.7. Cartílagos tiroides y cricoides

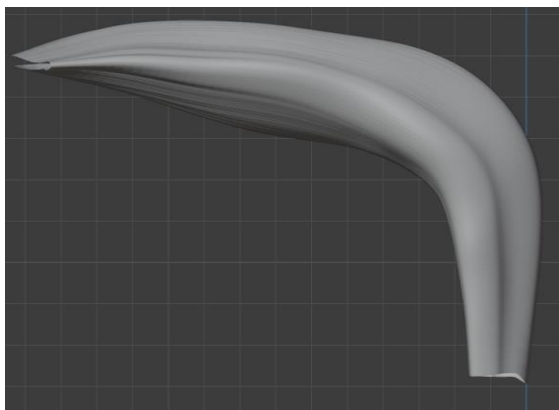


Cartílagos tiroides y cricoides, Fuente: (García, López).

3.2.5 Cavidad bucal y laringe

Para generar la laringe se selecciona una elipse en 2D y se la estira hasta conseguir la estructura 3D en el espacio (x, y, z); en la cavidad bucal, a través de polígonos extremos, y curvados desde la boca hasta llegar a la laringe como se observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8. Cavidad bucal y laringe

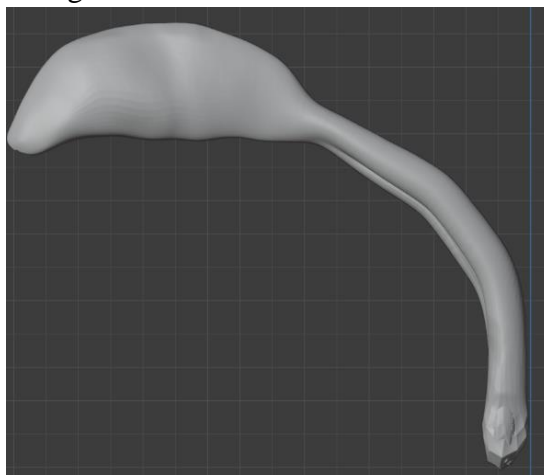


Cavidad bucal y Laringe, Fuente: (García, López).

3.2.6 Nariz y faringe

La nariz se inició desde las fosas nasales siguiendo una ruta de nodos, un revestimiento y una subdivisión de fases que se observa en la Figura 3.9, de esta manera se puede incrementar el número de polígonos que contiene, además de ingresar al modo escultura y modificar forma y realismo.

Figura 3.9. Modelamiento de la nariz



Modelamiento de nariz, Fuente: (García, López).

3.3 Pintura y textura de elementos

3.3.1 Pintura

Para dar color a los elementos en Blender se utiliza la opción Shading, que permite agregar objetos llamados “salida de material”, se genera una salida para cada elemento, por ejemplo: el elemento “Pulmón” consta de una salida y “bronquios” de otra distinta, como se muestra en la

Figura 3.10, las barras de la coloración de pulmones, cada una es distinta, a excepción de los elementos que se repiten.

Coloración pulmones

Figura 3.10. Diagrama de barras de coloración de pulmones

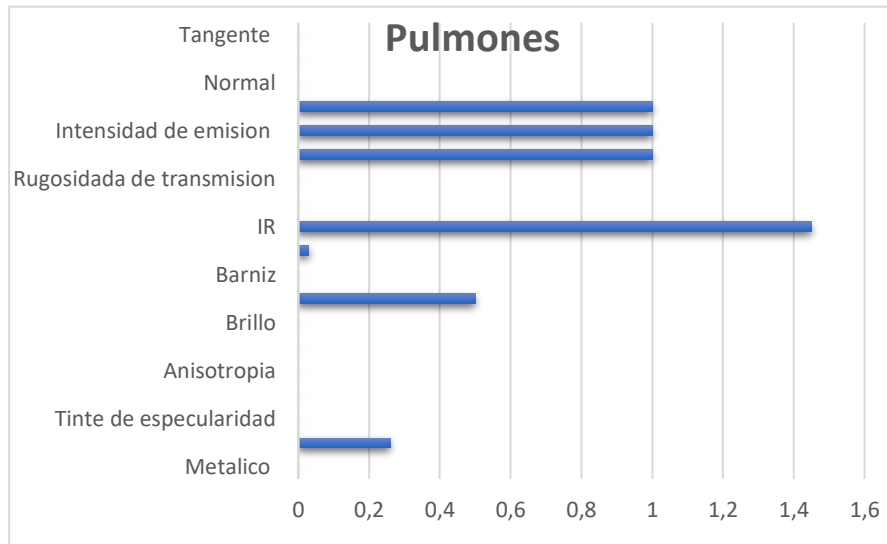


Diagrama de barras de coloración de pulmones, Fuente: (García, López).

Las opciones como: Color base, Rugosidad, normal, tienen un trato diferente con distintos modificadores como se muestra a continuación en la Figura 3.11.

- Color base

Se realiza de la mezcla de los colores base de la textura utilizada y un color similar en un tono más bajo, mezclando este en una porción 1:0.2, y consiguiendo el color deseado.

- Rugosidad

Basado en el nodo relieve, esta toma las partes oscuras de la textura y las levanta, con esto se logra generar rugosidad en las zonas donde son necesarias para dar realismo.

- Normal

Se genera a partir del relieve, los puntos de rugosidad se convierten en vectores perpendiculares al objeto dirigiéndose hacia el centro del mismo, para corregir esto se utiliza el nodo rotación vectorial, éste rota el centro a donde se dirigen hacia afuera del objeto.

Figura 3.11. Pulmones matizados



Pulmones matizados, Fuente: (García, López).

3.4 Diseño de ambiente virtual en Unity

Como principio de funcionamiento el usuario no tiene contacto ninguno con dispositivos de entrada como periféricos (Mouse, teclado), y tan solo con el movimiento de las manos logre navegar por el ambiente virtual, con el mismo propósito se presentan distintas maneras de interacción, como botones, dirección de las palmas de las manos y contracción de dedos.

3.4.1 Descargables

Los archivos descargables que se utilizan en el proyecto son provistos por los desarrolladores de Leap Motion en Unity, a través de su página oficial <https://developer.leapmotion.com/unity>.

- Leap Service provider: Se utiliza como proveedor de la imagen en tiempo real a través de una script que conecta al sensor con la plataforma de interacción en este caso Unity, debido a que el mismo es provisto por la compañía Leap Motion, esta concede todas las facilidades de conexión, y solo debe estar dentro de cada escena, y sin este no es posible un establecimiento de interacción.
- Hands Model Manager: Tiene como función principal agrupar las manos para el proveedor de servicios Leap Motion, con este script se conectan las manos a la imagen enviadas por el sensor y por tanto se vuelven funcionales al movimiento con las manos digitales.

- Interaction Manager: Envía un status de interacción entre las manos y los objetos a los que se acerca, esto permite una colisión con ellos, y en caso de ser botones u objetos con una malla o capa física estos son empujados o activados.

3.4.2 Detector de dedos extendidos

Detecta cuando las falanges se encuentran estiradas o contraídas, depende del número de dedos configurados para que ejecute la acción que se le imponga como lo muestra la Figura 3.12.

Figura 3.12. Script detector de dedos extendidos

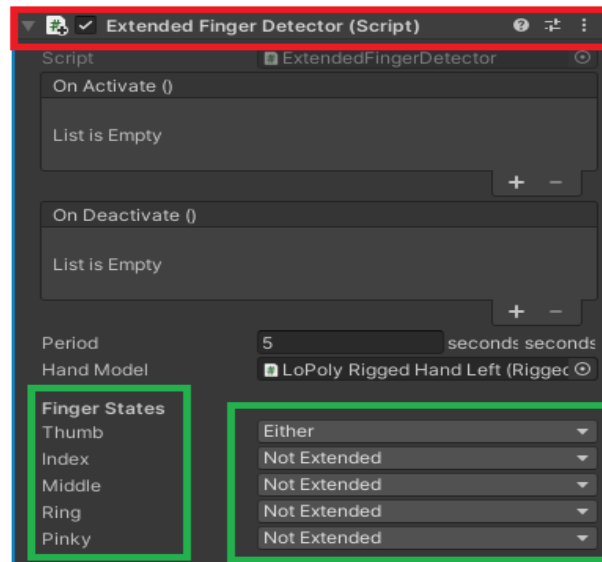
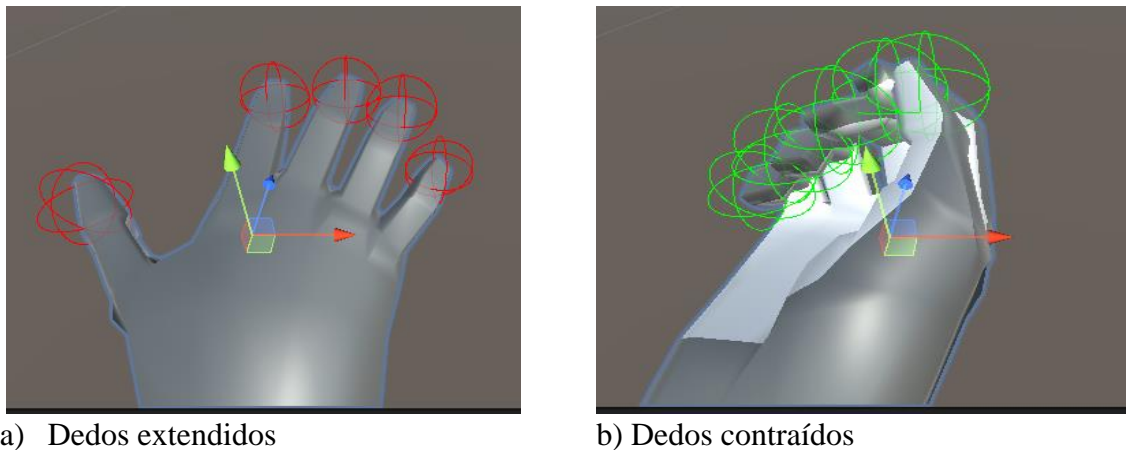


Ilustración del script detector de dedos extendidos, Fuente: (García, López).

En la Figura 3.13 se observa cómo se mantiene su salida en falso cuando los dedos se encuentran extendidos (a), cuando éstos se encuentran contraídos (b), su estado cambia a verdadero.

Figura 3.13. Dedos extendidos y contraídos

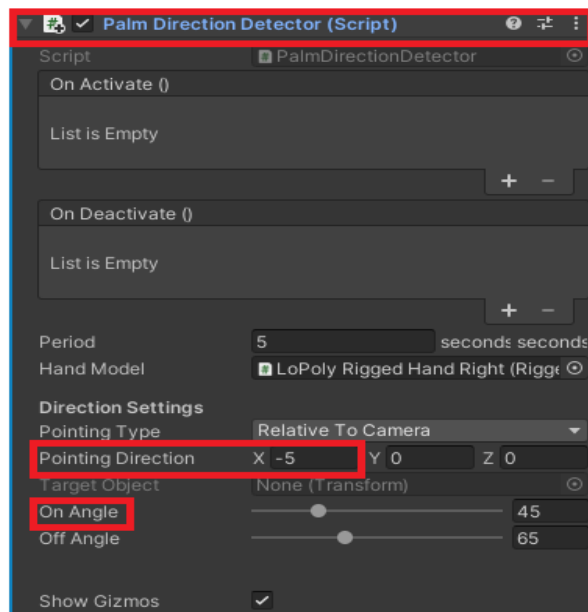


Dedos extendidos y contraídos, Fuente: (García, López).

3.4.3 Detector de dirección de palma

Detecta la dirección de la palma debido a que el centro de esta proyecta un vector perpendicular a la mano, cuando este vector entra en contacto con la dirección y ángulo establecido, esta se activa y permanece de esta manera hasta que deja de tener contacto como se muestra en el script de la Figura 3.14.

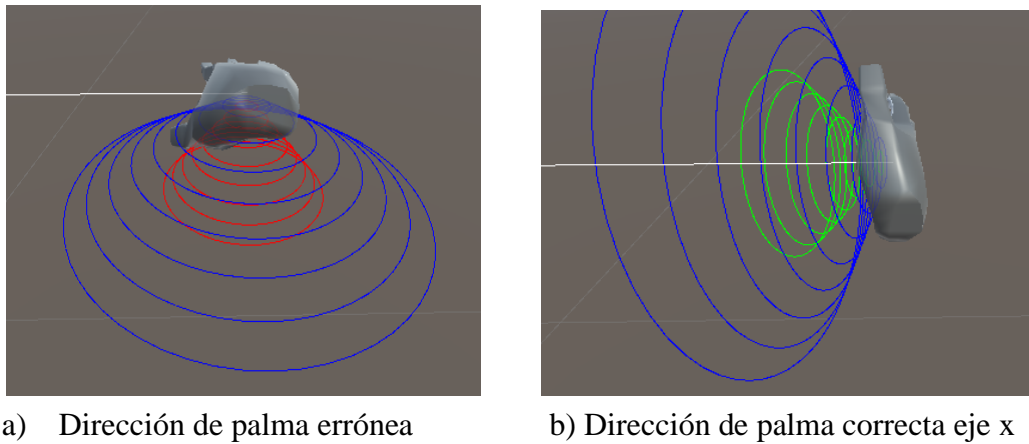
Figura 3.14. Script detector de dirección de palma



Script detector de dirección de palma, Fuente: (García, López).

En la Figura 3.15 se observa que la dirección de la palma se encuentra en una posición distinta a la que se activa esta permanece en un estado falso (a), cuando la palma cambia de dirección y se ubica en la posición establecida cambia su estado a verdadero (b).

Figura 3.15. Detector de dirección de palma



Detector de dirección de palma, Fuente: (García, López).

3.4.4 Detector de puerta lógica

Tiene el comportamiento de una compuerta lógica AND, toma las acciones activas de los dos detectores, cuando los dos toman un valor booleano verdadero, esta se activa y ejecuta la acción impuesta como se muestra en la Figura 3.16.

Figura 3.16. Comportamiento detector de puerta lógica

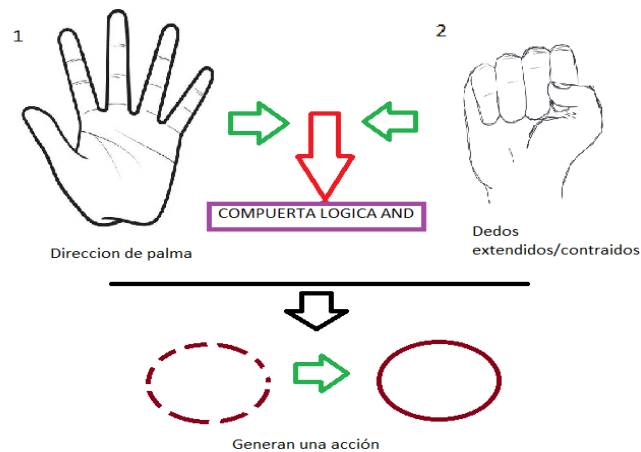


Ilustración del comportamiento del detector de compuerta lógica, Fuente: (García, López).

