



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**APLICACIÓN INTERACTIVA EN MATLAB
PARA EL ESTUDIO DEL BALANCE QUÍMICO
DEL INTERCAMBIO DE GASES EN EL SISTEMA
RESPIRATORIO.**

Autor
Carlos Leonardo Bravo Revelo

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Programa de Bioingeniería
Medellín, Colombia
2020



Aplicación Interactiva en Matlab para el Estudio del Balance Químico del Intercambio de Gases en el Sistema Respiratorio.

Carlos Leonardo Bravo Revelo

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Bioingeniero

Asesor:

Alher Mauricio Hernández Valdivieso
Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería Biomédica

Línea de Investigación:

Herramientas para el entrenamiento y la formación

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Bioinstrumentación e Ingeniería Clínica (GIBIC)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Programa de Bioingeniería
Medellín, Colombia

2020.

Contenido

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo general	7
3.2. Objetivos específicos	7
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1. Características de la educación médica basada en SE.	7
4.2. Estrategias de enseñanza/aprendizaje.	9
4.3. Gamificación y sus características.....	11
4.4. Fisiología del Sistema Respiratorio	12
4.5. Matlab y App Designer.....	16
4.6. Construcción de simulaciones/animaciones 2D en Synfig Studio	25
4.7. Usabilidad y experiencia de usuario	25
5. METODOLOGÍA.....	27
5.1. Revisión bibliográfica	27
5.2. Definición de requerimientos	28
5.3. Desarrollo de la aplicación interactiva	30
5.4. Diseño e implementación de pruebas de usabilidad y validación	40
5.5. Implementación de mejoras en la aplicación	43
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	44
6.1. Revisión bibliográfica	44
6.2. Definición de requerimientos	51
6.3. Desarrollo de la aplicación interactiva	52
6.4. Diseño e implementación de pruebas de usabilidad y validación	64
7. CONCLUSIONES	70
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
9. ANEXOS.....	74

1. RESUMEN

Uno de los mayores problemas que ha presentado la educación médica en Colombia ha sido suscitado por la nueva legislación, en especial por la Ley 100, cuya implementación busca la reducción de costos de atención médica por parte de las EPS, pero, que ha limitado la práctica de estudiantes de pregrado y posgrado en lo que respecta a la atención a pacientes, disminuyendo la adquisición de habilidades y haciendo que la mayoría de los egresados no hayan tenido oportunidad de realizar procedimientos quirúrgicos básicos de manera autónoma [1], [2]. Este hecho ha desembocado en la utilización de la simulación clínica y herramientas de software como alternativas en la formación de profesionales del área de la salud.

Por otro lado, la importancia que conlleva el estudio del sistema respiratorio se fundamenta entre otras cosas en la cantidad alarmante de casos de afecciones respiratorias que se presentan en nuestro país [3]. Dentro del estudio de ese sistema del organismo, uno de los mecanismos que mayor dificultad de comprensión presenta es el intercambio de gases, y aunque actualmente existen estrategias educativas distintas a las convencionales para abordar dicha temática, entre las que destacan herramientas de software, la mayoría de las soluciones disponibles se limita a incorporar contenidos, sin motivar el aprendizaje.

En el presente proyecto se realizó el desarrollo de una aplicación interactiva para el estudio de los mecanismos fisiológicos relacionados con el intercambio de gases en el sistema respiratorio. Para la construcción de esta herramienta, se procedió, en primer lugar, con una revisión bibliográfica relacionada con la educación médica basada en el uso de software educativo. Luego, se llevó a cabo una búsqueda de estrategias de enseñanza-aprendizaje, para posteriormente seleccionar las estrategias más convenientes para implementar en la aplicación. Después, se prosiguió con la definición de los requerimientos de la herramienta, tales como los contenidos que se abordaron en ella, los elementos de la experiencia de usuario, y la arquitectura de construcción del software. Finalmente se procedió con la construcción de la interfaz gráfica y la programación de los algoritmos correspondientes.

La aplicación construida tiene como base para la enseñanza, la resolución de cuestionarios a partir de la exploración de recursos. Además, emplea elementos de gamificación, tales como sistemas de puntuación, de logros y de retos, que tienen como objetivo mantener la motivación del estudiante en su proceso de aprendizaje.

Por otro lado, es oportuno destacar que luego de haber culminado el desarrollo de la aplicación, se llevaron a cabo pruebas de usabilidad, para

determinar el grado de satisfacción de los usuarios en los que respecta a diseño y funcionalidad; y pruebas de validación, cuyo objetivo fue establecer el nivel de aprendizaje que adquieren los estudiantes luego de entrenarse con el software. Los resultados de la prueba de usabilidad arrojaron un nivel de satisfacción de 8.1/10 y para la prueba de validación una calificación promedio de 7.63/10, lo que indica que la aplicación cumple con su objetivo como herramienta de enseñanza-aprendizaje.

2. INTRODUCCIÓN

El uso de las TICs en la educación ha tenido una gran recepción en los últimos años, y la educación médica no ha sido excepción. De acuerdo con la UNESCO, las TICs pueden contribuir al acceso universal de la educación, la igualdad, el ejercicio de la enseñanza y el aprendizaje de calidad; facilitan ampliar la información, mejorar la calidad y garantizar la integración [4].

En el área de la salud, se ha apostado por el desarrollo de software educativo (SE) con miras a ser empleado en la educación médica, así, han ido apareciendo herramientas con distintos enfoques de enseñanza y aprendizaje, pero, en la mayoría de las cuales el común denominador ha sido la presentación de contenidos multimedia, tales como textos, imágenes y en el mejor de los casos, videos y animaciones, todos estos recursos como base para la explicación de conceptos de anatomía y fisiología.

Por otro lado, dentro de la formación de profesionales del área de la salud, cabe destacar la importancia del estudio de la anatomía y la fisiología del sistema respiratorio, tema que generalmente, abarca la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases, el transporte de gases, y la regulación de la respiración; siendo el intercambio de gases uno de los subtemas que más abstracción requiere para ser comprendido a cabalidad, esto debido a los complejos mecanismos que describe y que se pueden tornar difíciles para el estudiante cuando este no maneja los conocimientos necesarios del área de la física, la química y las matemáticas.

Además, las estrategias de enseñanza y aprendizaje empleadas para adentrarse en las temáticas desempeñan un papel fundamental en la actitud que el estudiante toma frente al conocimiento, sin embargo, la mayoría de las soluciones software desarrolladas descuidan este aspecto, obviando generar motivación en el alumno.

En adición, es oportuno recalcar que de la escasa cantidad de aplicaciones que existen para la enseñanza de la fisiología del sistema respiratorio, la gran mayoría de ellas no reportan pruebas de usabilidad que permitan determinar la conformidad de los usuarios con respecto a su diseño y funcionalidad.

En el presente proyecto se desarrolla una aplicación de escritorio para la enseñanza de la fisiología del sistema respiratorio, que incorpora elementos de gamificación con el objetivo de mantener motivado al estudiante en la constante exploración de los recursos que se le ofrecen, y cuyo contenido abarca la explicación de conceptos relacionados con la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases, y el transporte de gases. Cuando el estudiante ingresa por vez primera a la aplicación, debe resolver un cuestionario de conocimientos previos que le dará a conocer su nivel de formación en lo que respecta a conceptos elementales del sistema respiratorio y a conocimientos básicos de física y química que son necesarios para la comprensión de los mecanismos fisiológicos explicados dentro del software. Posterior al cuestionario inicial, el estudiante debe crear un usuario y seleccionar uno de siete roles, cada uno de los cuales se caracteriza por presentar una habilidad distinta. Finalmente, el usuario será llevado hasta la ventana principal del programa, en la cual se le presentará una serie de preguntas relacionadas con las temáticas antes mencionadas y que deberá responder teniendo en cuenta los conceptos explicados en la sección de recursos a la que puede ingresar desde esta misma ventana.

La aplicación descrita se desarrolla utilizando Matlab, y está concebida como una versión prototipo que busca estructurar aspectos de funcionamiento con miras a ser programada a futuro en una plataforma que le permita ejecutarse libremente en diferentes navegadores, además de incorporar elementos que hagan crecer la interactividad. Lo anterior conlleva como debilidad, la presencia de limitaciones en los tiempos de ejecución y en la calidad gráfica, generando que en cierta medida exista una pérdida de interactividad especialmente necesaria cuando el usuario debe entrar en contacto con las simulaciones usadas para explicar los mecanismos fisiológicos.

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto, en primer lugar, se realizó una revisión del estado del arte en lo relacionado a educación médica basada en SE. Luego, se procedió con la definición de los requerimientos de la aplicación, para lo cual se tuvieron en cuenta estrategias de enseñanza y aprendizaje con el ánimo de determinar cuál sería la más adecuada para implementar en el software, además de los elementos de la experiencia de usuario con los que este contaría. Posteriormente, se efectuó la programación de los algoritmos y la construcción de la interfaz gráfica de la aplicación. Finalmente, se diseñaron e implementaron pruebas de usabilidad y de validación para la herramienta.

El software desarrollado representa una innovadora forma de profundizar en el aprendizaje de la fisiología del sistema respiratorio, una herramienta que el estudiante podrá emplear para su entrenamiento fortaleciendo sus conocimientos y sin requerir elevadas inversiones. Se espera que esta versión prototipo sirva de base para el desarrollo de una versión comercial multiplataforma.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una aplicación interactiva para la enseñanza y el aprendizaje del intercambio de gases en el sistema respiratorio.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1. Identificar los requerimientos de la aplicación teniendo en cuenta las dificultades para el aprendizaje de los conceptos de la mecánica ventilatoria y el intercambio de gases en el sistema respiratorio.
- 3.2.2. Seleccionar basados en parámetros pedagógicos y en los requerimientos definidos la mejor estrategia para la enseñanza interactiva de los contenidos establecidos.
- 3.2.3. Diseñar por lo menos una aplicación interactiva en Matlab que cumpla con los requerimientos funcionales y de contenido para el aprendizaje del balance químico en el intercambio de gases en el sistema respiratorio.
- 3.2.4. Diseñar e implementar una prueba de usabilidad que permita evaluar la funcionalidad y el aprendizaje de los contenidos considerados para la aplicación.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Características de la educación médica basada en SE.

Un software educativo (SE), se puede definir como un programa computacional cuya estructura tanto de contenidos como de funcionalidades, está diseñada para favorecer el desarrollo de habilidades cognitivas en el individuo que lo utilice [5], [6]. De acuerdo con lo anterior, un SE de calidad debe contar con las siguientes características [7]:

- 4.1.1. Características referentes a los destinatarios: Dentro de esta categoría se tiene en cuenta la capacidad del SE para adecuarse al contexto y a los usuarios por los cuales va a ser empleado. Aparecen las siguientes características:

- Individualización: Es la capacidad de la herramienta para adaptarse a cada uno de los sujetos que la utilicen, especialmente, cuando se trata de progresos individuales.
 - Adaptación social, cultural e ideológica: Hace referencia a la capacidad de adaptación al contexto y la sociedad en la que se va a implementar el SE, partiendo del respeto hacia las costumbres y la cultura.
- 4.1.2. Características referentes a la enseñanza: Este grupo de características se relaciona con la facultad de la herramienta de software para ser un medio de implementación de estrategias de enseñanza. Dentro de esta categoría aparecen:
- Cumplimiento de objetivos: Es la capacidad del SE para cumplir con los objetivos del proceso de enseñanza.
 - Motivación: Hace referencia a la facultad de la herramienta de software para generar motivación en el usuario hacia la exploración de los contenidos que se le ofrecen.
 - Retroalimentación: Está relacionada con la capacidad del SE para ofrecer elementos que le permitan al usuario conocer de forma positiva su nivel de progreso, sus fallas y sus aciertos.
 - Adaptación metodológica: Hace referencia a la facultad de la herramienta de software para adecuarse a una metodología de enseñanza.
 - Adaptación a enfoques no memorísticos: Está relacionada con la capacidad del SE para generar, en el usuario, conocimientos de forma crítica y creativa, no memorística.
- 4.1.3. Características referentes a los contenidos: En esta categoría se considera la capacidad del SE para implementar contenidos adecuados de acuerdo con la temática abordada y la estrategia de enseñanza empleada. Las características son:
- Presentación: Está relacionada con la capacidad de la herramienta de software para presentar los contenidos de forma clara y actualizada.
 - Tutorización: Es la facultad del SE para generar indicaciones y sugerencias de contenidos de acuerdo con las actividades realizadas por el usuario.

- Ejemplificación: Hace referencia a la capacidad de la herramienta de software para presentarle al usuario situaciones que ilustren conceptos y le faciliten la comprensión de las temáticas.
- Ayuda: Es la capacidad del SE para presentar contenidos que le sirvan de apoyo al usuario al momento de enfrentar situaciones problemáticas.
- Evaluación automática: Está relacionada con la capacidad de la herramienta de software para evaluar y generar calificaciones de forma automática.
- Registro de datos: Es la facultad del SE para guardar información de los usuarios y permitirles conocer información de su progreso individual cuando ellos lo deseen.
- Desarrollo de valores: Se relaciona con la capacidad de la herramienta de software para generar en el usuario actitudes de respeto hacia sus semejantes y hacia el ambiente.

4.1.4. Características referentes al aprendizaje: Estas características hacen referencia a la capacidad del software para influir de manera activa en el proceso de aprendizaje de los usuarios. Dentro de este grupo se encuentran:

- Metodología de aprendizaje: Es la capacidad del SE para permitirle al usuario participar de forma activa en su proceso aprendizaje y en la adquisición de conocimientos a través de su experiencia.
- Flexibilidad: Está relacionada con la facultad de la herramienta de software para brindar a los usuarios distintos niveles y caminos de exploración.

4.2. Estrategias de enseñanza/aprendizaje.

La definición de estrategia de enseñanza-aprendizaje está compuesta por dos definiciones que, aunque en la práctica siempre van de la mano y trabajan en conjunto, para su conceptualización se hace oportuno separarlas [8].

En primer lugar, aparece el concepto de estrategia de enseñanza, que hace referencia a todo procedimiento empleado por el docente con el fin de generar aprendizaje significativo en los estudiantes, dichos procedimientos deben cumplir con algunas características, tales como:

(1) Ser funcionales y que conlleven un aumento en el rendimiento de las tareas, (2) Ser significativos y ser percibidos como útiles por parte de los estudiantes, (3) Ser directos, informativos y explicativos. (4) Emplear materiales claros y agradables para los estudiantes [8].

Por otro lado, una estrategia de aprendizaje se relaciona con las conductas y pensamientos que un estudiante emplea con el objetivo de facilitar la adquisición, el almacenamiento y la utilización del conocimiento. Entre sus características destacan: (1) Utilización selectiva de las capacidades disponibles, (2) Aplicación controlada y no automática [8].

Es importante tener presente que cuando se habla de estrategias de enseñanza-aprendizaje, se debe pensar en procesos que se deben adaptar al contexto y a las temáticas que se están abordando, no hay que concebirlas como algoritmos rígidos e inequívocos [8].

Las estrategias de enseñanza-aprendizaje pueden ser clasificadas de distintas formas, pero una de las más representativas es haciendo énfasis en el sujeto central del proceso de enseñanza-aprendizaje, tal como se realiza a continuación [8]:

4.2.1. Estrategias centradas en el alumno o también denominadas estrategias activas, se basan en el autoaprendizaje. Dentro de esta categoría aparecen:

- Método de los problemas: con esta estrategia se busca que el estudiante utilice su capacidad investigativa y de comprensión y análisis de nuevos conocimientos para resolver situaciones problemáticas planteadas por el docente.
- Método del juego de roles: al usar esta estrategia el estudiante debe asumir una identidad distinta a la suya para buscar la solución a problemas reales o hipotéticos.
- Método de situaciones: esta estrategia busca que el estudiante sea capaz de enfrentar distintas situaciones de un mismo problema, para fortalecer su capacidad de toma de decisiones.
- Método de indagación: este método promueve el pensamiento crítico y creativo del estudiante, además de la curiosidad, en la búsqueda constante de nuevos conocimientos.
- Enseñanza por descubrimiento: con esta estrategia se busca que el estudiante sea consciente de la forma en la que se producen los descubrimientos y por ende los nuevos conocimientos.

4.2.2. Estrategias centradas en el docente: de esta categoría hacen parte las estrategias tradicionales de enseñanza-aprendizaje, en ellas, el docente es el proveedor del conocimiento y el papel de estudiante se torna pasivo. Las más representativas de esta categoría son la enseñanza tradicional y la enseñanza expositiva.

4.2.3. Estrategias centradas en el proceso: en este tipo de estrategias se basan en generar un proceso de adquisición de conocimientos que para el estudiante resulte innovador. En esta categoría se destacan:

- Simulación: consiste en sumergir al estudiante en situaciones hipotéticas pero representadas de manera que parezcan reales, en las cuales tenga que tomar decisiones. La principal característica de esta estrategia está fundamenta en el hecho de que el estudiante puede tomar sus decisiones de manera autónoma y recibir retroalimentación instantánea.
- Método de los cuatro pasos: los cuatro pasos son: Paso 1. El instructor dice y hace. Paso 2. El alumno dice y el instructor hace. Paso 3. El alumno dice y hace. Paso 4. El alumno hace y el instructor supervisa.

4.3. Gamificación y sus características

La definición de gamificación hace referencia a la incorporación de dinámicas, mecánicas y componentes que hacen parte de los juegos, en actividades que nada tienen que ver con el ocio, esto con el ánimo de mantener motivado al participante en la realización de dicha actividad. El campo en el cual ha tenido mayor recepción ha sido la educación, sin embargo, las técnicas de gamificación también se han implementado en iniciativas empresariales, de marketing, ecológicas, entre otras [9], [10].

De acuerdo con lo anterior los conceptos clave que cimentan la definición de gamificación son [10], [11]:

- Las dinámicas de juego: que hacen referencia a los deseos y necesidades que fundamentan la motivación del jugador para participar en una experiencia gamificada. Están relacionadas con las emociones que surgen en el usuario al momento de hacer parte del juego y sumergirse en su progresión.
- Las mecánicas de juego: están relacionadas con los principios y las reglas propuestas, se caracterizan por definir el objetivo a alcanzar durante el juego.

- Los componentes de juego: son la base de una experiencia gamificada, hacen referencia a los elementos que permiten estructurar una actividad en forma de juego, entre ellos se encuentran los avatares, los logros, las medallas, los retos, los coleccionables, el desbloqueo de contenidos, las puntuaciones, etc.

En lo que respecta a la educación, las experiencias gamificadas han demostrado un incremento en el compromiso de los estudiantes hacia el aprendizaje, de igual forma, este tipo de herramientas han sido generadoras de un aumento en las habilidades para la resolución de situaciones problemáticas. Por otro lado, estas alternativas desarrollan entre los participantes la capacidad de colaboración y trabajo en equipo [11].

4.4. Fisiología del Sistema Respiratorio

El concepto de respiración abarca dentro de sí tres funciones que, aunque en la práctica están relacionadas, se pueden definir de forma separada, éstas son: (1) La ventilación, que hace referencia al movimiento de aire desde el exterior hacia los pulmones y viceversa, (2) El intercambio de gases que se lleva a cabo entre los alveolos y los capilares pulmonares, y también entre los capilares tisulares y las células, (3) La respiración celular, que consisten en la utilización del oxígeno por parte de las células para satisfacer sus demandas metabólicas [12].

4.4.1. Ventilación alveolar

El movimiento de aire desde el exterior hacia el interior de los pulmones y en dirección contraria se produce como el resultado de la diferencia de presiones que se genera entre esas dos zonas. Durante el proceso de ventilación, que está compuesto por dos procesos antagónicos: la inspiración, que corresponde al ingreso de aire hacia los pulmones; y la espiración, que consisten en la salida de aire hacia el medio; influyen las propiedades físicas de los pulmones. Dichas propiedades se describen a continuación [12]:

- Distensibilidad: Es la capacidad de expandirse, para aumentar su volumen durante la inspiración.
- Elasticidad: Hace referencia a la propiedad que les permite regresar a su forma y tamaño inicial luego de expandirse durante la inspiración.
- La tensión superficial: producida por el líquido que se encuentra en la superficie de los alveolos, es una de las fuerzas que se oponen a la

distensión pulmonar, dicha tensión produce una disminución del volumen del alveolo, lo que implica un aumento en presión del aire allí contenido.

Por otro lado, los pulmones, cuentan con una estructura que les facilita el movimiento dentro de la cavidad torácica, dicha estructura se conoce como cavidad pleural. La cavidad pleural pulmonar está formada por dos capas: la pleura parietal, que recubre la cavidad torácica y la pleura visceral, que reviste la superficie pulmonar, en medio de ellas existe una delgada capa de líquido, que disminuye la fricción en el movimiento de inspiración y espiración [13].

De acuerdo con lo anterior, dentro de los pulmones, y en la cavidad pleural, existe una variación de presión durante el ciclo de ventilación. La presión intrapulmonar, también conocida como presión intraalveolar, corresponde a la presión generada por el aire dentro de los pulmones, y de acuerdo con la Ley de Boyle que enuncia: a temperatura constante, la presión de un gas en un recipiente cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente; dicha presión se ve disminuida cuando ocurre la inspiración, y aumentada cuando ocurre la espiración. Por otro lado, la presión intrapleural es el resultado de la tendencia que tienen los pulmones a colapsarse y de la tendencia que tiene la cavidad torácica a mantenerlos expandidos. Es la encargada de mantener los pulmones distendidos incluso durante la espiración y pausas respiratorias, por esta razón dicha presión es siempre menor que la presión atmosférica [12], [14].

Para cuantificar el fenómeno de ventilación se determinan los volúmenes y capacidades, que permiten conocer la forma en la que varía la entrada y salida de aire en los pulmones. En lo que sigue, se detallan cada uno de esos volúmenes y capacidades pulmonares [14]:

- Volumen circulante: también conocido como volumen tidal, corresponde al volumen de aire que entra a los pulmones con cada inspiración (o que sale de ellos con cada espiración) durante la respiración tranquila.
- Volumen de reserva inspiratoria: hace referencia al volumen de aire que ingresa a los pulmones cuando se realiza un esfuerzo inspiratorio máximo.
- Volumen de reserva espiratoria: es el volumen de aire que solo se expulsa de los pulmones cuando se realiza una expiración forzada máxima.
- Volumen residual: hace referencia al volumen que no se puede espirar de los pulmones.

- Capacidad vital: es la cantidad de aire que se puede espirar de los pulmones luego de una inspiración profunda y una espiración forzada máxima.
- Capacidad inspiratoria: es el volumen de aire que ingresa a los pulmones cuando se realiza una inspiración profunda luego de una espiración normal.
- Capacidad residual funcional: es el volumen de aire que permanece en los pulmones al realizar una espiración tranquila.
- Capacidad pulmonar total: es la cantidad total de aire que hay en los pulmones luego de realizar una inspiración profunda.

4.4.2. Intercambio de gases

El pulmón es el órgano principal del sistema respiratorio, dentro de él, en los alveolos es donde se produce el intercambio de gases. La principal función del sistema respiratorio es permitir el intercambio de gases entre el organismo y el medio, esto con el fin de propiciar el oxígeno necesario para que las células puedan llevar a cabo las actividades metabólicas correspondientes, y además encargarse de la eliminación del CO₂ producto de desecho de la respiración celular [15].

Uno de los conceptos que se debe tener claro cuando se trata el intercambio de gases es el correspondiente a presión parcial, que hace referencia a la presión ejercida por las moléculas de un gas presente en una mezcla de gases que ocupa un volumen determinado, en el caso hipotético de que todo el volumen fuese ocupado por ese gas constituyente [15].