3.5 Escenas del ambiente de aprendizaje

El proyecto consta de 4 escenas, la principal el Menú principal, desde el cual puede acceder a los demás, Interacción 3D, Museo Respiratorio, Conoce con IA.

3.5.1 Menú principal

Se presenta la introducción al proyecto mediante un menú principal como se observa en la Figura 3.17, la portada, autores y una lista de las escenas a las que se puede acceder, en la palma de la mano izquierda se despliega un menú con botones, que son seleccionables con la mano derecha.

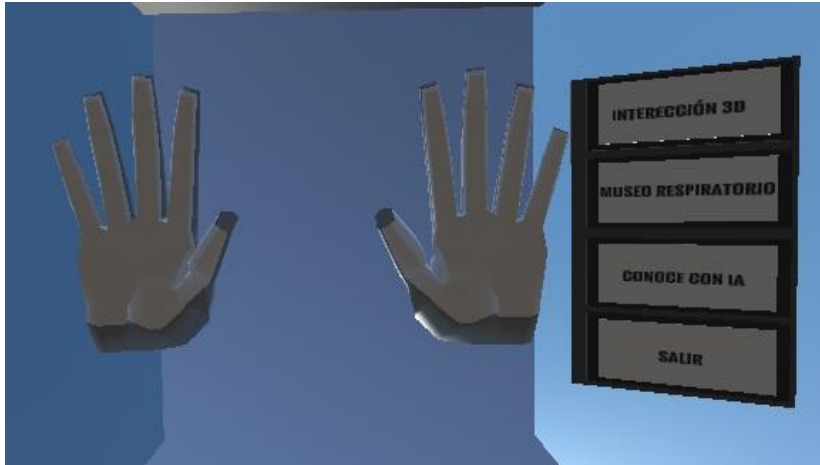
Figura 3.17. Menú principal



Menú principal, Fuente: (García, López).

En la Figura 3.18, se toma en la mano izquierda un ancla con visibilidad activa en la dirección de la palma, permitiendo cuando el usuario mueva la mano hacia arriba, cualquier objeto que se coloque, aparezca. Los botones que se encuentran dentro del menú, son cubos con interacción de botón al pulsar.

Figura. 3.18. Botonera Menú principal



Botonera Menú Principal, Fuente: (García, López).

3.5.2 Interacción 3D

En este modo el usuario utiliza su mano izquierda como mando de dirección para el movimiento del sistema respiratorio que se encuentra suspendido frente a él como se muestra en el escenario la Figura 3.19. Con su mano derecha puede tocar levemente el recuadro con curiosidades y cambiará a una nueva, son un total de 14 curiosidades acerca del sistema respiratorio en la cual puede encontrar un video interactivo en el que el usuario puede participar.

Figura 3.19. Escena interacción 3D



Escena interacción 3D, Fuente: (García, López).

Con la dirección de palma de la mano izquierda se puede controlar el movimiento del cuerpo móvil (sistema respiratorio), tiene movimientos de:

- Rotación horaria.

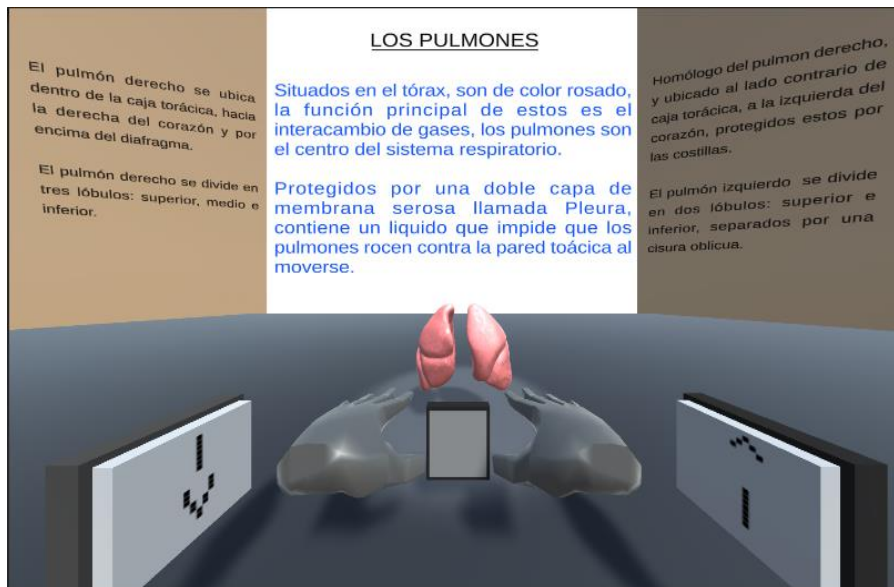
- Rotación anti horaria.

Los recuadros de las “curiosidades”, son cubos con interfaz de botón, que tienen la letra fuente sobre ellas, las imágenes que se encuentran tras el sistema respiratorio son planos sin fondo, en el cual la imagen se completa.

3.5.3 Museo respiratorio

Similar a un museo, esta escena representa la visita al sistema respiratorio desde un museo como se observa Figura 3.20, en donde el usuario se pueda guiar cómodamente hacia los elementos que conforman el mismo. Cada órgano se puede manipular con las manos creando un control más accesible al aproximarse y alejarse de la pantalla, en las paredes se encuentra información adicional importante para el aprendizaje el cual cambia cuando se pulsa un botón en la parte inferior de la pantalla. En los lados de la escena se encuentran los accionadores de movimiento, (adelante y atrás).

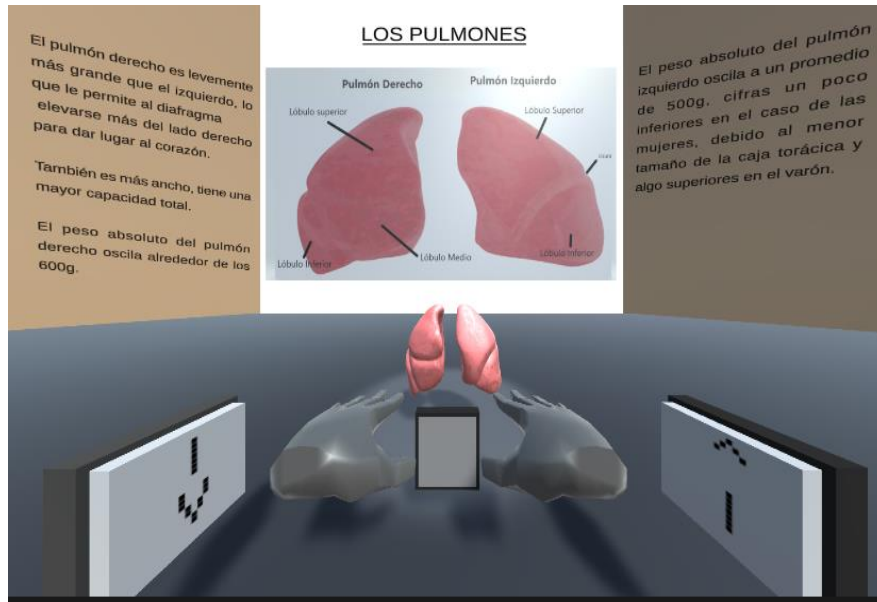
Figura 3.20. Escenario museo respiratorio, estación “Pulmones”



Primera escena Museo Respiratorio, Fuente: (García, López).

Se observa en la Figura 3.21 una vez pulsado el botón de información adicional, en algunos bloques se colocó una imagen en donde el usuario puede superponer el órgano y corroborar la información.

Figura 3.21. Información bloque Pulmones



Información bloque Pulmones, Fuente: (García, López).

Existe un total de siete bloques, finalizando con un sistema respiratorio completo manejable. Además, en el bloque final un botón de color rojo que regresa al usuario al menú principal.

3.5.6 Conoce con inteligencia artificial

La inteligencia artificial en medicina se considera como la utilización de modelos de aprendizaje automático para encontrar datos que contribuyan a mejorar los resultados de salud y experiencia de pacientes.

En este escenario se utiliza los conocimientos de inteligencia artificial para encontrar los modelos aproximados del estado del sistema respiratorio en pacientes consultados por el usuario, utilizando entrada de datos del usuario que influyen en la anatomía de los mismos como: edad, peso, estatura, enfermedades previas, biomasa aérea contaminante, consumo de cigarrillos como se los muestra en la Figura 3.22.

Figura 3.22 Diagrama de bloques del sistema difuso

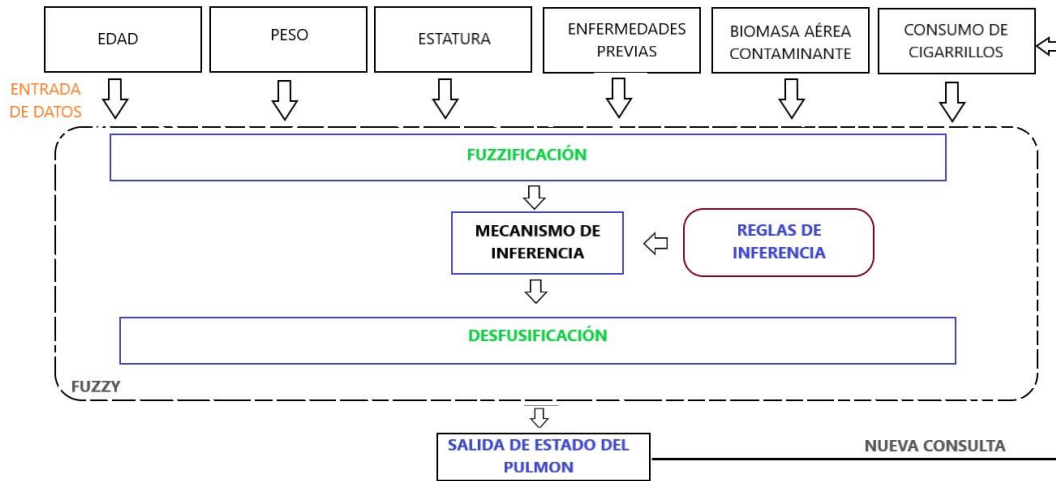


Diagrama de bloques sistema difuso, Fuente: (García, López).

Cada entrada contiene una slider que el usuario puede mover para seleccionar el valor a ingresar como se observa en la Figura 3.23, todas las entradas contienen información de cómo estas afectan al sistema respiratorio.

Figura 3.23. Entrada “Edad”

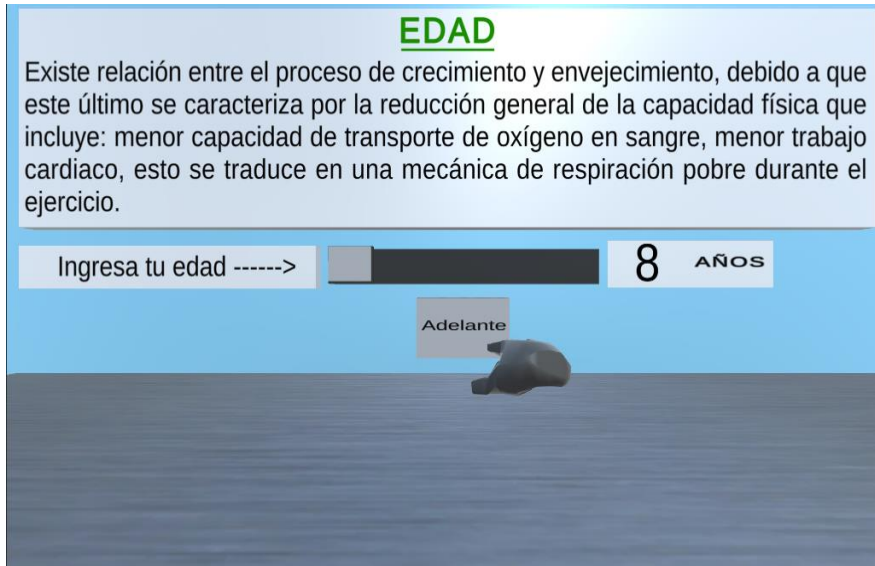
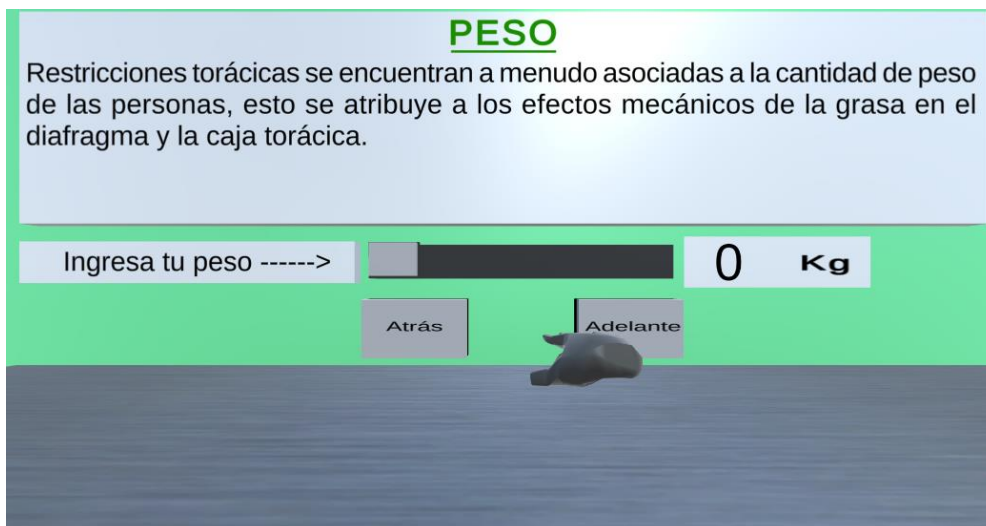


Ilustración Entrada “Edad” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

En la entrada “Peso” como se muestra en la figura 3.24 se asocian a los efectos mecánicos de la grasa corporal en el proceso de la respiración.