Para calcular la presión parcial de un gas se multiplica su fracción porcentual por la presión atmosférica, que al nivel del mar corresponde a aproximadamente 760 mmHg, y la fracción porcentual de O₂ en el aire es de 20.9%, de acuerdo con lo anterior la presión parcial de O₂ en condiciones ambientales es de [15]:

$$PO_2 = 760 \text{ mmHg} \times 0.209 = 159 \text{ mmHg}$$

Sin embargo, la PO₂ en el interior del organismo cambia debido a la presión parcial ejercida por el vapor de agua, por lo cual la presión parcial de O₂ en el aire inspirado es [12], [15]:

$$PIO_2 = (P_B - P_{H_2O}) \times 0.209 = (760 \text{ mmHg} - 47 \text{ mmHg}) \times 0.209$$

$$PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$$

El fenómeno de difusión de un gas se presenta cuando existe un movimiento neto de moléculas debido a la diferencia de presiones parciales de ese gas entre dos zonas que lo contienen, dicho gas se desplazará desde la zona en la cual la presión parcial que ejerce sea mayor hacia la zona en la cual su presión parcial ejercida sea menor. Es importante destacar que el movimiento por difusión es distinto al movimiento que ocurre en la vía aérea de conducción del sistema respiratorio, conocido como flujo masivo, puesto que este último se da por un gradiente de presión total, lo que implica que las moléculas de los diferentes gases contenidos en el aire viajen juntas. Por otro lado, es importante tener en cuenta que en una situación estática la difusión cesa cuando ya no existe diferencia de presiones parciales, sin embargo, en el sistema respiratorio dicho equilibrio no se alcanza puesto que el aire que contiene el O₂ y el CO₂ está entrando y saliendo de los pulmones de manera continua [16].

El O₂ se lleva desde el exterior hasta los alveolos mediante el mecanismo de flujo masivo, una vez allí, se mueve mediante difusión a través de la membrana alveolocapilar hasta llegar a la sangre, esto requiere que se disuelva en la capa de surfactante pulmonar, el epitelio alveolar, el intersticio y el endotelio capilar, para luego difundirse a través del plasma e ingresar al eritrocito donde se une a la hemoglobina [16].

La tasa de difusión a través de la membrana alveolocapilar varía de acuerdo con los factores descritos por la Ley de Fick [16]:

$$V' = \frac{A}{T} (P_1 - P_2) \times D$$

Donde

V': Volumen de gas que se difunde por unidad de tiempo.

A: Área superficial de la barrera disponible para la difusión.

T: Grosor de la barrera.

D: Coeficiente de difusión del gas.

P₁-P₂: Gradiente de presiones del gas entre el alveolo y el capilar.

El coeficiente de difusión es directamente proporcional a la solubilidad del gas en la barrera de difusión e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su peso molecular [16].

Uno de los conceptos importantes a la hora de evaluar el intercambio de gases a través de la membrana alveolocapilar corresponde a la relación ventilación-perfusión. Relación que permite determinar la eficacia del

intercambio gaseoso y comprender el desequilibrio que se produce en este proceso en situaciones especiales. El término ventilación hace referencia a la cantidad de aire que llega al alveolo por minuto, mientras que la perfusión corresponde a la cantidad de flujo sanguíneo a través de los capilares pulmonares. La relación es normal cuando su valor es cercano a la unidad; es cero cuando no hay ventilación alveolar, por lo tanto, la sangre no se oxigena; e infinito cuando no hay flujo sanguíneo a través del capilar, por lo tanto, las presiones parciales alveolares se igualan a las presiones del aire inspirado que se ha humidificado [17], [18].

Por otro lado, en lo que respecta al intercambio de gases que se lleva a cabo entre los capilares tisulares y las células que los circundan, dicho fenómeno se rige también por la Ley de Fick. Durante este proceso, existen factores que modifican la afinidad del oxígeno hacia la hemoglobina y por tanto hacen que aumente o disminuya la liberación de O₂ de la sangre a las células tisulares; los factores que aumentan la afinidad del oxígeno hacia la hemoglobina son: aumento de pH, disminución de CO₂ y disminución de temperatura [13].

4.5. Matlab y App Designer

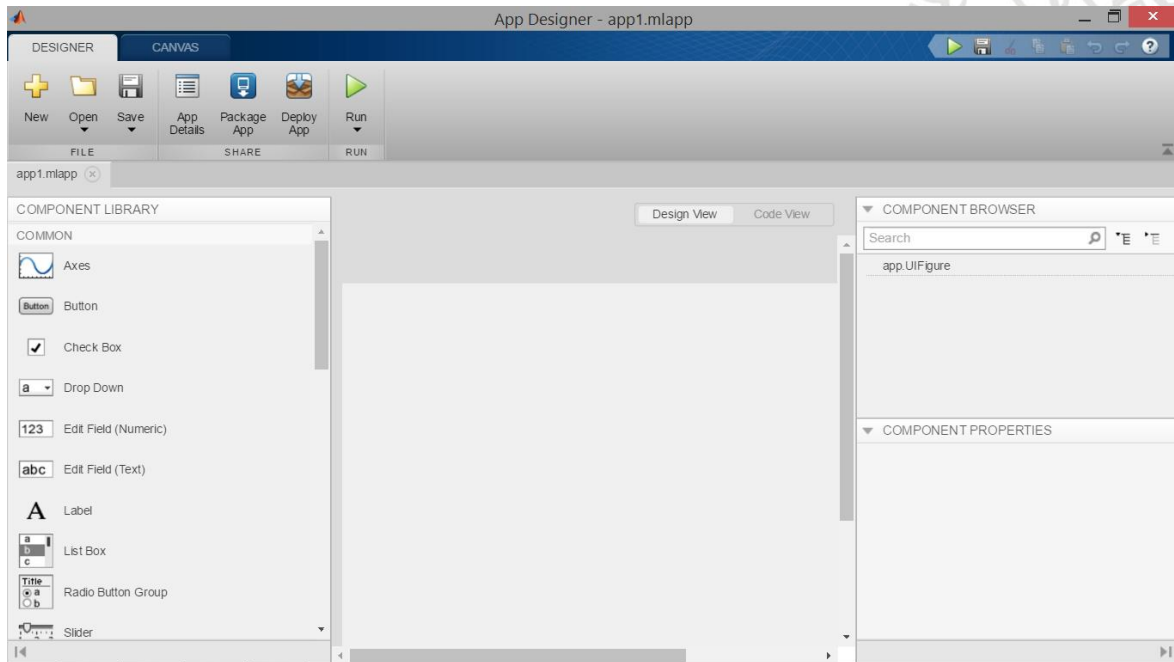
Matlab, abreviación de Matrix Laboratory, que al español traduce laboratorio de matrices es una herramienta informática que se basa en la operación matemática de matrices [19], [20]. Este software cuenta con su propio lenguaje de programación y entre sus funciones permite la implementación de algoritmos, la representación gráfica de funciones matemáticas, el análisis de datos y la construcción de interfaces gráficas de usuario. Esta última función, se puede realizar a través del uso de editores que hacen sencillo el acople entre el frontend y el backend de la aplicación que se desee desarrollar [20], [21].

Las principales características de Matlab abarcan: el uso de un lenguaje de alto nivel diseñado para el campo de las ciencias y la ingeniería; utilización de un entorno gráfico idóneo para la visualización de datos; toolboxes para una amplia gama de aplicaciones científicas e ingenieriles; Opciones para compartir programas con usuarios finales [20].

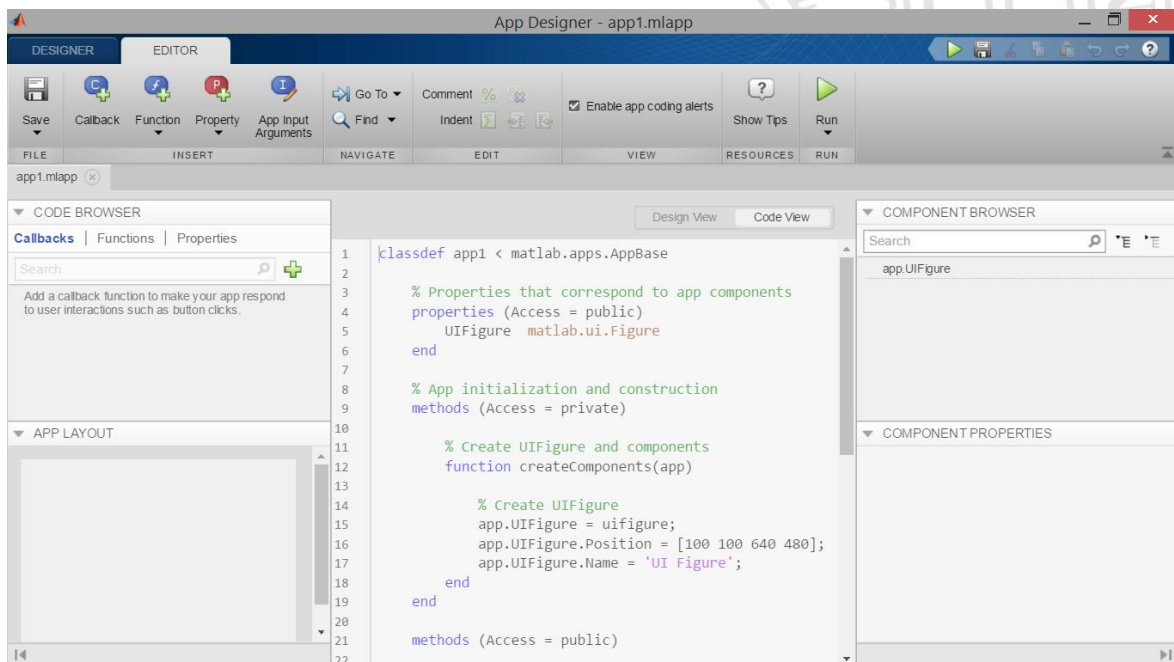
En lo referente a los editores para la creación de interfaces de usuario, Matlab ofrece dos herramientas: GUIDE y App Designer, siendo App Designer un entorno más nuevo que GUIDE, e incorporado a partir de la versión R2016a de Matlab [21].

El trabajo dentro del entorno de App Designer, se divide en dos tareas bien diferenciadas, la primera, relacionada con el diseño de las interfaces, es decir, con el posicionamiento de los elementos de cada ventana; y la segunda, referente a la programación de los algoritmos que

controlan dichos elementos y se encargan del comportamiento de la interfaz. En la figura 1(a), es posible visualizar la sección del entorno de App Designer en la cual se lleva a cabo el diseño de las ventanas de la interfaz gráfica (Design View), mientras que en la figura 1 (b) se puede detallar la sección donde se realiza la programación de los algoritmos (Code View) [22].



(a) Ventana Design View



(b) Ventana Code View

Figura 1. Ventana principal de App Designer

Al realizar una visualización más detallada de la figura 1 (a), es posible determinar la existencia de cuatro secciones bien diferenciadas [21]:

- **Componente Library:** sección en la cual se encuentran los diferentes elementos que se pueden utilizar para la construcción de la app, tales como: ejes, campos de fecha, campos de texto, botones, campos para imagen, "checkboxes", "sliders", tablas, entre otros. Para usarlos simplemente se arrastra el elemento hacia el panel Design Editor.
- **Design Editor:** corresponde al área donde se realiza la distribución de los elementos arrastrados desde el panel Component Library
- **Component Browser:** sección en la cual aparecen en forma de lista los elementos que se han arrastrado hacia el Design Editor con los nombres de las variables asociadas a cada uno de ellos.
- **Component Properties:** sección en la cual aparecen las propiedades y las funciones de callback relacionadas al objeto seleccionado.

En la figura 2, se muestran las secciones antes descritas, pero esta vez, con la incorporación de elementos en el área de Design Editor.

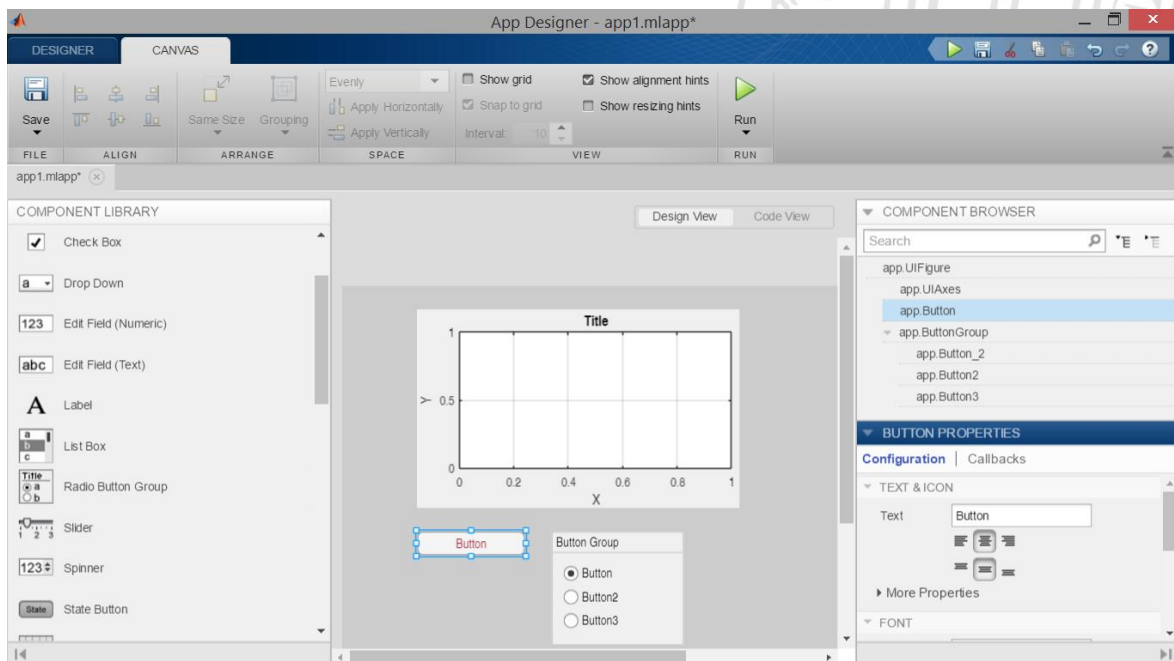


Figura 2. Elementos de la ventana Design View

Por otro lado, si se observa con detenimiento la figura 1 (b), se puede encontrar en ella la presencia de tres nuevas secciones [21]:

- **Code Editor:** editor de código donde se puede visualizar tanto el código generado automáticamente como el código correspondiente a las callbacks generados de forma manual.

- Code Browser: lista en la que aparecen las funciones de callback generadas, con sus respectivas funciones y propiedades. Si se da clic en una callback determinada, el cursor del Code Editor se sitúa en la sección de código correspondiente.
- App Layout: sección en la cual se puede observar la distribución de los elementos de la app.

En la figura 3, se pueden visualizar cada una de las secciones mencionadas, con elementos incluidos.

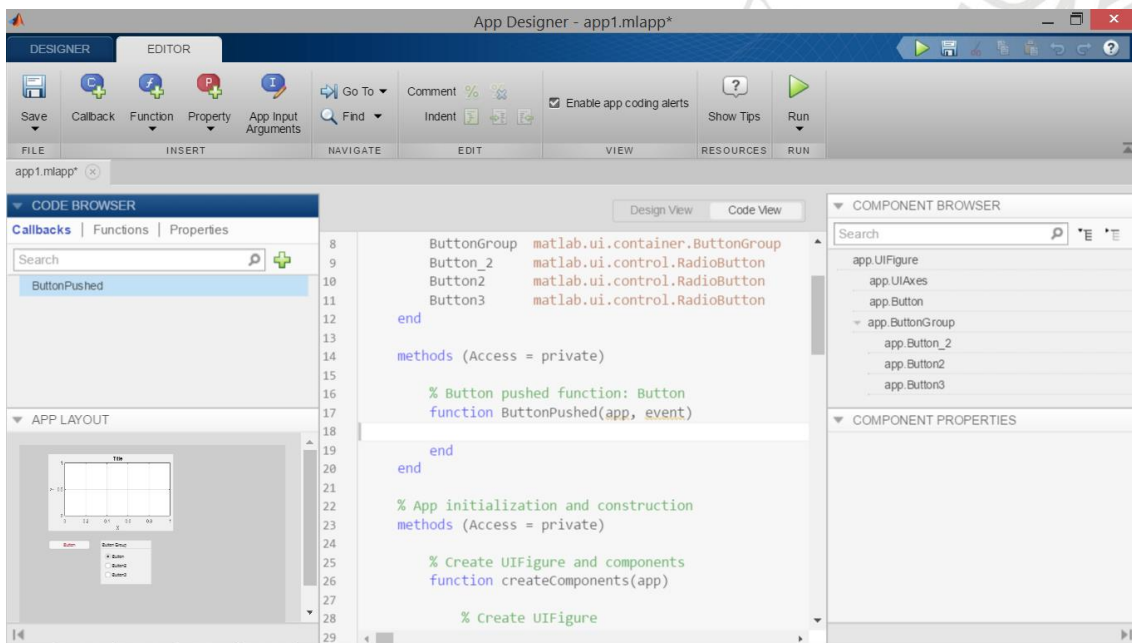


Figura 3. Elementos de la ventana Code View

En lo que respecta a la sección Code Editor, el código generado por App Designer se puede dividir en 3 secciones [21]:

La primera, que contiene las propiedades de cada uno de los elementos que componen la interfaz, tal y como se muestra en la figura 4.

```

% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    UIFigure      matlab.ui.Figure
    UIAxes        matlab.ui.control.UIAxes
    Button         matlab.ui.control.Button
    ButtonGroup   matlab.ui.container.ButtonGroup
    Button_2      matlab.ui.control.RadioButton
    Button2       matlab.ui.control.RadioButton
    Button3       matlab.ui.control.RadioButton
end

```

Figura 4. Primera sección del código generado por App Designer.

La segunda sección, en la cual App Designer ubica las funciones de callback generadas para cada uno de los elementos de la interfaz, tal y como se muestra en la figura 5, donde también es posible notar que el código correspondiente a las funciones de callback y que puede ser editado por el usuario aparece de color blanco.

```

methods (Access = private)

    % Button pushed function: Button
    function ButtonPushed(app, event)
        disp('Hola Mundo');
    end
end

```

Figura 5. Segunda sección del código generado por App Designer.

Finalmente, la tercera sección, donde se sitúan las líneas de código correspondientes a la inicialización de los elementos que se hallan contenidos dentro de la UI Figure (ver figura 6), que hace las veces de ventana, tal y como se muestra en la figura 7.

```
% App initialization and construction
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure
app.UIFigure = uifigure;
app.UIFigure.Position = [100 100 640 480];
app.UIFigure.Name = 'UI Figure';

% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes, 'Title')
xlabel(app.UIAxes, 'X')
ylabel(app.UIAxes, 'Y')
app.UIAxes.Position = [14 276 300 185];

% Create Button
app.Button = uibutton(app.UIFigure, 'push');
```

Figura 6. Tercera sección del código generado por App Designer.

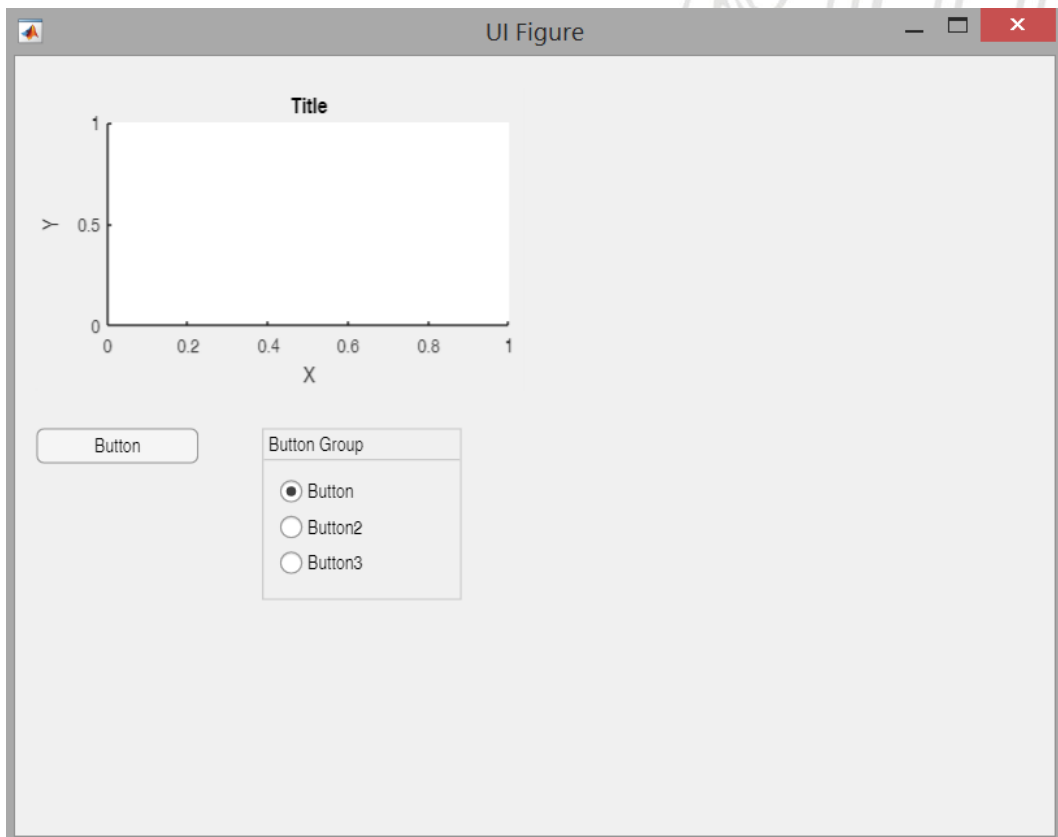


Figura 7. Ventana generada por App Designer.

Otros elementos que facilita App Designer para la construcción de aplicaciones son [21]:

- Los callbacks.

Las funciones de callback son funciones que se ejecutan en respuesta a una interacción con los elementos de la interfaz diseñada. Para crear una función de este tipo se puede seleccionar el elemento al cual se le desea asignar la función y en el panel de Component Properties elegir el tipo de callback. Otra forma es dar clic derecho sobre el componente, posar el cursor sobre la opción callbacks, para finalmente hacer clic sobre la función que se quiere crear (Ver figura 8).

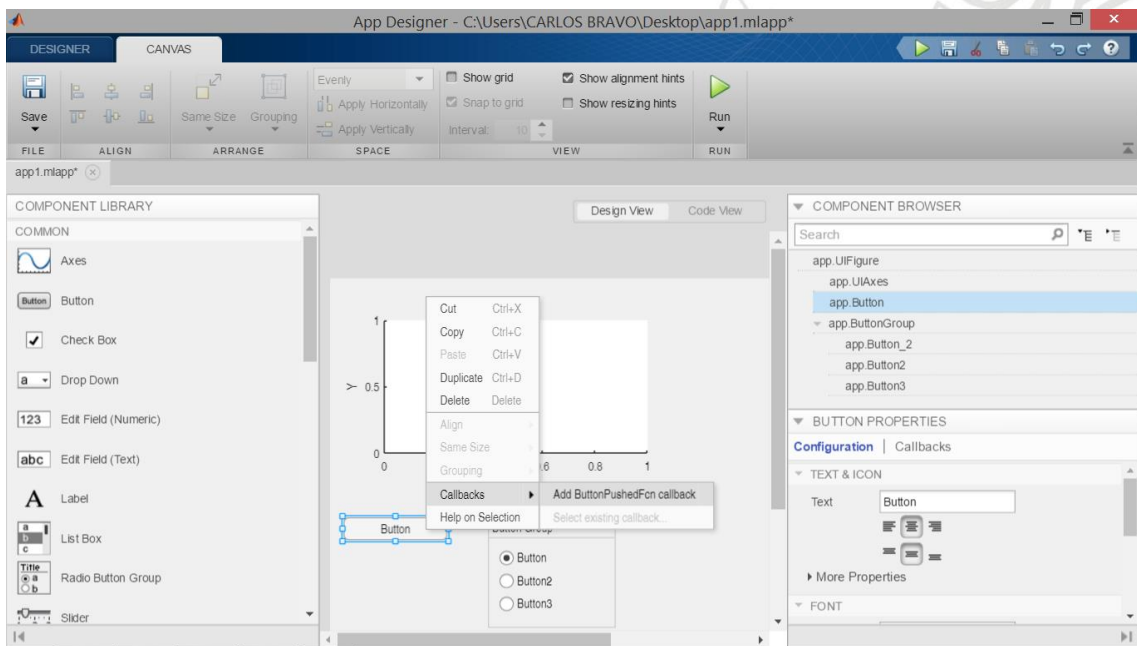


Figura 8. Creación de una función de callback para un elemento button.