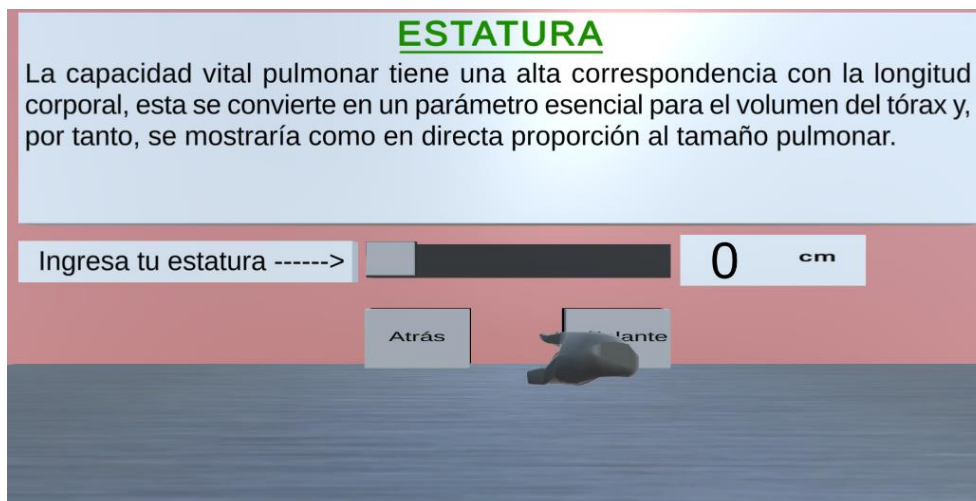
Figura 3.24. Entrada “Peso”



Entrada “Peso” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

Como se observa en la Figura 3.25 la entrada “Estatura” se consideran los efectos de la longitud corporal para el volumen del tórax.

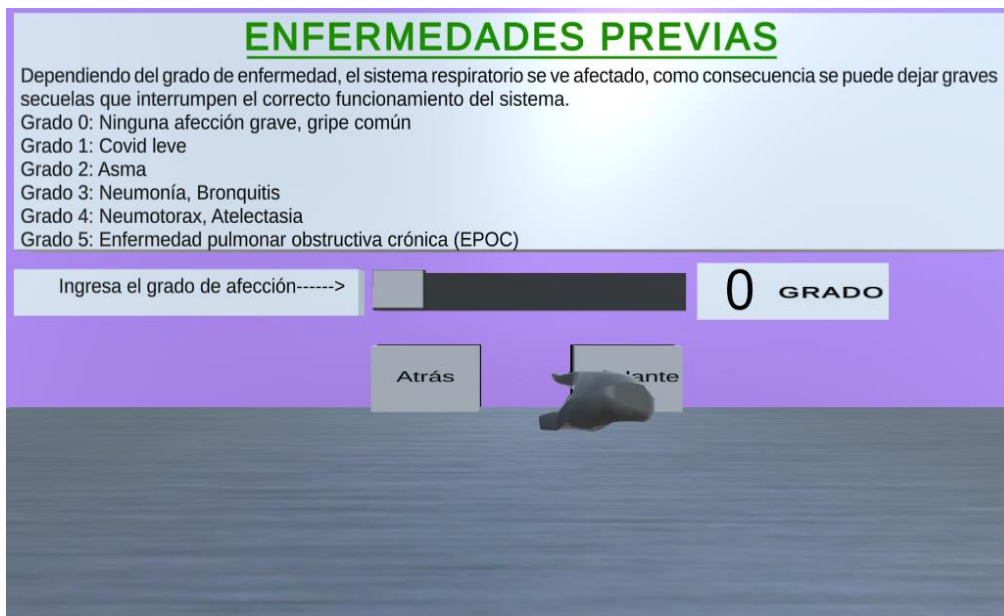
Figura 3.25. Entrada “Estatura”



Entrada “Estatura” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

En la Figura 3.26 se encuentra la entrada “Enfermedades previas”, como es de conocimiento las enfermedades respiratorias previas pueden dejar secuelas graves en el estado físico de los pulmones de igual manera en su funcionamiento.

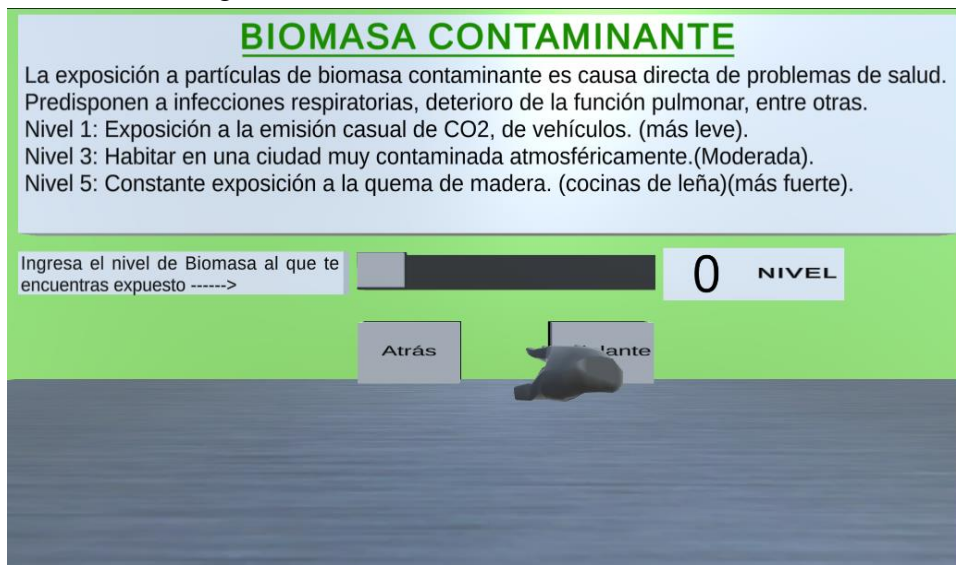
Figura 3.26 Entrada “Enfermedades previas”



Entrada “Enfermedades previas” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

La Biomasa aérea contaminante se considera causa directa para problemas de salud y deterioro pulmonar como se presenta en la Figura 3.27.

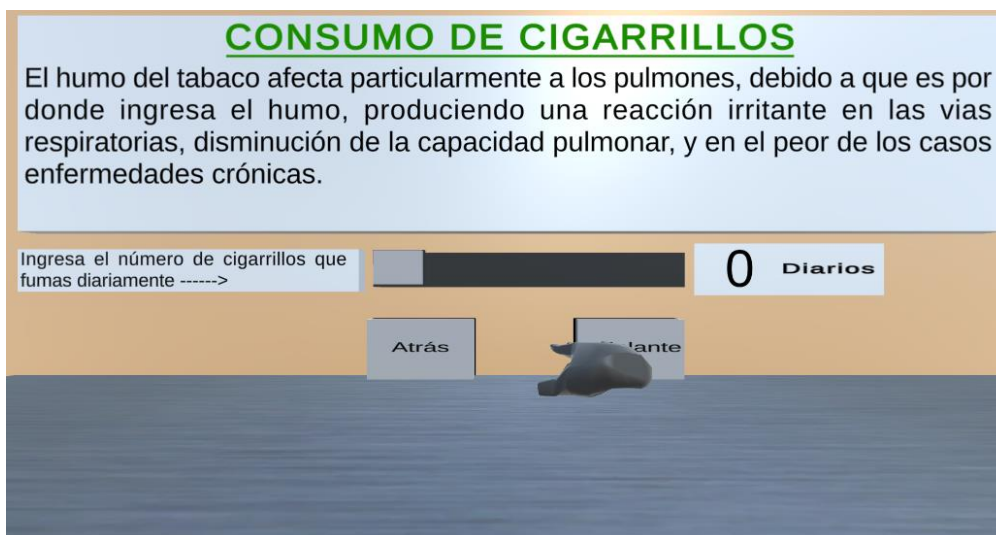
Figura 3.27. Entrada “Biomasa contaminante”



Entrada “Biomasa contaminante” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

Considerado el factor principal en las enfermedades pulmonares, el consumo del cigarrillo tiene una alta incidencia en los problemas respiratorios, como se indica en la Figura 3.28.

Figura 3.28. Entrada “Consumo de cigarrillos”



Entrada “Consumo de cigarrillos” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

La salida final se muestra cuando se ingresan todas las entradas, se indica el estado de los pulmones, y se pueden manipular con las manos como se muestra en la Figura 3.29.

Figura 3.29. Salida “Nivel 1”

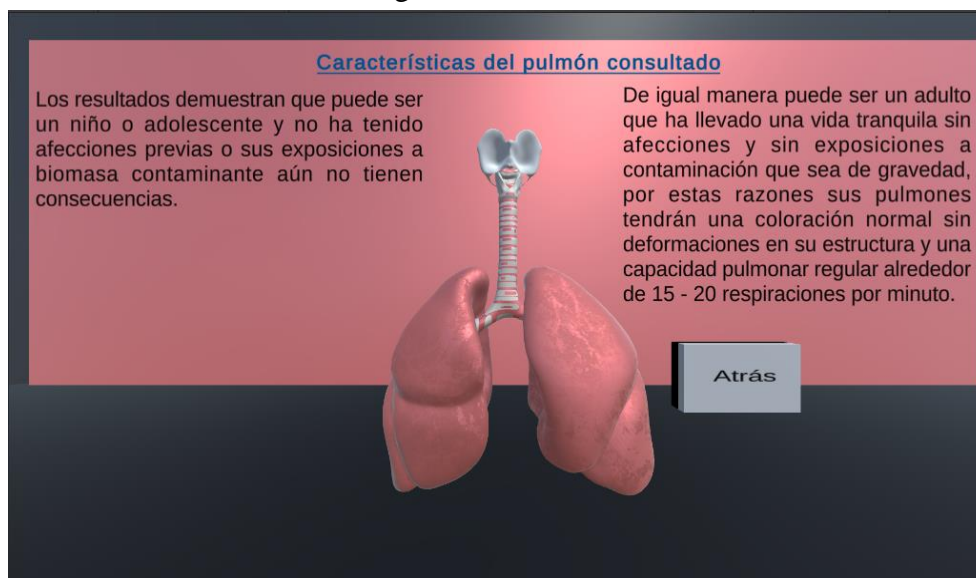


Ilustración Salida “Nivel 1” Conoce con IA, Fuente: (García, López).

3.5.7 Contribución de la mecánica respiratoria

En base a la investigación de la influencia de la mecánica respiratoria en los entornos simulados de sistemas respiratorios, se toma en cuenta presión, volumen y flujo del oxígeno en los pulmones. Estos son aplicados solo en la animación de la respiración de los pulmones simulados en el proceso de oxigenación, para generar el movimiento y apreciación similar.

3.6 Inteligencia artificial mediante lógica difusa

El proyecto presenta un sistema difuso sobre el estado de los pulmones, diseñado con software Matlab e implementado en Unity mediante programación C#.

3.6.1 Diseño de sistema difuso mediante el software Matlab

Se realiza la construcción de todos los conjuntos de entrada posibles, de igual manera los conjuntos de salida son diseñados estableciendo rangos, nombres y tipos de función.

El rango de edad en valor mínimo tomado de (Iñiguez et al., 2016), indica una aproximación de cuando los pulmones llegan a una etapa de desarrollo final y el valor máximo, sabiendo que la esperanza de vida de los últimos 60 años es de 73 años aproximadamente según (World Health Organization et al., 2015), es discutible el rango, debido a que existe registro de personas que han sobrepasado hasta los 100 años.

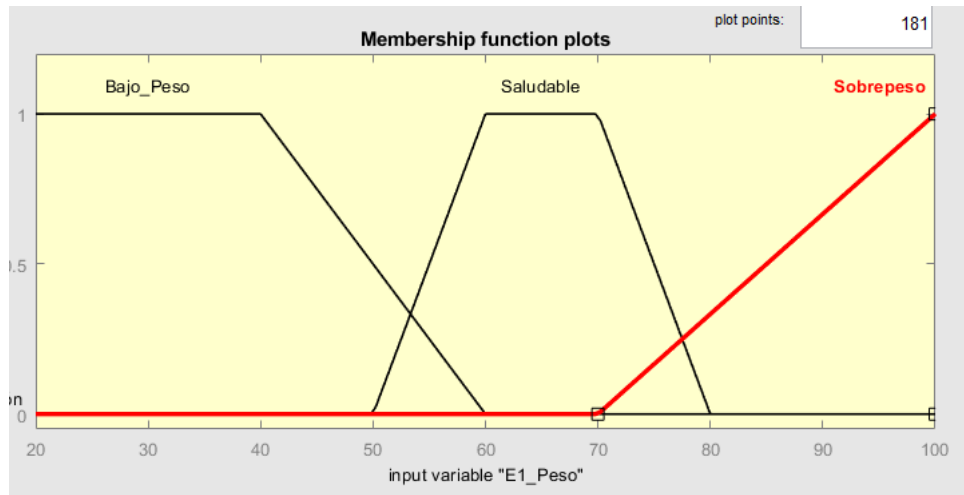
Los rangos de los valores que se toman como mínimo de las entradas: peso y estatura son obtenidos como relación entre los dos en (World Health Organization, 2014) y el rango de valores máximos son tomados por (Gargallo & Alvarez, 2020).

Lo anterior mencionado se encuentra basado en el índice de masa corporal (IMC), se considera a una persona adulta con sobrepeso a partir de los 80 Kg, los datos exponen que existe un deterioro pulmonar a partir de un sobrepeso, debido a esto se considera un rango superior a los 100 Kg es obesidad, y esto afecta en el proceso respiratorio.

Para el rango máximo en el consumo de cigarrillos en base a una investigación de (Londoño Pérez et al., 2011), es considerado un fumador severo aquel que consume más de 14 cigarrillos por día, si se excede de esta cantidad seguirá siendo considerado en el mismo rango.

Este sistema cuenta con 6 entradas las cuales contienen 3 conjuntos difusos cada una haciendo referencia para obtener las funciones de membresía acorde al alcance de cada conjunto, en la Figura 3.30, se muestra la primera entrada que corresponde al “peso” de la persona con sus 3 respectivos conjuntos difusos y un rango que inicia en los 20 hasta los 100 Kg.

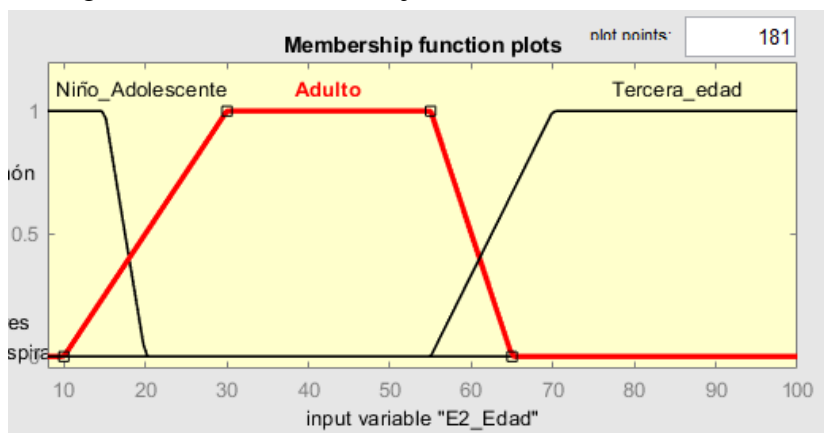
Figura 3.30. Diseño de conjuntos difusos entrada 1: Peso



Diseño de conjuntos difusos entrada 1: Peso, Fuente: (García, López).