- La función Start-Up.

Esta función se ejecuta cuando se inicia la aplicación, antes de que el usuario interactúe con ella. Por lo general, se usa para inicializar variables con valores predeterminados. Para crear una función de este tipo se puede dar clic derecho sobre la UI Figure, elegir la opción callbacks y finalmente, hacer clic sobre add StartupFcn callback (Ver figura 9).

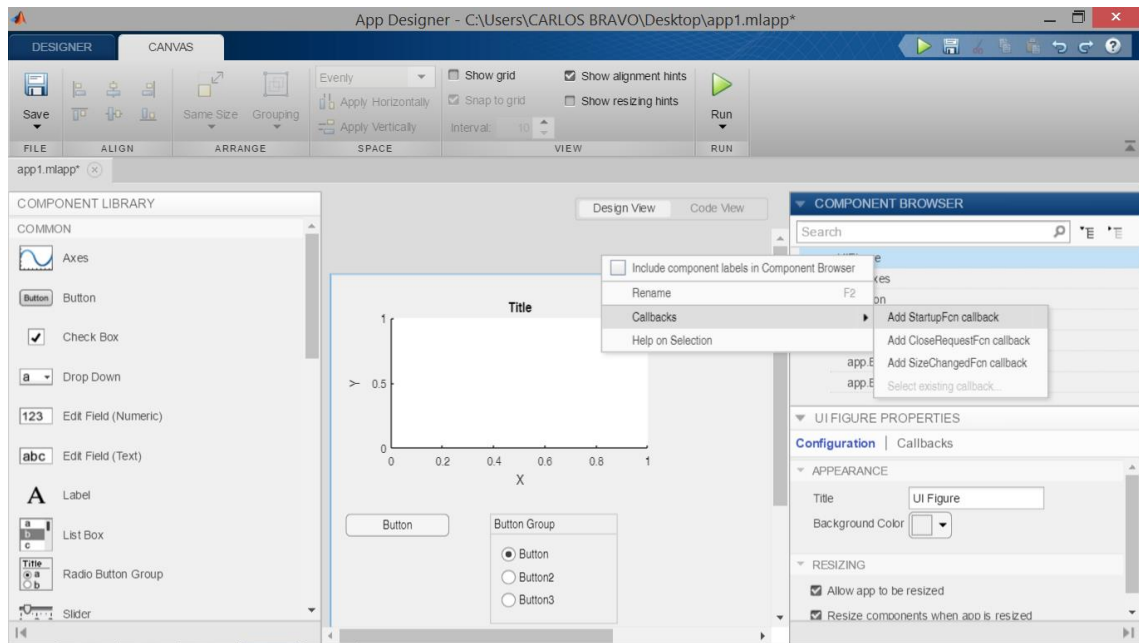


Figura 9. Creación de una función de Start-Up.

- Las funciones de utilidad privada y las funciones de utilidad pública.

Una función de utilidad privada es aquella que solo se pueden evocar dentro de la aplicación, se emplea cuando se necesitan usar los mismos comandos en varias funciones de callback. Por otro lado, una función de utilidad pública es aquella que se puede usar tanto dentro como fuera de la app, son útiles cuando se requiere compartir una función con otras apps o con el Workspace de Matlab.

Para crear una función de utilidad privada o de utilidad pública se da clic en la pestaña Editor mientras está activada la pestaña Code View, luego se hace clic en el botón Function y finalmente se elige el tipo de función que se desea crear, tal y como se muestra en la figura 10.

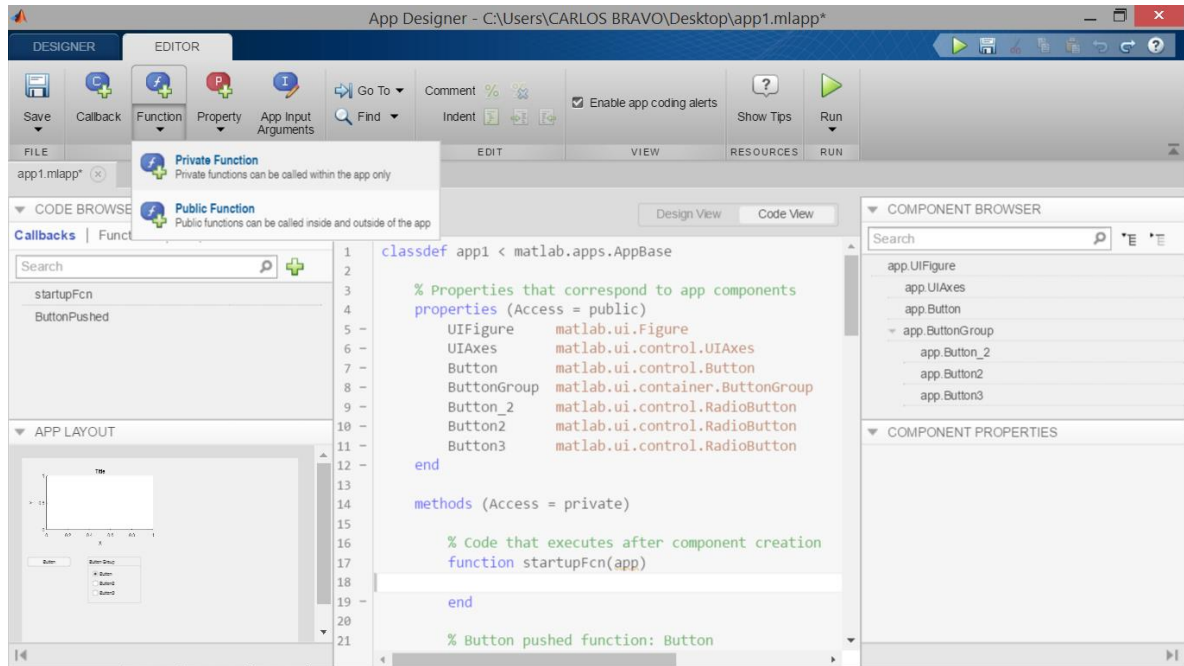


Figura 10. Creación de funciones de utilidad privada y funciones de utilidad pública.

Las secciones de código generadas para las funciones de utilidad privada y las de utilidad pública son bastante similares, con única diferencia en el atributo Access (ver Fig. 11).

```

methods (Access = private)

    function results = func1(app)

    end

end

methods (Access = public)

    function results = func2(app)

    end

end

```

Figura 11. Código generado con la creación de funciones de utilidad privada y de utilidad pública.

4.6. Construcción de simulaciones/animaciones 2D en Synfig Studio

Una animación 2D está constituida por una secuencia de imágenes presentadas de manera fluida, de tal forma que genere la ilusión de movimiento. Cada una de las imágenes que conforman una animación, se conoce como fotograma [23].

Synfig Studio es un software de código abierto, disponible para Windows, Linux y MacOS, está diseñado para la realización de animaciones vectoriales en 2D, Para ello, Synfig Studio puede emplear dos técnicas de animación [23]:

- Morphing: que al español traduce animación por transformación, y que consiste en la creación de una suave transición entre dos imágenes, en las que una forma se convierte en otra, dicha deformación está controlada a través de fotogramas clave.
- Cutout animation: que al español traduce animación por cortes, y que consiste en la división de un objeto en partes a la cuales se les aplica movimiento de manera independiente.

4.7. Usabilidad y experiencia de usuario

El término usabilidad está relacionado con la facilidad de uso de una herramienta, y se puede considerar una medida de la eficacia, la eficiencia y la satisfacción que experimenta un usuario al emplear un producto para alcanzar un objetivo determinado en un contexto específico [24], [25].

Por otro lado, y aunque estrechamente relacionado con el término de usabilidad, aparece el concepto de experiencia de usuario, que no solo se enfoca en evaluar la eficacia, eficiencia y satisfacción al utilizar un producto, sino que, tiene en cuenta las emociones que vive un usuario al entrar en contacto con esa herramienta [24].

En lo que respecta a productos de software, se considera que una aplicación informática es usable cuando posee los elementos necesarios para que el usuario encuentre lo que busca en el menor tiempo posible, y que de manera intuitiva y eficiente pueda llevar a cabo las tareas que requiera [25].

Por otro lado, la Organización Internacional para la Estandarización define la usabilidad como "la capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso" [25].

En lo referente a las características principales de la usabilidad se deben considerar [25]:

- La facilidad de aprendizaje: que hace referencia a qué tan sencillo es el aprender el funcionamiento y comportamiento del software.
- La eficiencia de uso: está relacionada con la rapidez con la que el usuario puede llevar a cabo tareas dentro del software.
- La retención en el tiempo: hace referencia a la curva de aprendizaje que requiere un usuario que en tiempo pasado ya estuvo en contacto con el software en relación con uno que lo utiliza por primera vez.
- Las tasas de error: esta característica se relaciona con la cantidad de errores en los que incurre un usuario al momento de realizar una tarea a través del software.
- La satisfacción: hace referencia a la impresión subjetiva que se lleva un usuario respecto al software.

Por otra parte, actualmente existe una gran variedad de métodos empleados para la evaluación de la usabilidad, y pueden ser clasificados dentro de las siguientes categorías [25]:

- Métodos de modelado cognitivo: consisten en crear un modelo computacional para estimar cuánto tiempo le toma a la gente realizar una determinada tarea.
- Métodos de inspección: Se basa en la disponibilidad de evaluadores que examinan si una interfaz determinada cumple una serie de principios de usabilidad. Estos métodos dependen de las opiniones, juicios e informes generados por los evaluadores de usabilidad.
- Evaluación heurística: es un método de la ingeniería de la usabilidad, utilizado para encontrar y evaluar problemas de usabilidad en el diseño de las interfaces de usuario, como parte de un proceso de diseño iterativo. Involucra tener con un conjunto pequeño de evaluadores expertos examinando las interfaces y utilizando los principios reconocidos de la usabilidad (las heurísticas) para categorizar y valorar los problemas descubiertos.
- Encuestas/cuestionarios: brindan una información útil sobre las áreas fuertes y débiles de la usabilidad de un diseño, además no requieren equipo de prueba y los resultados reflejan las opiniones de los usuarios.

5. METODOLOGÍA

En el esquema de la figura 12 se muestran de forma general las actividades ejecutadas para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, posteriormente, se realiza una descripción detallada de cada una de ellas.

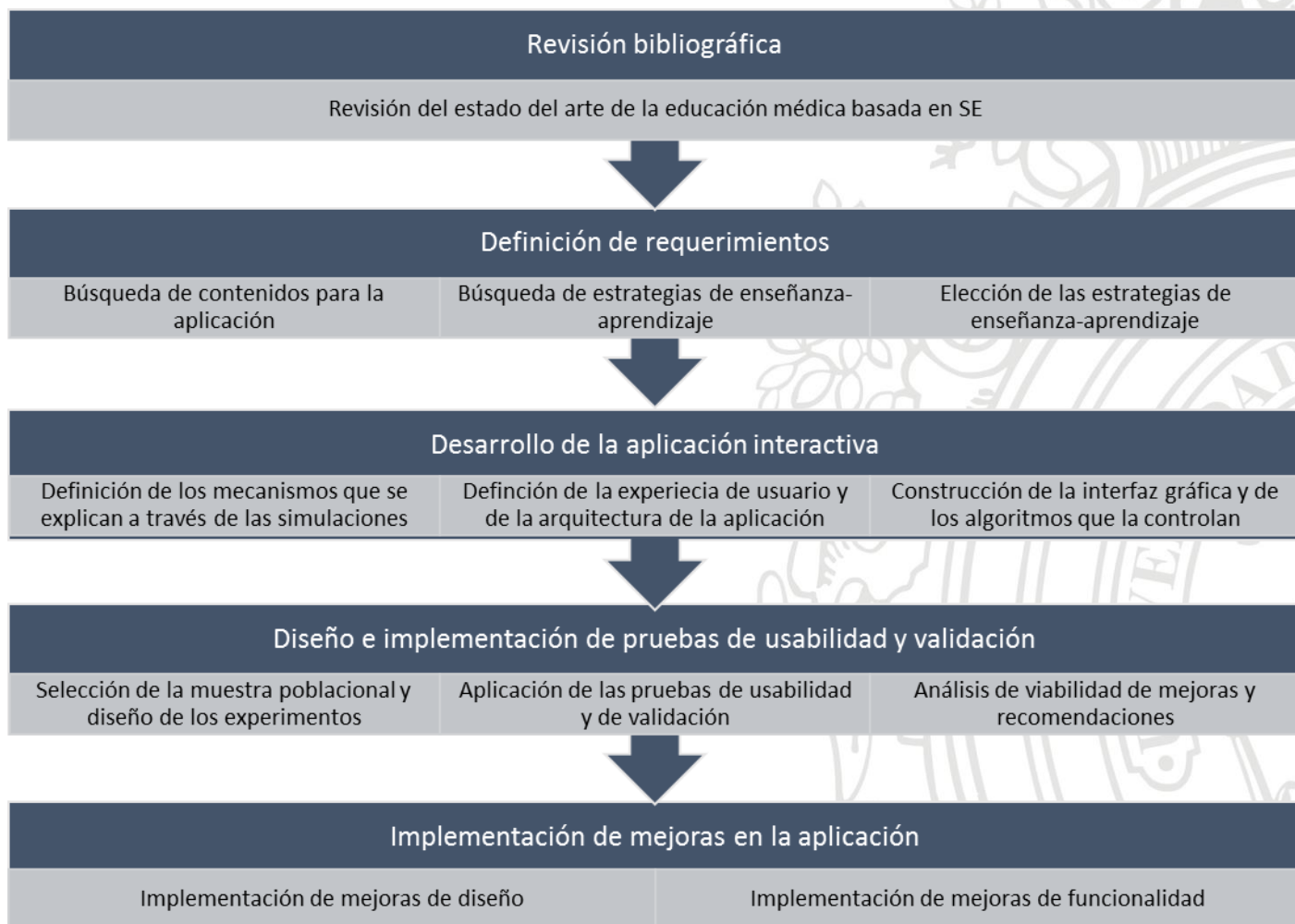


Figura 12. Esquema metodológico para el desarrollo del proyecto.

5.1. Revisión bibliográfica

En primera instancia se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el fin de conocer el estado del arte de la educación médica implementada usando SE y las estrategias empleadas a través de este recurso.

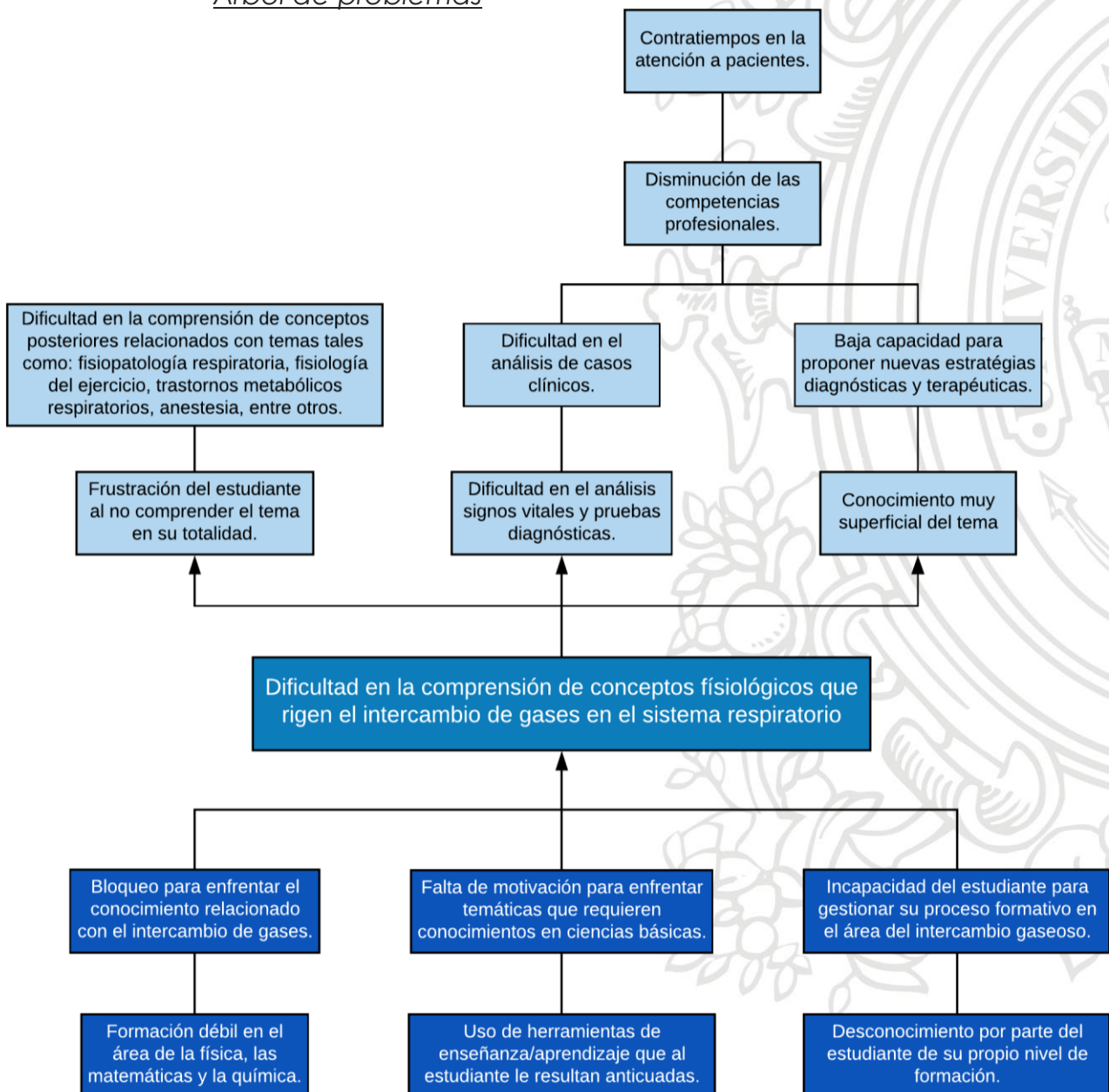
Para ello se consultó un grupo de artículos y de patentes que describen la construcción de SE que busca ser utilizado por estudiantes de carreras del área de la salud. Los trabajos encontrados se organizaron en una tabla en la cual se plasmaron una breve descripción y una apreciación personal de cada uno de ellos.

Por otro lado, también se realizó una búsqueda de software diseñado para la educación en el área de la salud, que haya sido registrado en la Dirección Nacional de Derechos de Autor.

5.2. Definición de requerimientos

En esta fase del proyecto se determinaron los contenidos y las estrategias de enseñanza-aprendizaje que se incorporaron en la herramienta de software desarrollada, todo esto a la luz del árbol de problemas y objetivos que se muestra en la figura 13 y que se construyó con el ánimo de plantear una solución al problema que representa la dificultad en la comprensión de los conceptos fisiológicos que rigen el intercambio de gases en el sistema respiratorio.

Árbol de problemas



Árbol de objetivos

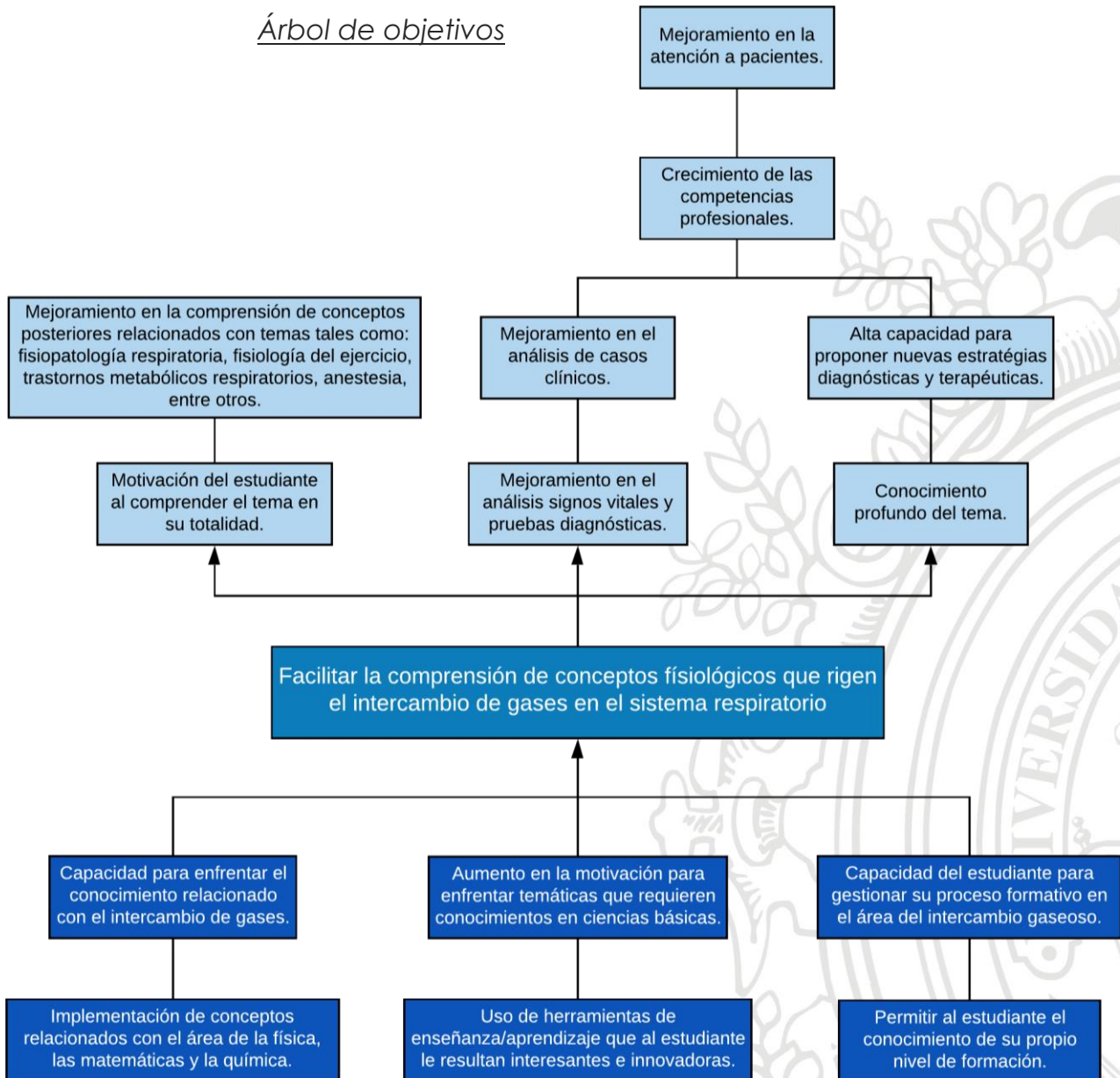


Figura 13. Árbol de problemas y objetivos para la definición de requerimientos de la aplicación.