Este tipo de diseño se realiza para cada una de las entradas que forman parte del sistema, donde los rangos serán distintos de acuerdo al factor de entrada que se esté analizando, en la Figura 3.31. Se observa cambios en el rango de la entrada para los conjuntos pertenecientes a ésta, con un mínimo de 8 y un máximo de 100 representado por niveles de la entrada 2 “Edad” de la persona.

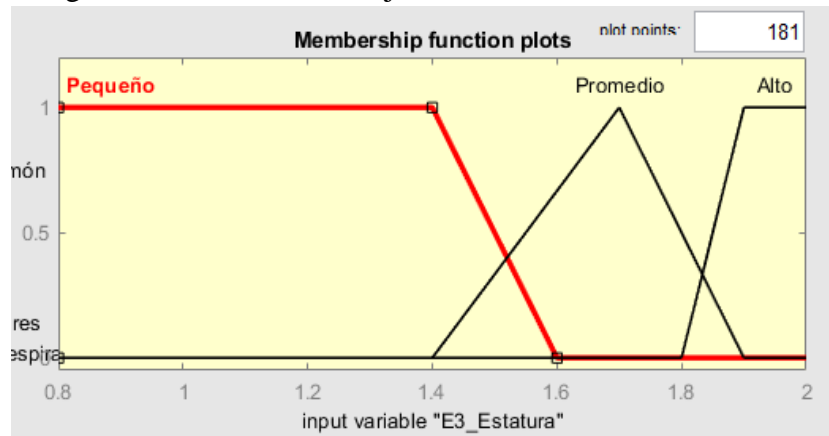
Figura 3.31. Diseño de conjuntos difusos entrada 2: Edad



Diseño de conjuntos difusos entrada 2: Edad, Fuente: (García, López).

La entrada siguiente corresponde a la estatura Figura 3.32, con un rango que empieza en 1.15m hasta los 2m, que influirá en las reglas del sistema difuso que se esté creando.

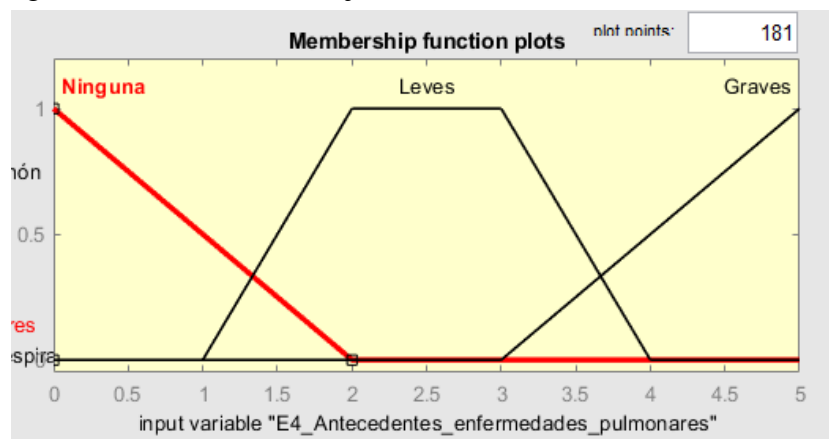
Figura 3.32. Diseño de conjuntos difusos entrada 3: Estatura



Diseño de conjuntos difusos entrada 3: Estatura, Fuente: (García, López).

La entrada 4 es parte importante de nuestro sistema difuso ya que aporta con información de si el usuario tiene antecedentes de enfermedades de afecciones pulmonares o respiratorias donde se medirá por niveles con un rango que va desde 0 hasta 5 siendo este el nivel con mayor gravedad en la Figura 3.33.

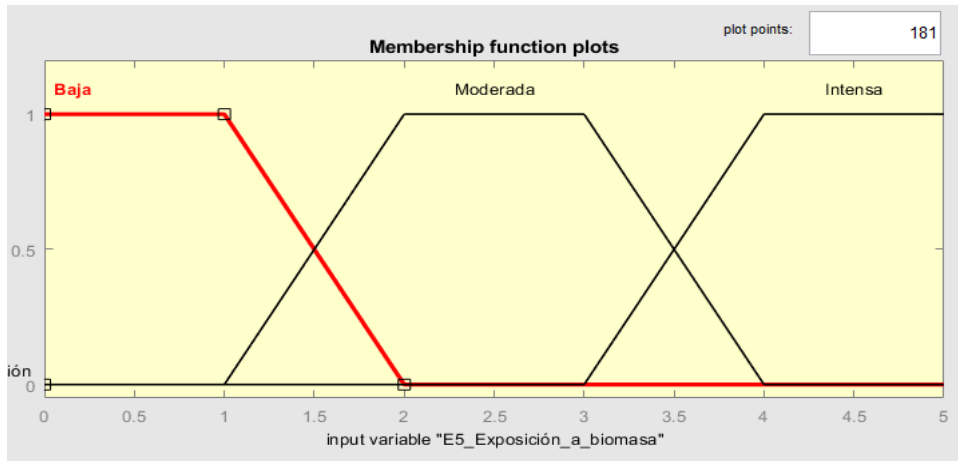
Figura 3.33. Diseño de conjuntos difusos entrada 4: Enfermedades



Diseño de conjuntos difusos entrada 4: Enfermedades, Fuente: (García, López).

La penúltima entrada corresponde a la exposición a biomasa Figura 3.34, ésta mide por niveles la contaminación ambiental de monóxido de carbono a la que la persona ha estado expuesta, su rango empieza en 1 debido a que en algún momento las personas son expuestas a biomasa emanadas por motores a gasolina y demás factores, hasta 5 siendo este el máximo nivel de exposición alcanzada.

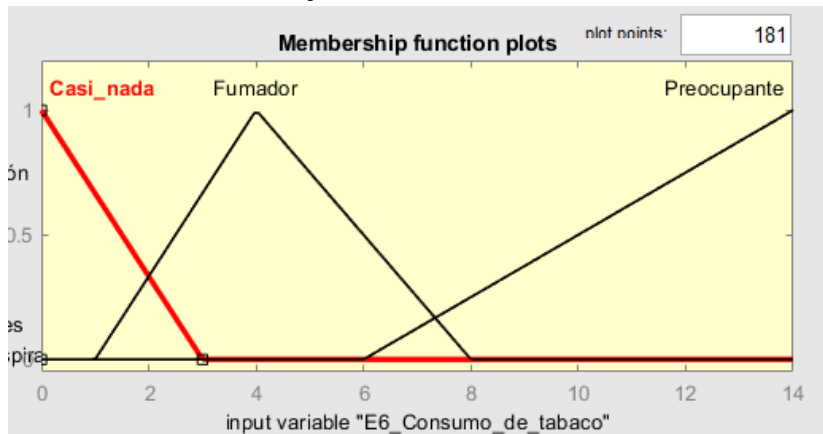
Figura 3.34. Diseño de conjuntos difusos entrada 5: Exposición a biomasa



Diseño de conjuntos difusos entrada 5: Exposición de biomasa, Fuente: (García, López).

La última entrada corresponde a el consumo de tabaco Figura 3.35, es decir la cantidad de cigarrillos que el usuario consume por día, esta entrada es tomada en cuenta por separado de la exposición a biomasa debido a que es una exposición voluntaria de la persona y que ha desarrollado últimamente fuertes afecciones en el sistema respiratorio, su rango varía desde 0 hasta 14 cigarrillos al día.

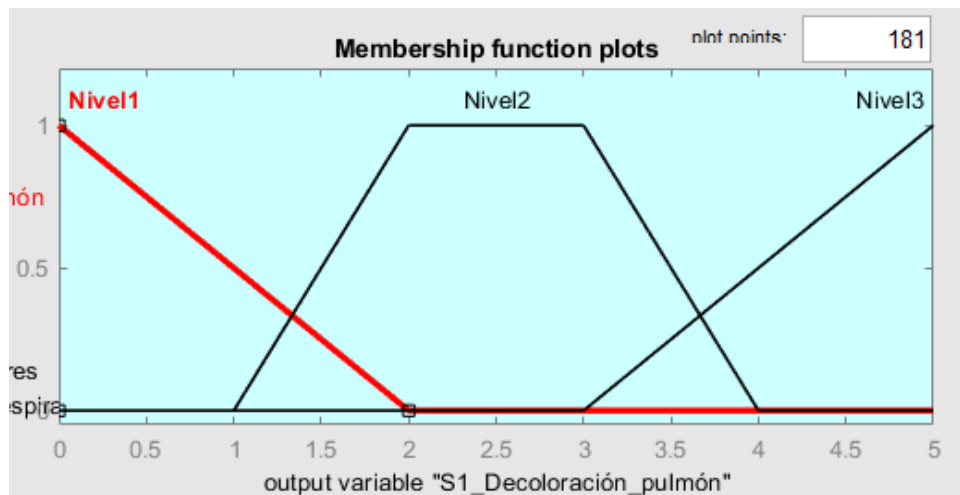
Figura 3.35. Diseño de conjuntos difusos entrada 6: Consumo de tabaco



Diseño de conjuntos difusos entrada 6: Consumo de tabaco, Fuente: (García, López).

Al ingresar el último conjunto de la última entrada se procede a diseñar las salidas difusas con sus respectivos conjuntos y rangos de acuerdo a los parámetros que se requiere establecer como se muestra en la Figura 3.36.

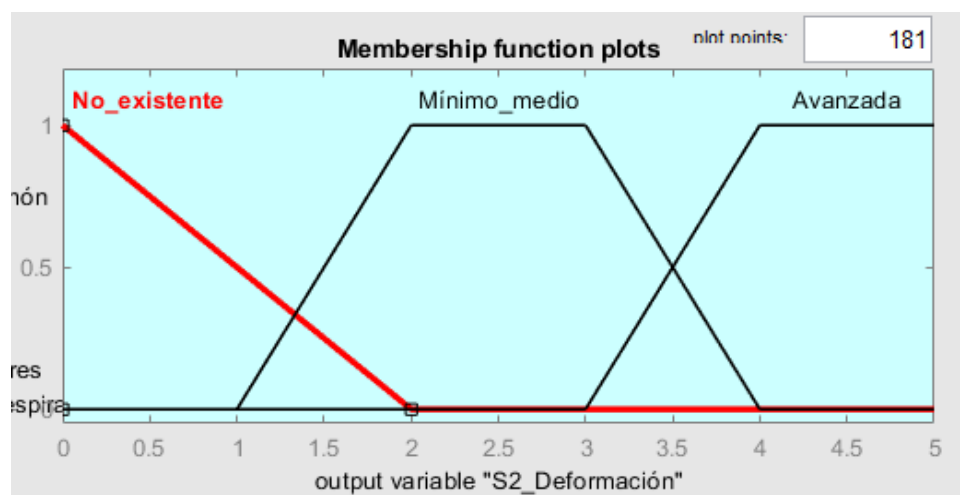
Figura 3.36. Diseño de conjuntos difusos salida 1: Decoloración del pulmón



Diseño de conjuntos difusos salida 1: Decoloración del pulmón, Fuente: (García, López).

La salida 2 representa las deformaciones que sufre el pulmón al pasar el tiempo y en base a diferentes situaciones a las que ha sido expuesto el sistema respiratorio Figura 3.37, el rango va de 0 hasta 5 (niveles), siendo éste último el que presenta mayor deformación.

Figura 3.37. Diseño de conjuntos difusos salida 2: Deformación del pulmón

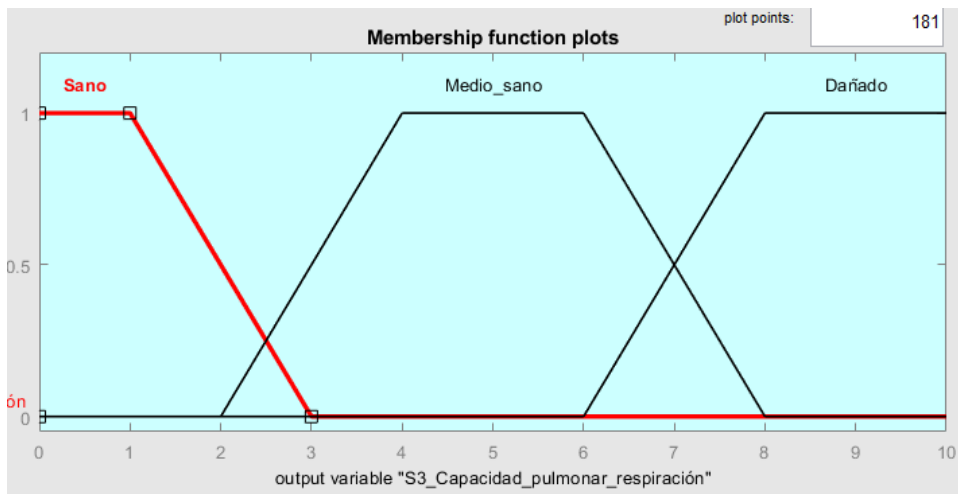


Diseño de conjuntos difusos salida 2: Deformación del pulmón, Fuente: (García, López).

La última salida representa 2 factores importantes, ésta determinará el estado se encuentra el pulmón definiendo su capacidad pulmonar, adicional a esto muestra la frecuencia de respiración con la que el pulmón se encuentra trabajando mostrado en la Figura 3.38.

La escala de salida toma como variable más importante a la frecuencia respiratoria, siendo estas divididas en tres conjuntos de respiraciones por minuto: sano (12-18), medio_sano (19-25) y dañado (26-30).

Figura 3.38. Diseño de conjuntos difusos salida 3: Frecuencia respiratoria



Diseño de conjuntos difusos salida: Capacidad pulmonar, Fuente: (García, López).

Mediante Excel se obtiene un lugar de trabajo donde colocar las entradas con sus respectivas salidas, en la Tabla 3.1 se muestran todas las entradas correspondientes mientras que las salidas se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1. Estructura del sistema difuso entradas

E1 (PESO)	E2 (EDAD)	E3 (ESTATURA)	E4 (ANTECEDENTES DE ENFERMEDADES PULMONARES)	E5 (EXPOSICIÓN A BIOMASAS)	E6 (CONSUMO DE TABACO)
Bajo Peso	Niño adolescente	Pequeño	Ninguna	Baja	Casi nada
Saludable	Adulto	Promedio	Leves	Moderada	Fumador
Sobrepeso	Tercera edad	Alto	Graves	Intensa	Preocupante

Tabla de estructura del sistema difuso de entradas, Fuente: (García, López).