5.2.1. Búsqueda de contenidos para la aplicación.

En primer lugar, se realizó una búsqueda bibliográfica con el fin de determinar los contenidos que se debían incluir en la aplicación. Para ello se consultaron fuentes que generalmente sirven de guía en la enseñanza de la fisiología del cuerpo humano. Teniendo en cuenta que este proyecto está enmarcado por un proyecto de investigación de GIBIC que es financiado por Colciencias y busca desarrollar aplicaciones para la enseñanza en el ámbito respiratorio, se sostuvieron reuniones con el

equipo de investigación con el fin de validar las fuentes bibliográficas encontradas.

5.2.2. Búsqueda de estrategias de enseñanza-aprendizaje

Por otro lado, se llevó a cabo una revisión bibliográfica relacionada con estrategias de enseñanza-aprendizaje, esto con el ánimo de evaluar y determinar cuáles de ellas serían las más adecuadas para implementar en el software desarrollado.

5.2.3. Elección de las estrategias de enseñanza-aprendizaje

En esta etapa del proyecto se llevó a cabo la selección de las estrategias de enseñanza-aprendizaje que se implementaron en el software, dicha tarea se realizó a través de una evaluación comparativa, teniendo en cuenta el contexto y la forma en la que la herramienta iba a ser utilizada.

5.3. Desarrollo de la aplicación interactiva

5.3.1. Definición de los mecanismos que se explican a través de las simulaciones

Luego de haber demarcado los contenidos que se iban a abordar en la aplicación, se procedió con la definición de los mecanismos que demandaban ser explicados a través de simulaciones animadas debido a al alto grado de abstracción que requieren para su comprensión. De acuerdo con esto, se concluyeron los procesos y la forma en la que cada uno de ellos sería explicado, tal y como se muestra a continuación:

1. Ley de Boyle: se construyó una simulación en la cual el usuario tiene la capacidad de desplazar el émbolo de un recipiente cerrado que contiene un gas, y que se haya en un ambiente a temperatura constante, la variación de la presión del gas se puede apreciar a través de un manómetro conectado al recipiente y en la curva que relaciona presión y volumen.
2. Ley de Dalton: se diseñó una simulación de un ambiente a temperatura constante en el que existen tres recipientes cerrados, el primero de ellos contiene un gas A, el segundo un gas B y el tercero una mezcla de los gases A y B. El usuario tiene la facultad de desplazar el manómetro del tercer recipiente para visualizar como varían las presiones en cada uno de los recipientes, esto a través de un manómetro conectado a cada uno de ellos.

3. Difusión de gases: en esta simulación se creó un recipiente formado por dos compartimentos que contienen moléculas de gases distintos, separados por una membrana semipermeable, el usuario puede visualizar como se lleva a cabo la difusión de los gases desde un tiempo $t = 0$, en el que los gases están totalmente separados, es decir, cada uno de ellos se haya en un compartimento diferente, hasta un tiempo $t > 0$ en el cual existe igual cantidad de moléculas de cada uno de los gases en los dos compartimentos. Es importante destacar que las variaciones en las cantidades de gas se visualizan a través de un grupo de manómetros que marcan la presión parcial de cada gas en cada uno de los compartimentos del recipiente.
4. Ciclo inspiración-espriación: se construyó una simulación que muestra la cavidad torácica, la cavidad pleural y los pulmones, y en la cual se le permite al usuario desplazarse en el tiempo para visualizar las variaciones de las presiones intrapleural, intrapulmonar y transpulmonar que se muestran a través de un banco de manómetros, de igual forma, es posible visualizar los cambios en los volúmenes pulmonares por medio de una curva espirométrica que muestra cinco ciclos de inspiración-espriación de un individuo que presenta respiración tranquila.
5. Difusión alveolocapilar: se planteó una simulación en la cual el usuario tiene la capacidad de desplazarse en el tiempo para visualizar el fenómeno de difusión de gases entre un alveolo y un capilar, de igual forma, se muestran las presiones parciales de oxígeno y dióxido de carbono en el aire inspirado humidificado, en el aire alveolar, en la sangre venosa y en la sangre arterial.

Es oportuno destacar que además de las simulaciones animadas, en la aplicación se plasmaron esquemas que explican mediante información condensada conceptos tales como: los volúmenes y las capacidades pulmonares, el neumotórax, la ley de Laplace, la relación ventilación perfusión y la difusión de gases desde la sangre hacia los tejidos.

5.3.2. Definición de la experiencia de usuario y de la arquitectura de la aplicación.

Durante esta fase del proyecto se definieron tanto la experiencia de usuario, que fue clave en el diseño del producto, como la arquitectura del software, que determinó la forma en la que debían estar ordenados los elementos necesarios para la construcción de la aplicación.

En lo que respecta a los elementos de la experiencia de usuario, se tomó como base la metodología concebida por Jesse James Garrett, que se

plasma en el diagrama mostrado en la figura 14. Luego, se realiza una descripción detallada de cada uno de sus elementos.

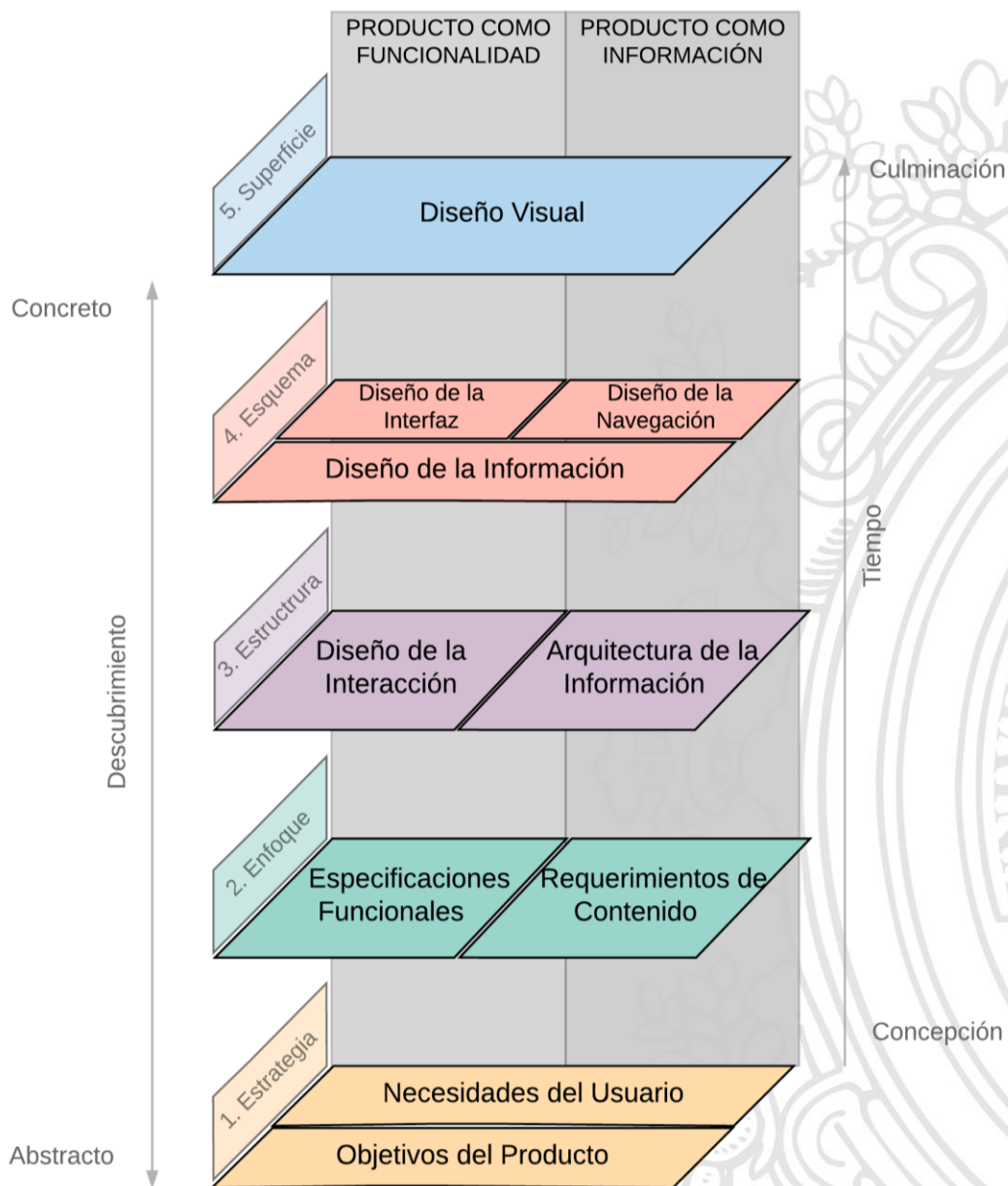


Figura 14. Diagrama de elementos de experiencia de usuario (Modificado de [1])

1. Estrategia

- ✓ **Objetivos del producto:** Hace referencia al propósito y al enfoque con el cual se desarrolla un producto de software, haciendo énfasis en el campo en el cual será utilizado.
- ✓ **Necesidades del usuario:** Este elemento está relacionado con las tareas que el usuario puede desarrollar y los objetivos que puede alcanzar al emplear la herramienta de software.

2. Enfoque

- ✓ Requerimientos de contenido: Elemento referente a los contenidos requeridos para el cumplimiento de las necesidades del usuario.
- ✓ Especificaciones funcionales: Hace referencia a los elementos funcionales con los que debe contar el producto de software para cumplir con sus objetivos y con las necesidades del usuario.

3. Estructura

- ✓ Arquitectura de la información: Este elemento está relacionado con la forma en la que se encuentra organizada la información en la herramienta de software.
- ✓ Diseño de la interacción: Elemento relacionado con la forma en la que se presenta el flujo de actividades que el usuario puede realizar al utilizar el producto de software.

4. Esquema

- ✓ Diseño de la información: Elemento relacionado con la forma y los recursos que se usan para presentar la información al usuario, con el ánimo de hacerla fácil de comprender.
- ✓ Diseño de la navegación: Hace referencia a los elementos de la interfaz que le permiten al usuario desplazarse dentro del software, en su camino hacia la exploración de la información que este ofrece.
- ✓ Diseño de la interfaz: Referente a los elementos que le permiten al usuario interactuar con la funcionalidad, para desarrollar una tarea específica dentro del software.

5. Superficie

- ✓ Diseño visual (información): Este elemento está relacionado con la estética empleada para presentar la información dentro del producto de software.
- ✓ Diseño visual (funcionalidad): Hace referencia a la estética de los elementos de la interfaz que se han diseñado para que el usuario pueda realizar una tarea específica dentro del software.

En lo referente a la arquitectura de la aplicación, los elementos que hacen parte de esta se exhiben en el diagrama de la figura 15, posteriormente se describen de manera detallada.