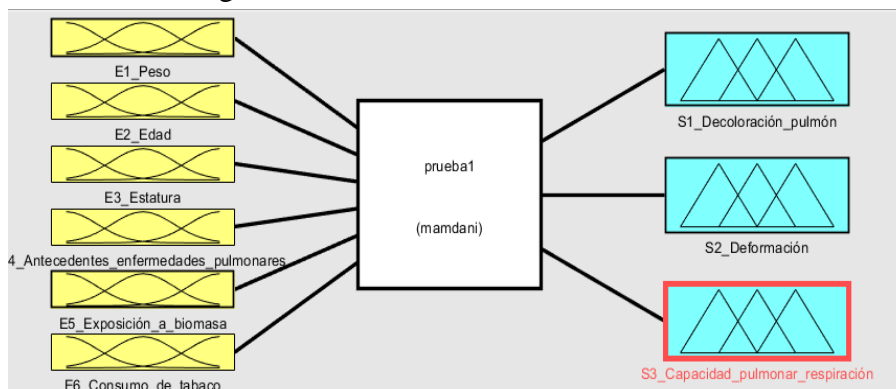
Tabla 3.2. Estructura del sistema difuso salidas

S1 DECOLORACIÓN PULMONAR	S2 DEFORMACIÓN PULMONAR	S3 CAPACIDAD PULMONAR
nivel1	No existe	Sana
nivel2	Mínima	Medio sano
nivel3	avanzada	dañado

Tabla de estructura del sistema difuso salidas, Fuente: (García, López).

Utilizando el Toolbox de Matlab para todas entradas y salidas se observa la estructura del sistema final, con todos los conjuntos difusos establecidos como se muestran en la Figura 3.39.

Figura 3.39. Estructura del sistema difuso



Estructura del sistema difuso, Fuente: (García, López).

Dada la complejidad del sistema se obtuvo un total de 729 reglas de inferencia o reglas lógicas. Para mayor eficacia y rapidez se escribe primeramente las reglas en Excel donde se enumeró cada regla con el fin de evitar errores al momento de realizar el código en C#.

3.6.2 Creación de la lógica del sistema difuso en C#

La lógica difusa es un lenguaje complejo que requiere de un sinnúmero de series repetitivas para obtener la solución, esta programación se realiza directamente en los scripts de Unity 3D.

Se crea las funciones de membresía Figura 3.40, las necesarias dentro del proyecto son: trapezoidales, triangulares, grado y grado inversa con sus respectivos valores que muestran el grado de membresía que tiene un punto en específico.

Figura 3.40. Creación de las funciones de membresía

```
public static float GradoInversa(float valor, float x0, float x1)
{
    float membresia = 0f;

    if (valor <= x0)
        membresia = 1f;
    else if (valor > x0 && valor < x1)
        membresia = (-valor / (x1 - x0)) + (x1 / (x1 - x0));
    else if (valor >= x1)
        membresia = 0f;

    return membresia;
}
7 referencias
public static float Triangulo(float valor, float x0, float x1, float x2)
{
    float membresia = 0;

    if (valor <= x0)
        membresia = 0;
    else if ((valor > x0) && (valor < x1))
        membresia = (valor / (x1 - x0)) - (x0 / (x1 - x0));
    else if (valor == x1)
        membresia = 1;
    else if ((valor > x1) && (valor < x2))
        membresia = (-valor / (x2 - x1)) + (x2 / (x2 - x1));
    else if (valor >= x2)
        membresia = 0;
    return membresia;
}
```

Creación de las funciones de membresía, Fuente: (García, López).

Una vez creada las funciones de membresía se crea un nuevo script donde se define todas las entradas con los respectivos conjuntos establecidos como un valor flotante, en la Figura 3.41 se puede observar la creación de valores flotantes con valores de 0.

Es importante tomar en cuenta al inicializar los conjuntos difusos deben ser todas las entradas posibles del proyecto las cuales serán la base de la fusificación.

Figura 3.41. Valores flotantes de inicialización de conjuntos.

```
//*****ENTRADAS*****//  
  
//Conjuntos difusos de peso 1111111111  
private float bajopeso = 0;  
private float saludable = 0;  
private float sobrepeso = 0;  
  
// Conjuntos difusos de Edad 222222222222  
private float niñoadolescente = 0;  
private float adulto = 0;  
private float terceraedad = 0;  
  
//Conjuntos difusos de Estatura 3333333333  
private float pequeño = 0;  
private float promedio = 0;  
private float alto = 0;  
  
// Conjuntos difusos de Antecedentes Enfermedad  
private float ninguna = 0;  
private float leves = 0;  
private float graves = 0;
```

Valores flotantes de inicialización de conjuntos, Fuente: (García, López).

En la Figura 3.42, se puede analizar cómo se realiza la fusificación de las entradas, a partir de las funciones de membresía ya creadas, se añaden los rangos y el tipo de función de membresía que se adapte de mejor forma a los valores o resultados correspondientes al proyecto.

Figura 3.42. Fusificación de las entradas.

```
//****FUZIFICAMOS LAS ENTRADAS*****//  
  
//ENTRADA 1 PESO  
  
bajopeso = FMembres.GradoInversa(peso, 40, 60);  
saludable = FMembres.Trapezoide(peso, 50, 60, 70, 80);  
sobrepeso = FMembres.Triangulo(peso, 70, 100, 100);  
  
string pesos = string.Format("Peso<- bajop:{0}, salud  
Debug.Log(pesos);  
  
//ENTRADA 2 EDAD  
  
niñoadolescente = FMembres.GradoInversa(edad, 10, 20);  
adulto = FMembres.Trapezoide(edad, 10, 25, 50, 65);  
terceraedad = FMembres.Grado(edad, 55, 65);  
  
string edades = string.Format("EDAD<- niñoado:{0}, ad  
Debug.Log(edades);  
  
//ENTRADA 3 ESTATURA  
  
pequeño = FMembres.GradoInversa(estatura, 14, 16);  
promedio = FMembres.Triangulo(estatura, 14, 17, 19);  
alto = FMembres.Grado(estatura, 18, 19);
```

Fusificación de las entradas, Fuente: (García, López).

Se crea un Script de operador que combina las entradas para producir una salida, usando operadores lógicos similares a los booleanos como: “And” y “Or”, que se encargará de comparar todas las reglas de inferencia que se encuentren relacionadas directamente al proyecto. En la Figura 3.43, se muestra cómo se distribuye un espacio a cada regla que consta en la misma salida permitiendo así un rango más amplio de comparación entre reglas.

Figura 3.43. Combinación de entradas y salidas posibles.

```

//*****No existe*****
1referencia
public static float OR(float D1, float D2, float D3, float D4, float D5, float D6, float D7, float D8, float D9, float D10,
float D11, float D12, float D13, float D14, float D15, float D16, float D17, float D18, float D19, float D20,
float D21, float D22, float D23, float D24, float D25, float D26, float D27, float D28, float D29, float D30,
float D31, float D32, float D33, float D34, float D35, float D36, float D37, float D38, float D39, float D40,
float D41, float D42, float D43, float D44, float D45, float D46, float D47, float D48, float D49, float D50,
float D51, float D52, float D53, float D54, float D55, float D56, float D57, float D58, float D59, float D60,
float D61, float D62, float D63, float D64, float D65, float D66, float D67, float D68, float D69, float D70,
float D71, float D72, float D73, float D74, float D75, float D76, float D77, float D78, float D79, float D80,
float D81, float D82, float D83, float D84, float D85, float D86, float D87, float D88, float D89, float D90,
float D91, float D92, float D93, float D94, float D95, float D96)

{

return Mathf.Max(D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18, D19, D20,
D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29, D30, D31, D32, D33, D34, D35, D36, D37, D38, D39, D40,
D41, D42, D43, D44, D45, D46, D47, D48, D49, D50, D51, D52, D53, D54, D55, D56, D57, D58, D59, D60,
D61, D62, D63, D64, D65, D66, D67, D68, D69, D70, D71, D72, D73, D74, D75, D76, D77, D78, D79, D80,
D81, D82, D83, D84, D85, D86, D87, D88, D89, D90, D91, D92, D93, D94, D95, D96);
}

```

Combinación de entradas y salidas posibles, Fuente: (García, López).

El operador fue creado con una extensión en base a la cantidad de reglas que corresponden a una misma salida, se escribe todas las reglas correspondientes a cada salida basadas en los operadores booleanos como lo muestra la Figura 3.44, repitiendo el proceso para cada una de las salidas que sean parte del proyecto.

Figura 3.44. Creación de las reglas de inferencia difusas.

```

//*****DECOLORACION*****
nivel1 = OperatorF.OR(OperatorF.AND(bajopeso, niñoadolescente, pequeño, ninguna, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, adulto, pequeño,
OperatorF.AND(bajopeso, terceraedad, promedio, ninguna, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, niñoadolescente, a
OperatorF.AND(bajopeso, adulto, pequeño, leves, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, terceraedad, pequeño, leve
OperatorF.AND(bajopeso, niñoadolescente, alto, leves, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, adulto, alto, leves,
OperatorF.AND(bajopeso, terceraedad, pequeño, graves, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, niñoadolescente, prom
OperatorF.AND(bajopeso, adulto, alto, graves, baja, casinada), OperatorF.AND(bajopeso, terceraedad, alto, graves, b

```

Creación de las reglas de inferencia difusas, Fuente: (García, López).

Una vez creadas las reglas de inferencia se realiza la defusificación del sistema, esta defusificación se produce mediante el método de singleton, adicional se agrega una lógica de seguridad, evitando así errores al momento de la defusificación como lo muestra la Figura 3.45.

Figura 3.45. Defusificación del sistema.

```

//*****DEFUSIFICACIÓN*****
salida1 = (float)((nivel3 * 5 + nivel1 * -5 + nivel2 * 2.5) / (nivel3 + nivel1 + nivel2));
if (salida1 < 0)
    salida1 = -1;

salida2 = (float)((avanzada * 5 + noexiste * -5 + minimomedia * 2.5) / (avanzada + noexiste + minimomedia));
if (salida1 < 0)
    salida1 = -1;

salida3 = (float)((dañado * 10 + sano * -10 + mediosano * 2.5) / (sano + mediosano + dañado));
if (salida1 < 0)
    salida1 = -1;

```

Defusificación del sistema, Fuente: (García, López).

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

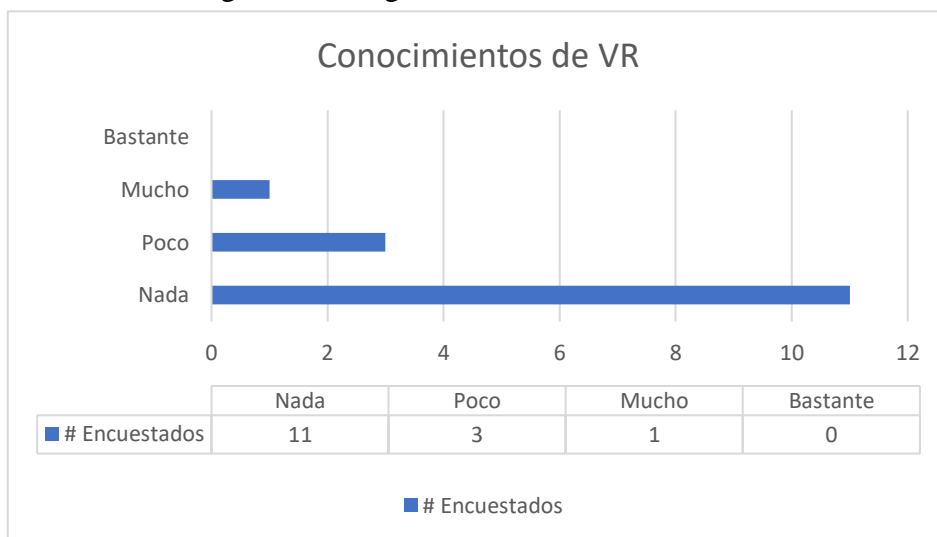
4.1 Pruebas en ambiente controlado

En el presente capítulo se abordarán las pruebas realizadas del entorno virtual en ambientes controlados, tanto en estudiantes como en un profesional médico. Los estudiantes que realizaron las pruebas del ambiente virtual son escogidos 15 al azar que actualmente cursan el 10mo nivel de educación básica, Colegio particular “Santa Luisa de Marillac”. La valoración de los resultados se los tomó al finalizar la prueba del ambiente virtual, y con cortos periodos de enfriamiento del sensor Leap Motion.

Las preguntas que se realizaron fueron en base a la adaptabilidad y facilidad de utilización del usuario al ambiente virtual y fueron las siguientes:

1. ¿Antes de conocer este proyecto, tenías experiencias con otro ambiente virtual de aprendizaje?

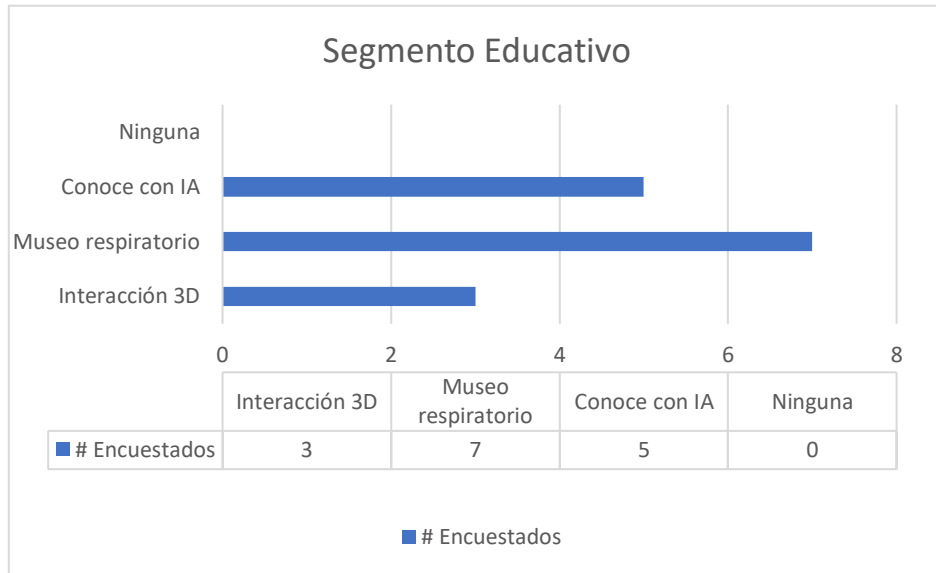
Figura 4.1. Pregunta 1, conocimientos de VR



Pregunta 1, conocimientos de VR, Fuente: (García, López).

2. ¿Qué segmento del programa te pareció mayormente educativo?
-Interacción 3D
- Museo respiratorio
- Conoce con IA

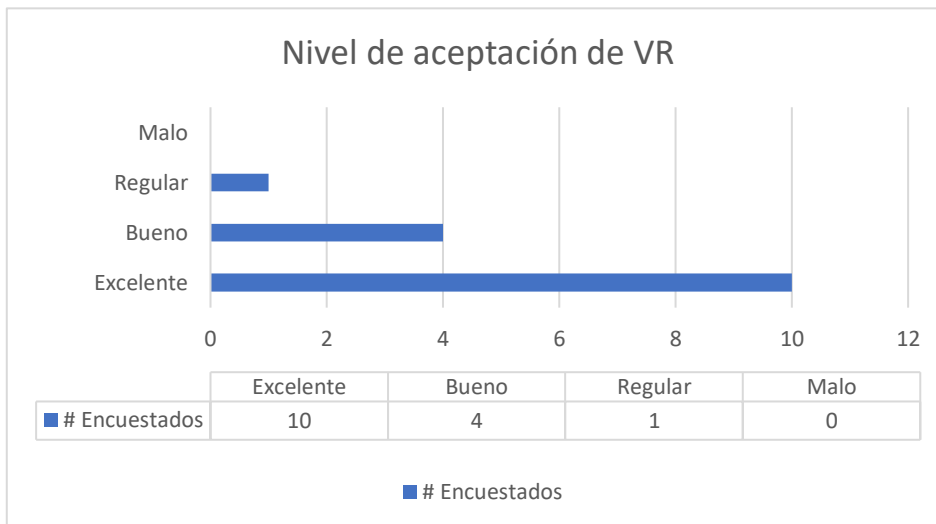
Figura 4.2. Pregunta 2, segmento educativo VR



Pregunta 2, segmento educativo, Fuente: (García, López).

- Del entorno desarrollado, ¿Cuál es su nivel de aceptación en cuanto al agrado de la misma y su facilidad de uso al momento de estudiar o analizar el sistema respiratorio mediante la interactividad que ofrece Leap Motion?

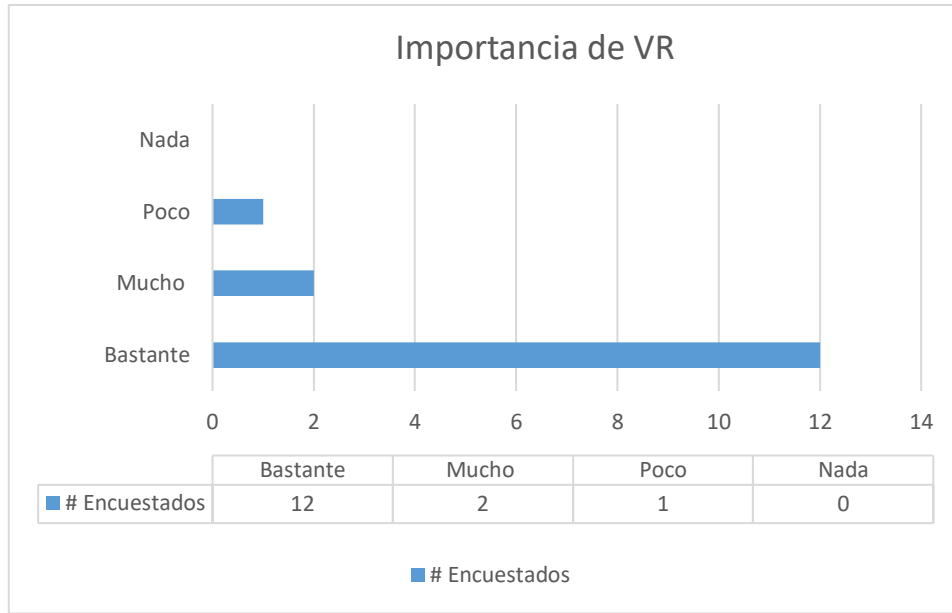
Figura 4.3. Pregunta 3, nivel de aceptación de VR



Pregunta 3, nivel de aceptación de VR, Fuente: (García, López).

- ¿Si usted emplea aplicaciones de realidad virtual en la transmisión del conocimiento o a su vez en su aprendizaje, considera que son una contribución extra, pero de vital importancia?

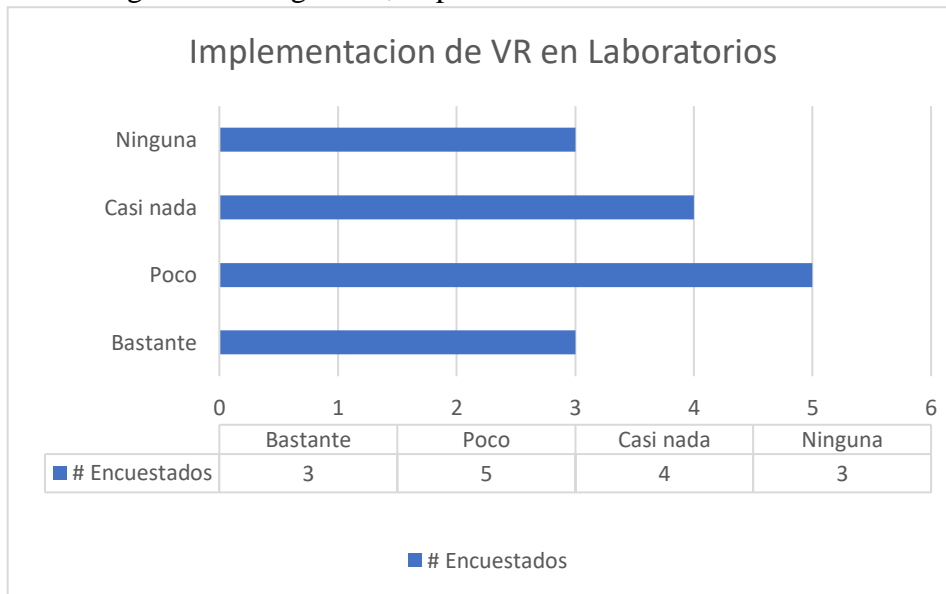
Figura 4.4. Pregunta 4, importancia de VR



Pregunta 4, importancia de VR, Fuente: (García, López).

- ¿Cree usted que es factible implementar la tecnología Leap Motion – VR en los colegios e institutos del país como parte de laboratorio virtual?

Figura 4.5. Pregunta 5, implementación de VR en laboratorios



Pregunta 5, implementación de VR en laboratorios, Fuente: (García, López).

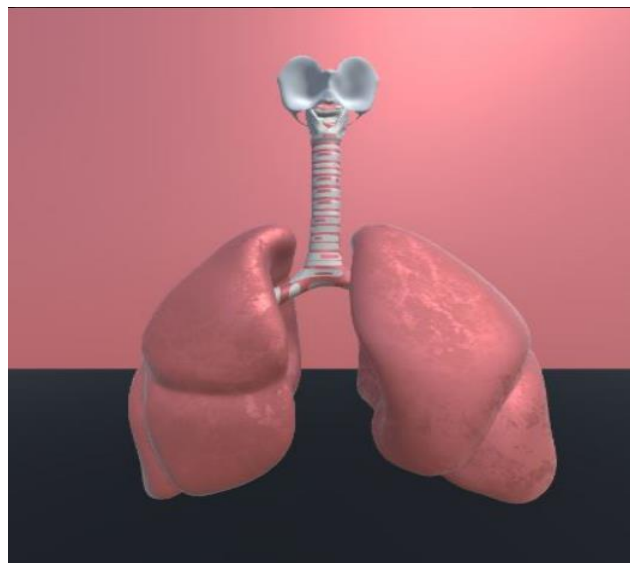
Los resultados experimentales se observan a continuación, las deducciones obtenidas de la inteligencia artificial, son mostradas de acuerdo a la combinación de las respectivas salidas haciendo una inferencia de todo tipo de entradas posibles que presente el usuario. El usuario obtuvo la oportunidad de manipular el objeto del pulmón con una mano y examinarlo desde diferentes ángulos y puntos de vista, esto gracias al modelado 3D realizado en la plataforma Blender y exportado hasta Unity. A continuación, se muestra cada una de las posibles salidas de la Inteligencia Artificial que son representadas por niveles de deformación decoloración y estado de capacidad pulmonar:

4.2 Pulmones

a) Nivel 1

Los resultados demuestran que puede ser un niño o adolescente y no ha tenido infecciones previas o sus exposiciones a biomasa contaminante aún no tienen consecuencias como se observa en la Figura 4.6. De igual manera puede ser un adulto, sin afecciones y sin exposiciones a contaminación de gravedad, entonces los pulmones tendrán una coloración normal sin deformaciones en su estructura y una capacidad pulmonar eficiente alrededor de 12 - 18 respiraciones por minuto.

Figura 4.6. Pulmones nivel 1

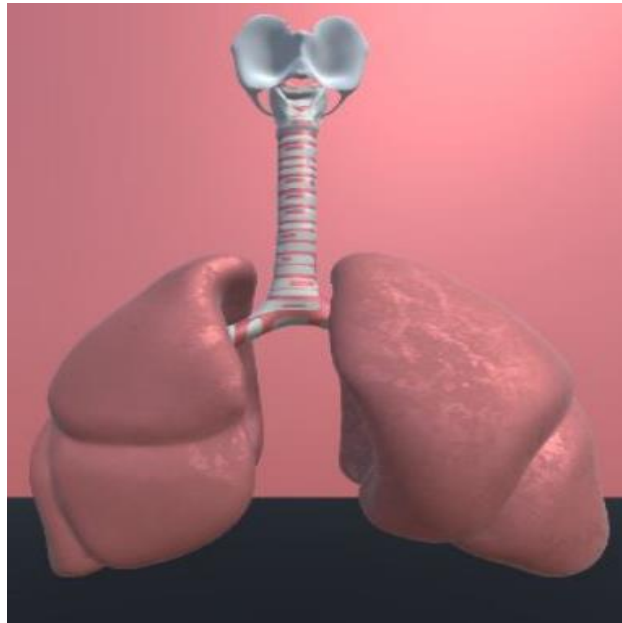


Pulmones nivel 1, Fuente: (García, López).

b) Nivel 2

El resultado presenta una deformación mínima debido a que el niño o adolescente ha estado expuesto a biomasa contaminante o humo de cigarrillos como se muestra en la Figura 4.7. Tiene una repercusión mayor sobre el sobrepeso que presenta, la coloración es normal, y su capacidad pulmonar es eficiente alrededor de 12 - 18 respiraciones por minuto.

Figura 4.7. Pulmones nivel 2



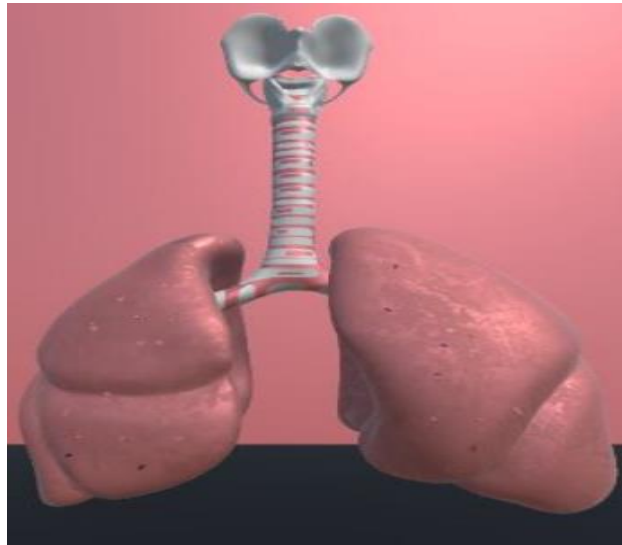
Pulmones nivel 2, Fuente: (García, López).

c) Nivel 3

El resultado de los pulmones consultados indica que puede presentar las características que se pueden observar en la Figura 4.8, cuando es un niño o adolescente saludable que ha presentado alguna enfermedad leve.

Se ha expuesto a biomasa contaminante y al humo de cigarrillos, con deformaciones mínimas que aún no generan una pérdida de su capacidad pulmonar alrededor de 12 - 18 respiraciones por minuto.

Figura 4.8. Pulmones nivel 3



Pulmones nivel 3, Fuente: (García, López).

d) Nivel 4

Con este resultado en la Figura 4.9, se encuentran: a) Adultos mayores de peso normal-bajo, saludables, con enfermedades mínimas, sin exposición a contaminación ni consumidores de cigarrillo. b) Niños Adolescentes de bajo peso con enfermedades que alcanzan un nivel alto, mínima exposición a contaminación. c) Adolescentes - adultos con exposición a contaminación media y consumo de cigarrillos moderado, etc. Un ritmo de respiración elevado alrededor de 19 - 25 respiraciones por minuto.

Figura 4.9. Pulmones nivel 4



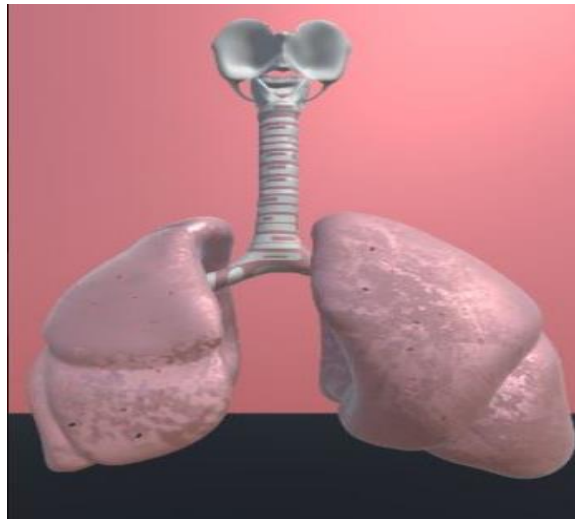
Pulmones nivel 4, Fuente: (García, López).

e) Nivel 5

El resultado de la Inteligencia Artificial muestra una decoloración, pequeñas deformaciones en su estructura, capacidad pulmonar media de la Figura 4.10, con frecuencia de respiración aumentada en 19 - 25 respiraciones por minuto, en este rango se encuentran:

- Adultos de la tercera edad de bajo peso, con cualquier tipo de antecedente en enfermedades que comprometan los pulmones, exposición a contaminación moderada.
- Adultos de bajo peso y saludables con enfermedades leves, expuestos a biomasa moderada y consumo de cigarrillos medio.
- Adultos de la tercera edad con sobrepeso que han tenido enfermedades que comprometen a los pulmones, exposición a biomasa contaminante y consumo de cigarrillo moderado.

Figura 4.10. Pulmones nivel 5



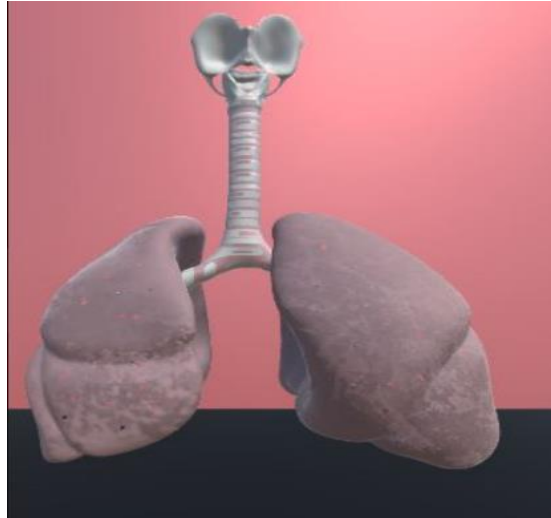
Pulmones nivel 5, Fuente: (García, López).

f) Nivel 6

El resultado de la Inteligencia Artificial presenta el pulmón decolorado por la exposición constante a biomasa contaminante y consumo de cigarrillo excesivo que se muestra Figura 4.11, esto se presenta en adultos mayores, esto se presenta por la cantidad de tiempo que se ha presentado con este estilo de vida.

Su capacidad pulmonar afectada en un nivel medio, su frecuencia de respiración aumenta, alrededor de 19 - 25 respiraciones por minuto, además de esto se puede presentar manchas decoloradas o bultos en los bronquiolos.

Figura 4.11. Pulmones nivel 6



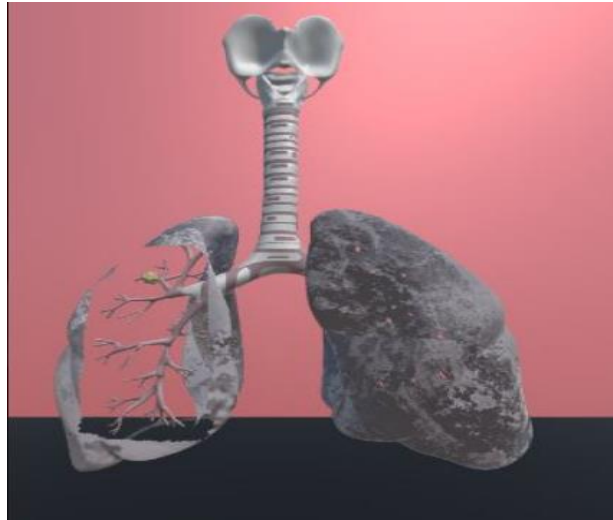
Pulmones nivel 6, Fuente: (García, López).

g) Nivel 7

El resultado de la Inteligencia Artificial indica el daño del pulmón en su estructura que se observa en la Figura 4.12, su capacidad pulmonar baja, respiraciones complicadas, y agitación debido al mal funcionamiento de los alvéolos, esto se puede observar en personas de la tercera edad o adultos con sobrepeso, expuestos a contaminación aérea continua o consumo de cigarrillo excesivo combinado con enfermedades que comprometen la integridad pulmonar.

Se observan bultos en los bronquiolos. La frecuencia respiratoria es de alrededor de 26 - 30 respiraciones por minuto.

Figura 4.12. Pulmones nivel 7

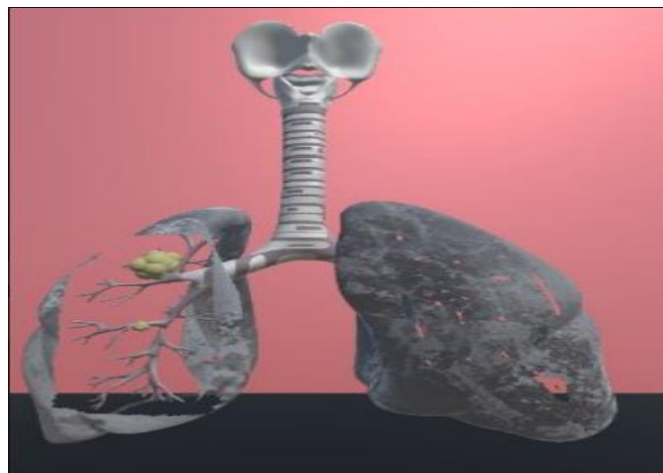


Pulmones nivel 7, Fuente: (García, López).

h) Nivel 8

Este es un nivel de estado crítico que se puede observar en una persona, una coloración gris en los pulmones que se observa en la Figura 4.13, deformación avanzada y con capacidad respiratoria baja, frecuencia de respiración alta, la mayoría de los alvéolos no filtran el oxígeno que reciben, se notan bultos en los bronquios. Este estado de pulmones se observa en adultos y tercera edad de consumo de cigarrillos excesivo, expuestos a biomazas contaminantes y enfermedades pulmonares graves, con el peso corporal irregular, la frecuencia respiratoria es de alrededor de 26 - 30 respiraciones por minuto.

Figura 4.13. Pulmones nivel 8



Pulmones nivel 8, Fuente: (García, López).

Basado en la cantidad de salidas correspondientes del sistema difuso, se consiguen obtener 27 resultados distintos de los pulmones, pero de acuerdo a los parámetros que se rigen en este sistema de inferencia difusa y las características de cada salida sólo se ha escogido 8 estados finales que se muestran en la Tabla 4.1, serán los representativos de cada estado del pulmón.

Tabla 4.1. Estado final de los pulmones

COMBINACIONES	SALIDA1 Decoloración	SALIDA2 Deformación	SALIDA3 Capacidad
1	nivel 1	noexiste	sano
2	nivel 1	minimomedio	sano
3	nivel 2	minimomedio	sano
4	nivel 1	minimomedio	mediosano
5	nivel 2	minimomedio	mediosano
6	nivel 3	minimomedio	mediosano
7	nivel 3	minimomedio	dañado
8	nivel 3	avanzada	dañado

Tabla de estados finales de los pulmones, Fuente: (García, López).

En la Tabla 3.4 se propone un ejemplo en el cual se tiene las entradas similares, con la variante de Enfermedades Previas, biomasa y consumo de cigarrillo distintas una de otra.

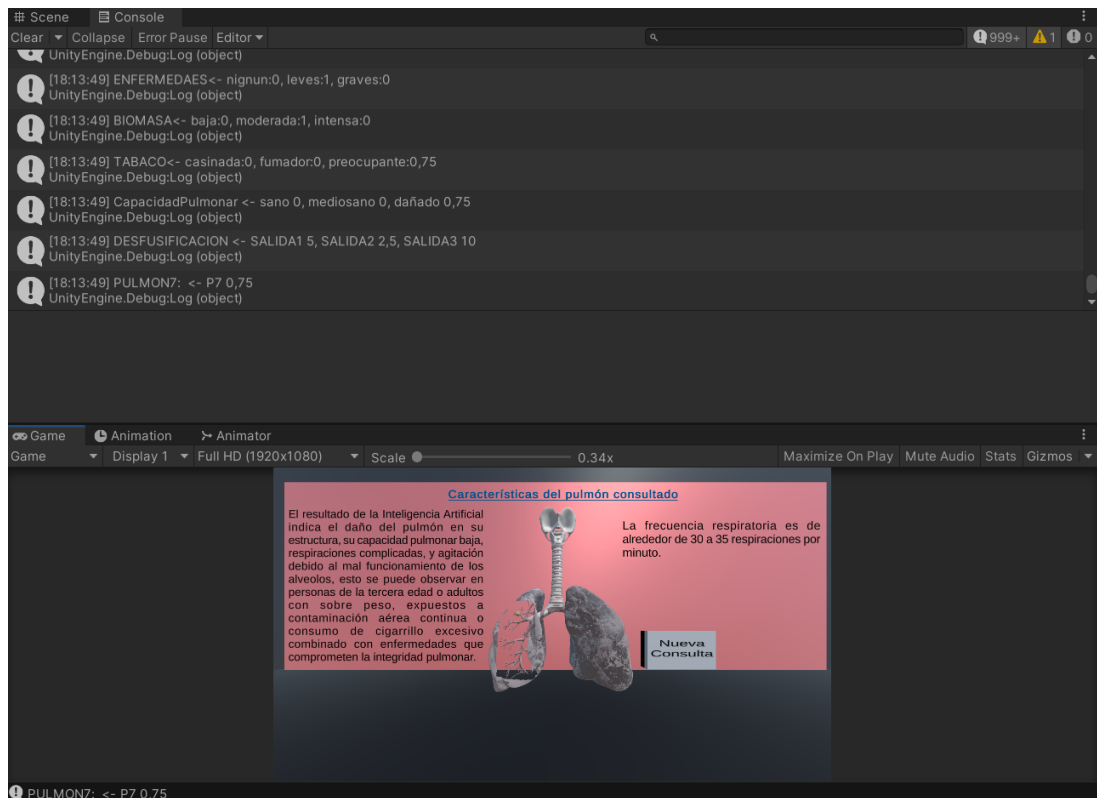
Tabla 4.2. Datos de entrada de 2 usuarios

Consulta en Conocer con IA		
	A	B
Edad	70	70
Peso	66	66
Estatura	170	170
Enfermedades previas	2	0
Biomasa Contaminante	2	1
Consumo de Cigarrillos	12	1

Tabla de datos de entrada de 2 usuarios, Fuente: (García, López).

Los resultados para A se muestran en la Figura 4.14, donde se obtiene todos los valores correspondientes a la fusificación y defusificación del sistema difuso creado, obteniendo así los valores de cada una de las salidas (salida1 = 1, salida2 = 2.5, salida3 = 10), los mismos que muestran en qué conjunto difuso recae de acuerdo a los datos ingresados por el usuario (nivel3, minimomedio, dañado). Una vez obtenido estos datos se realiza un análisis en la Tabla 4.1 donde se muestra que de acuerdo a los conjuntos alcanzados el pulmón se encuentra en el nivel 7.

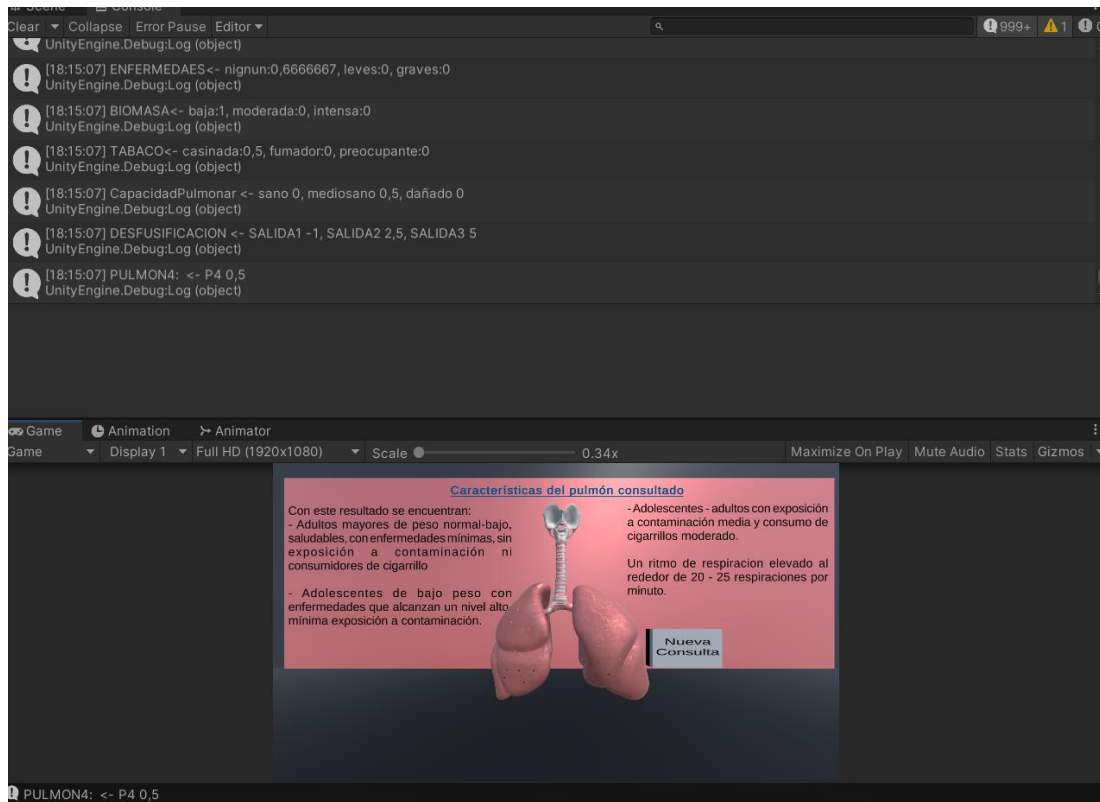
Figura 4.14. Datos obtenidos del Usuario A



Datos obtenidos del Usuario A, Fuente: (García, López).

Los resultados para B se muestran en la Figura 4.15, obteniendo los valores correspondientes de cada salida (salida1 = 1, salida2 = 2.5, salida3 = 5), en base a estos valores, los conjuntos difusos en los que recae (nivel1, minimomedio, mediosano, determinan en qué estado se encuentra el pulmón realizando, el respectivo análisis en la Tabla 4.1 demuestra que estos valores corresponden al pulmón de nivel 4

Figura 4.15. Datos obtenidos del Usuario B



Datos obtenidos del Usuario B, Fuente: (García, López).

CONCLUSIONES

De acuerdo con la base de datos recolectada, se toma en cuenta que la mayoría de proyectos que se involucran con Leap Motion tratándose de un ambiente virtual, lo utilizan como una herramienta interactiva que aumenta el conocimiento del usuario sobre el sistema respiratorio, teniendo como resultado que el sujeto muestra un interés extra en el tema que ha interactuado entre este sensor de movimiento de manos y realidad virtual, como muestran los resultados de la encuesta realizada a 15 personas.

Se escogió la plataforma Blender, debido a que posee un software accesible, herramientas de diseño 3D especial para dar forma definida a los objetos y animarlos con movimientos propios, siendo compatible con Unity. En el entorno virtual se diseñó varios tipos de interacciones como el movimiento de las manos para la rotación del sistema respiratorio en “Interacción 3D”, accionamiento de botones para el avance de estaciones en el “Museo respiratorio”, e ingreso de valores mediante sliders accionados por el movimiento de un objeto dentro de la escena en “Conoce con IA”.

La interfaz compatible se accede mediante la utilización de librerías propias del proveedor Leap Motion en Unity, permitiendo la conexión directa y sin programas intermediarios que pueden hacer que el enlace se ralentice o pierda, otorgando una estabilidad constante al momento de su utilización. Llegando a la elección de viabilidad productiva con esta interfaz.

En base a lógica difusa se consiguió demostrar los niveles del estado pulmonar, siendo este un aspecto importante en el ambiente virtual debido a que los usuarios mostraron aumento de empatía en el tema, cuando conocieron que en un sistema respiratorio dañado es observable una frecuencia respiratoria acelerada, y como consecuencia dificultad al respirar, como se observa en la Figura 4.2.

La atención de los usuarios se centró en la escena de “Museo respiratorio”, se obtuvieron resultados favorables de aceptación del entorno desarrollado en cuanto a su facilidad y agrado del mismo, como se observa en la Figura 4.3, la muestra de los encuestados resultó ser representativa, brindándonos un nivel de aceptación de más del 90%, como se aprecia en la Figura 4.4, además este proyecto fue calificado útil como herramienta de conocimiento tanto por su ejecución y facilidad de utilización además de la factibilidad de implementar esta

tecnología en laboratorios virtuales de escuelas, colegios e institutos del país como se observa en la Figura 4.5.

Se alcanzó a simular 27 estados diferentes para los pulmones, debido a que se tienen 3 salidas conformadas por 3 conjuntos en cada una. Acercándose a una simulación más cercana a la realidad.

RECOMENDACIONES

Para la ejecución del programa es recomendable utilizar monitores con resolución 1920 x 1080 pixeles tomando en cuenta que estos son apropiados para este tipo de ambientes virtuales, de la misma manera un procesador superior a los de séptima generación, da fluidez a los procesos internos.

Para aumentar el tiempo de vida del sensor Leap Motion, se recomienda colocarlo en ambientes con una circulación de aire constante, debido al recalentamiento del mismo por la cantidad de fotogramas que recibe y datos que envía, de igual manera debe tomarse un tiempo de enfriamiento entre utilizaciones de cinco a diez minutos.

Al exportar los archivos 3D de Blender a Unity es necesario asegurarse el envío de texturas, en archivos grandes no suelen transportarse todas ellas, de ser ese caso en Unity se puede crear materiales, y replicar los mismos.

Colocar el sensor a una altura entre 50 y 80 cm perpendicular al suelo, a una elevación superior el sensor no recibirá correctamente las señales gestuales del usuario y el programa no ejecutará las instrucciones correctamente, de igual misma manera se sugiere no utilizar prendas de vestir que cubran las muñecas y manos.

Para simuladores de ambientes virtuales con IA se recomienda utilizar la lógica difusa, debido a que este método permite realizar un barrido en una base de datos extensa que nos llevará al resultado requerido, es importante contemplar múltiples entradas en la estructura del mismo lo que permitirá obtener un número elevado de archivos en la base de datos convirtiéndolo en un sistema especializado y dejándolo con un mínimo de error. En futuros proyectos al trabajar en Unity con lógica difusa es conveniente evitar recurrir a plataformas adicionales por distintos problemas que pueden ocurrir en el entorno como fallas de comunicación o pérdida de datos al momento de enviar o recibir información en tiempo real como se lo realizó en este proyecto.

REFERENCIAS

- Canet, J. (2017). Fisiología respiratoria. *Fisiología Respiratoria y Ciencia de La Respiración*, 27. <http://www.scartd.org/arxius/fisioresp06.pdf>
- Cortez Ospina, S., Sierra Pérez, D., Isaza López, S., & Jiménez Posada, L. D. (2020). Unidad diafragmática del simulador físico de la biomecánica respiratoria [EIA University]. In *Universidad EIA*. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2562>
- Díaz, R. (2018). Aplicativo software para telerehabilitación del síndrome del túnel carpiano utilizando el dispositivo leap motion. *Afecciones En Personas Con Trabajos de Oficina*, November 2017, 18.
- Enmanuel, P., & Berm, R. (2021). *Desarrollo de una nueva versión de BioBlender , un módulo de Blender para visualización de biomoléculas* (pp. 1–18). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992021000500120
- Ferreira, R., Xavier, R., & Ancioto, A. (2021). Virtual reality as a tool for basic and vocational education. *Revista Científica General Jose Maria Cordova*, 19(33), 223–241. <https://doi.org/10.21830/19006586.728>
- Ferrer, D. (2018). Cirugía de la vía aérea. *New Florida Research*, 1, 1–10.
- García, G. (2015). Aspectos básicos del manejo de la vía aérea anatomía y fisiología. *Conferencia de Anestesiología Ciudad de México*, 38, 98–107.
- Gargallo, J., & Alvarez, M. (2020). *Obesidad y sobrepeso*. Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Gómez, G., Rodríguez Jiménez, C., & RamosNavas, M. (2019). Virtual reality in physical education area. *Sport and Health Research*, 11(Supl 1), 177–186.
- Gonzalez, S. (2017). Entornos virtuales de simulación para formación médica. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 10.
- González, S., Zambrano, M., Villacis, C., Prócel, C., & Andrés, B. (2017). *Diseño y desarrollo de un videojuego educativo con técnicas de inteligencia artificial para Android aplicando la metodología oohdm* (Vol. 4) [Universidad de las Fuerzas

- Armadas]. <https://doi.org/10.24133/gdr.v5i1.276>
- Hattori, T., Masuda, R., Moritoh, Y., Imai, Y., Kawakami, Y., & Tanaka, T. (2020). Utilization of both free 3DCG software “Blender” and 3D printing for early STEM education. *EEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering*, 879–882. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368379>
- Iñiguez, F., Sánchez, I., Broncopulmonar, P., & Iñiguez Osmer Pediatra Broncopulmonar, F. (2016). Desarrollo pulmonar en niños. *Sociedad Chilena de Neumología Pediátrica*, 11(2), 148–155. <http://www.neumologia-pediatria.cl>
- Leap Motion, C. (2011). *Leap Motion Controller*. 1–2.
- Londoño Pérez, C., Rodríguez Rodríguez, I., & Gantiva Díaz, C. A. (2011). Clasificación de consumidores de cigarrillo (C4) para jóvenes. *Diversitas*, 7(2), 281. <https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2011.0002.06>
- Luengas, S. A., Bolaño, M. A., Arcos, V. B., Goenaga, A. S., & Caballero-Uribe, C. V. (2012). Aplicación de nuevas tecnologías de la información en la enseñanza de la medicina. *Salud Uninorte*, 25(1), 150–171.
- Manual Leap Motion*. (2010). <https://www.ultraleap.com/>
- Mariño, S., & Primorac, C. (2016). Propuesta metodológica para desarrollo de modelos de redes neuronales artificiales supervisadas. *International Journal of Educational Research and Innovation*, 6, 231–245. <https://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/1654>
- Nakagawa, B. T., Penteadó, R. V. S., Tsuzuki, M. S. G., Tori, R., Takimoto, R. Y., Martins, T. C., Abe, L. I., Rosso, R. S. U., Gotoh, T., & Iwasawa, T. (2017). Virtual reality of animated lung with internal structures. *IFAC*, 50(1), 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2258>
- Netter, F. (2001). *Atlas de anatomía humana* (A. Dalley (Ed.); 2nd ed.). Masson.
- Nicola, S., Stoicu Tivadar, L., Virag, I., & Crisan Vida, M. (2016). Leap Motion supporting medical education. *12th International Symposium on Electronics and Telecommunications*, 153–156. <https://doi.org/10.1109/ISETC.2016.7781080>

- Rajeswaran, P. (2019). Virtual reality trainer for endotracheal intubation design considerations and challenges. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1130–1131. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798249>
- Ramos, L. (2014). Psicología cognitiva e inteligencia artificial. *Unife*, 22(1), 21–27. [file:///C:/Users/Pc/Downloads/270-Texto del artículo-1134-1-10-20180205.pdf](file:///C:/Users/Pc/Downloads/270-Texto%20del%20articulo-1134-1-10-20180205.pdf)
- Reiriz Palacio, J. (Universidad de B. (2015). Anatomía del sistema respiratorio. *Infermeres I Barcelona*, 1–27.
- Rodriguez, A., & Delgado, L. (2006). Diagnostico de salud bucal. *Rev. Cuba. Estomatol*, 33(1), 5–11.
- Sánchez, T., & Concha, I. (2021). Contribución de la estructura de la vía aérea y el pulmón a la función del aparato respiratorio. *Neumología Pediátrica*, 16(3), 103–109. <https://doi.org/10.51451/np.v16i3.440>
- Santhanam, A. P., Imielinska, C. I., Davenport, P., Kupelian, P., & Rolland, J. P. (2008). Modeling real-time 3D lung deformations for medical visualization. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 12(2), 257–270. <https://doi.org/10.1109/TITB.2007.899489>
- Silva, J. N. A., Southworth, M., Raptis, C., & Silva, J. (2018). Emerging applications of virtual reality in cardiovascular medicine. *JACC: Basic to Translational Science*, 3(3), 420–430. <https://doi.org/10.1016/j.jacbts.2017.11.009>
- Suárez, D. R., Lancheros Cuesta, D., & Aguirre Carpeta, W. Y. (2015). Sistema HCI basado en el Controlador Leap Motion aplicado a la prevención de caries dental. *Leap Motion Innovation*, 3, 5. <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/mem/article/view/824>
- Suárez, García, C., Gil Carcedo, L. M., Algarra, J. M., Medina, J., Ortega del Álamo, P., & Pinedo, J. T. (2007). Anatomía y embriología de la laringe. *Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*, 12.
- Torres, M., Del Valle, J., Martínez, E., & Guillen, A. (2016). *Aplicación de la realidad virtual para la ubicación del infarto agudo al miocardio* (Issue August, p. 15).
- Tortora, G., & Derrickson, B. (2013). *Principios de anatomía y fisiología* (Editorial Medical

Panamericana (Ed.); 13^a).

West, J. (California U. (2017). *Fisiología respiratoria* (Editorial Medica Panamericana (Ed.); 7th ed.).





World Health Organization, O. (2014). *Curvas OMS de peso, talla e Índice de masa corporal para niños, niñas y adolescentes de 5 a 19 años*. Organización Mundial de La Salud.

World Health Organization, O., Becker, F. G., Cleary, M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Becker, F. G., Khalaf, R., De Elvira, L. R., Zintl, T., Hinnebusch, R., Karimi, M., Mousavi Shafae, S., Watts, S., Kavanagh, J., ... Sambanis, N. (2015). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. *Syria Studies*, 7(1), 37–72.

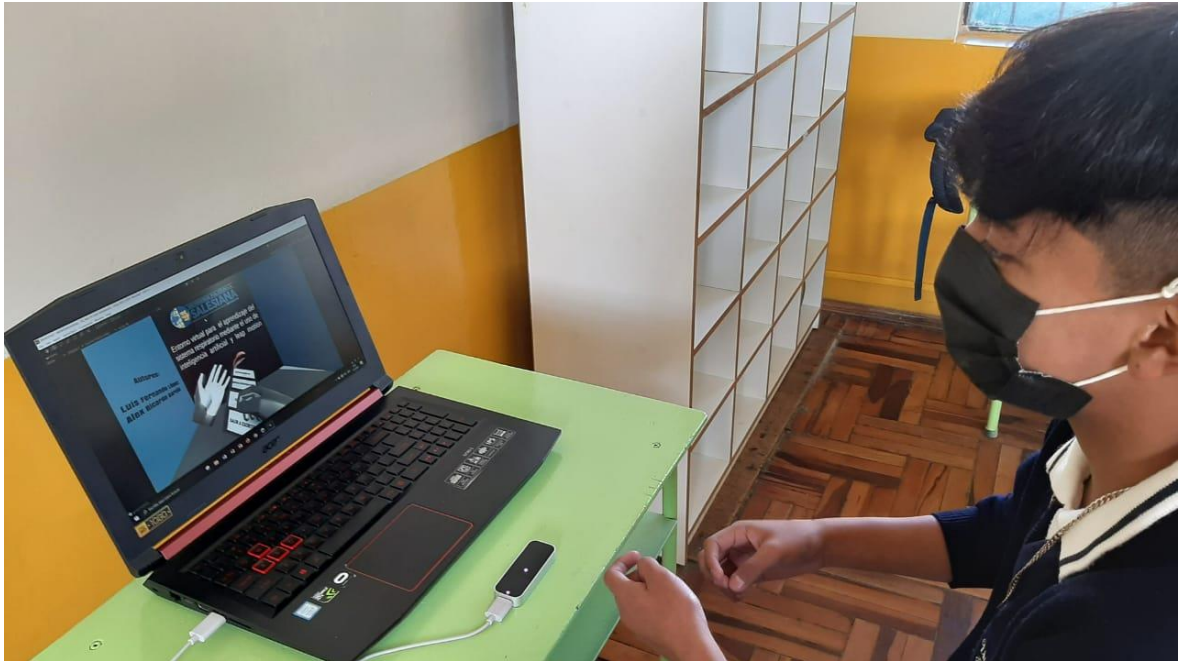
https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625

ANEXOS

Anexo 1 Tabla de Instrucciones interacción 3D

<u>MANO IZQUIERDA</u>				
Sistema de referencia 3D				
Acción: Giro anti horario	Posición Mano: Palma en dirección arriba, dedos contraídos pulgar entendido	Descripción: El sistema respiratorio realiza un movimiento sobre su eje de rotación “y”, en sentido anti horario.	Detener: Con la acción contraria (Giro horario). Duración acción: 2 Seg Dirección Espacial: x=0, y=1, z=0	Grafico: 
Acción: Giro Horario	Posición Mano: Palma en dirección abajo, dedos contraídos pulgar entendido	Descripción: El sistema respiratorio realiza un movimiento sobre su eje de rotación “y”, en sentido anti horario.	Detener: Con la acción contraria (Giro Anti horario). Duración acción: 2 Seg Dirección Espacial: x=0, y=-1, z=0	Grafico: 
<u>MANO DERECHA</u>				
Acción: Retorno al Menú Principal	Posición Mano: Palma de la mano hacia la derecha	Descripción: Retorno al menú principal luego de recorrido 7 Seg con la mano en la misma posición	Detener: No se detiene. Duración acción: 3 Seg Dirección Espacial: x=-1, y=0, z=0	Grafico: 

Anexo 2 Estudiante interactuando con el escenario “Menú Principal”



Anexo 3 Estudiantes interactuando con el escenario “Aprende con IA”



Anexo 4 Estudiantes interactuando con el escenario “Interacción 3D”



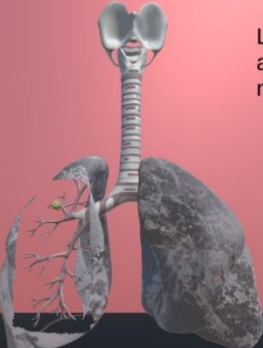
Anexo 5 Estudiantes interactuando con el escenario “Museo Respiratorio”



Anexo 6 Resultados de los estados de pulmones de los Usuarios A y B.

Características del pulmón consultado

El resultado de la Inteligencia Artificial indica el daño del pulmón en su estructura, su capacidad pulmonar baja, respiraciones complicadas, y agitación debido al mal funcionamiento de los alveolos, esto se puede observar en personas de la tercera edad o adultos con sobre peso, expuestos a contaminación aérea continua o consumo de cigarrillo excesivo combinado con enfermedades que comprometen la integridad pulmonar.



La frecuencia respiratoria es de alrededor de 30 a 35 respiraciones por minuto.


Nueva Consulta

PULMON7: <- P7 0,75

Características del pulmón consultado

Con este resultado se encuentran:

- Adultos mayores de peso normal-bajo, saludables, con enfermedades mínimas, sin exposición a contaminación ni consumidores de cigarrillo
- Adolescentes de bajo peso con enfermedades que alcanzan un nivel alto mínima exposición a contaminación.



- Adolescentes - adultos con exposición a contaminación media y consumo de cigarrillos moderado.

Un ritmo de respiracion elevado al rededor de 20 - 25 respiraciones por minuto.

Nueva Consulta

PULMON4: <- P4 0,5