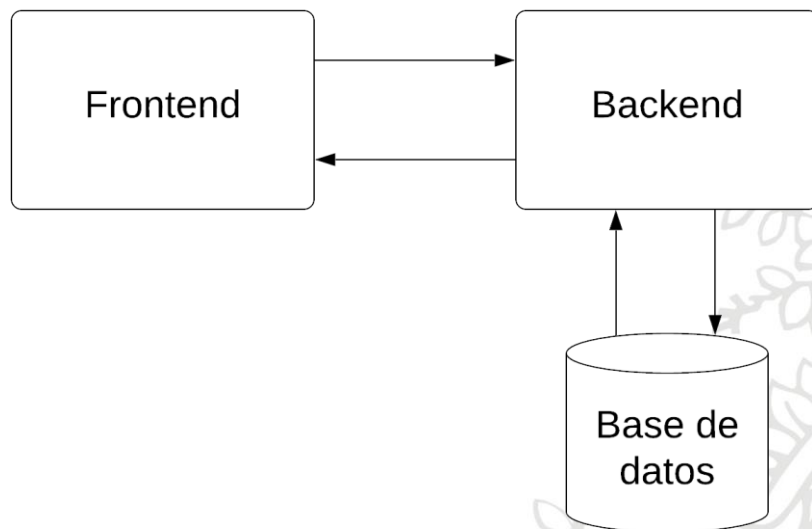


Figura 15 Diagrama de la arquitectura de la aplicación

1. Frontend: corresponde a la parte de la aplicación con la que el usuario tiene contacto directo, es decir, con la cual se produce la interacción. Dentro del desarrollo de la aplicación, se prestó gran atención a este elemento puesto que debía estar diseñado de tal forma que fuese intuitivo y agradable para el estudiante.
2. Backend: hace referencia a la parte del software que se construyó para recibir la información proveniente de la interacción entre el frontend y el usuario, y gestionar todas las acciones correspondientes a través de algoritmos, de igual forma, se encarga de acceder a la base de datos para guardar o leer información como el nombre de usuario, la contraseña, la puntuación, el rol del usuario, los logros alcanzados, los retos cumplidos, entre otros elementos.
3. Base de datos: la aplicación creada requirió de un espacio para guardar la información de cada usuario y que permitiera el acceso a ella cada vez que se ejecutase el software. La base de datos implementada en el proyecto se diseñó como una serie de archivos tipo Excel, uno de ellos de carácter general, en el que se almacenan los nombres de usuario, las contraseñas, las puntuaciones, los roles y las preguntas que aún le quedan por responder a cada usuario; y los demás archivos de carácter específico, que corresponden a uno por cada usuario, y guardan los tiempos e intentos que al estudiante le tomó responder cada pregunta, los logros obtenidos y los retos cumplidos.

5.3.3. Construcción de la interfaz gráfica y de los algoritmos que la controlan

En primera instancia, se diseñaron los mockups que luego sirvieron de guía para la construcción de la interfaz gráfica definitiva, de acuerdo con lo anterior, se definieron los diagramas que a continuación se presentan:

La figura 16 muestra a manera de diagrama los elementos que se tuvieron en cuenta al momento de diseñar la ventana principal de la aplicación.

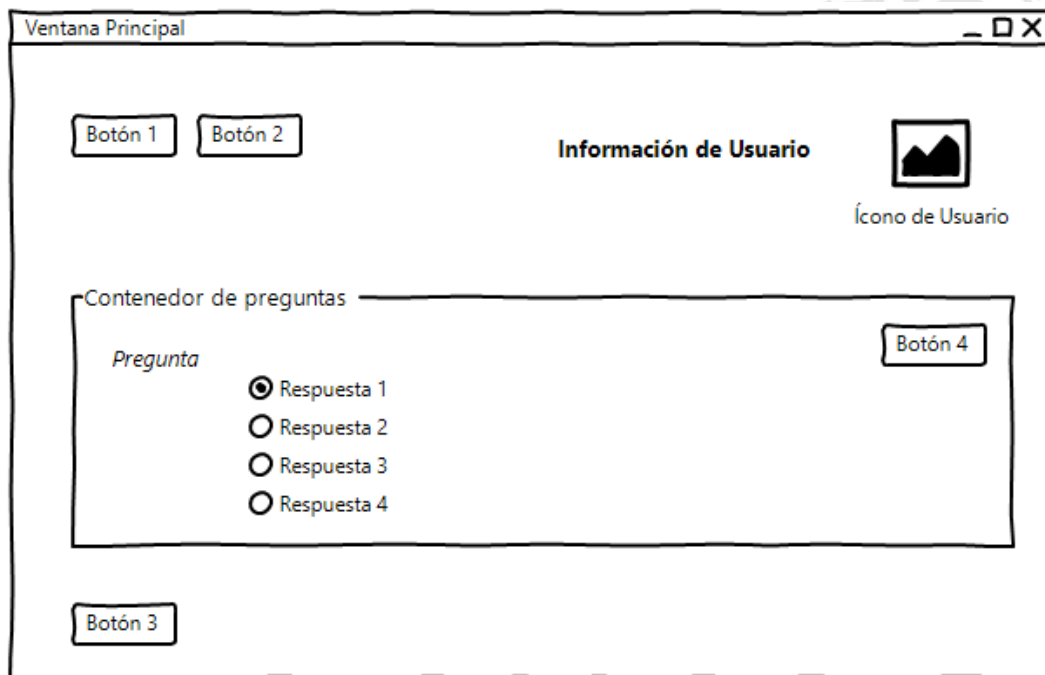


Figura 16. Diagrama Tipo I: Ventana Principal de la aplicación.

En la figura 17 es posible visualizar el diagrama que contiene los elementos con los cuales se diseñó la ventana de inicio de la aplicación.

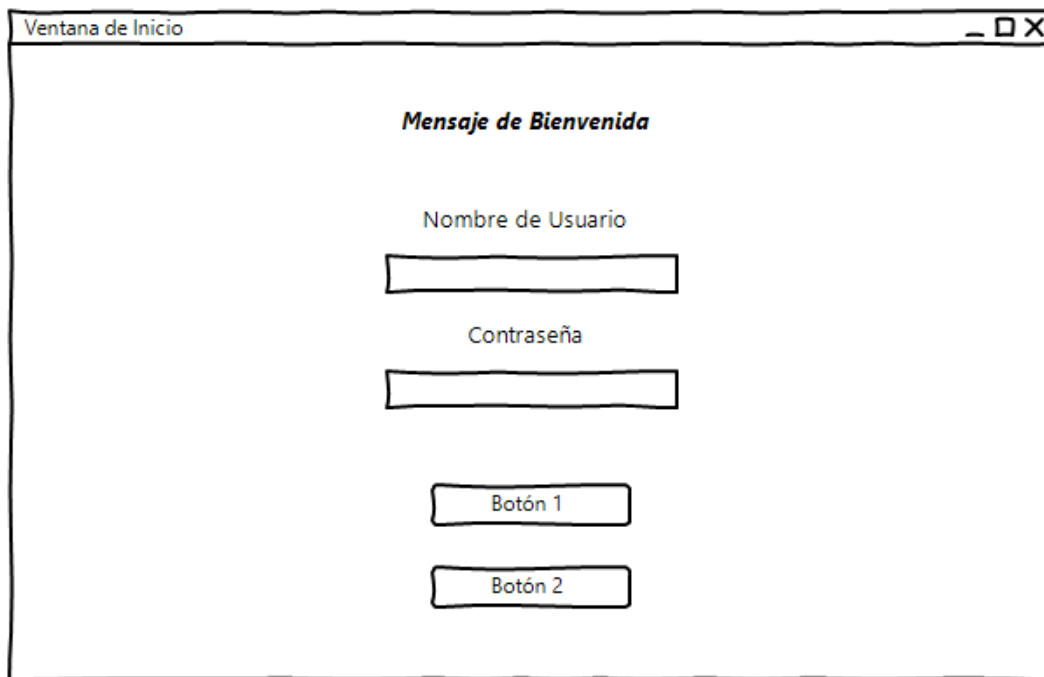


Figura 17. Diagrama Tipo II: Ventana de Inicio de la aplicación.

La figura 18 permite observar los elementos de la ventana que contiene el cuestionario inicial de la aplicación.

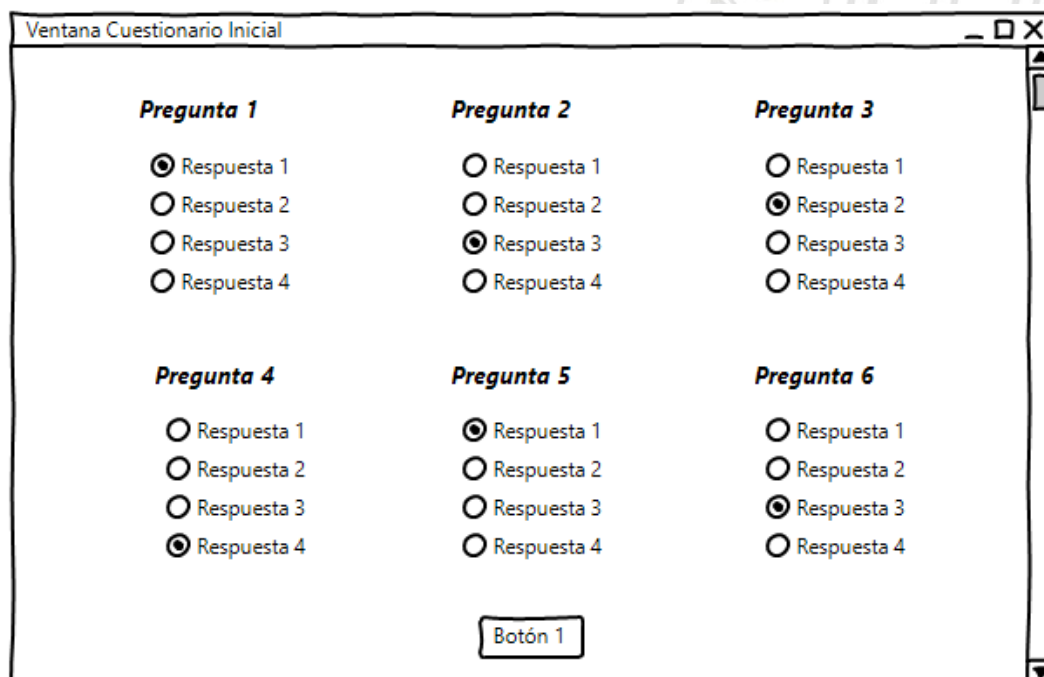


Figura 18. Diagrama Tipo III: Ventana del Cuestionario Inicial de la aplicación.

En la figura 19 se plasman los elementos contenidos en el diseño propuesto para la ventana que permite la creación de un nuevo usuario.

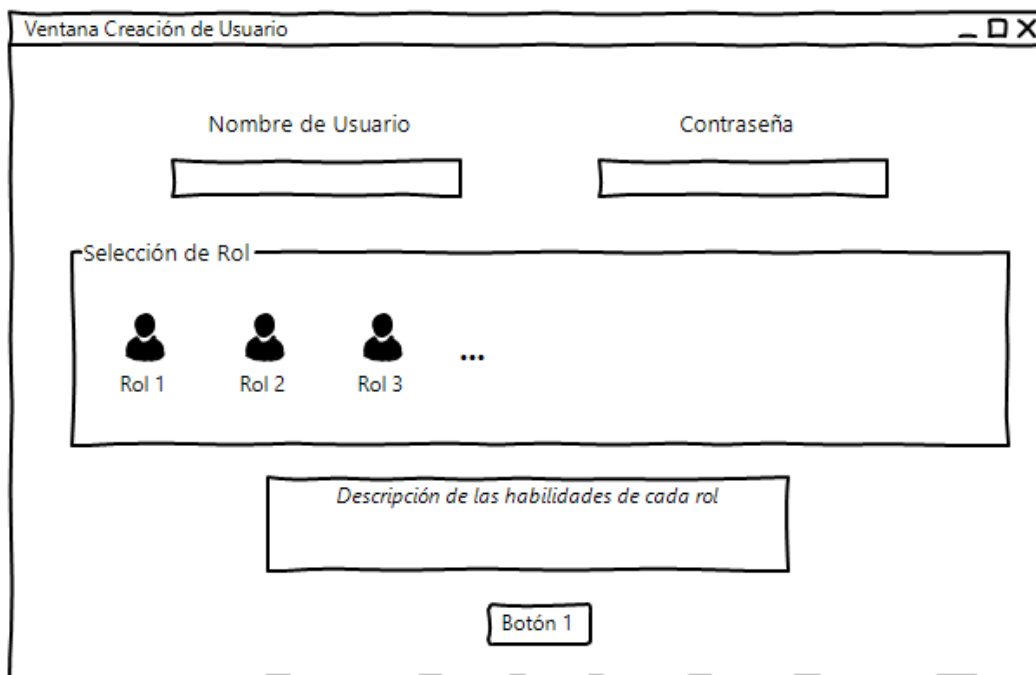


Figura 19. Diagrama Tipo IV: Ventana de Creación de Usuario

La figura 20 presenta el diseño que se planteó para la ventana de recursos.

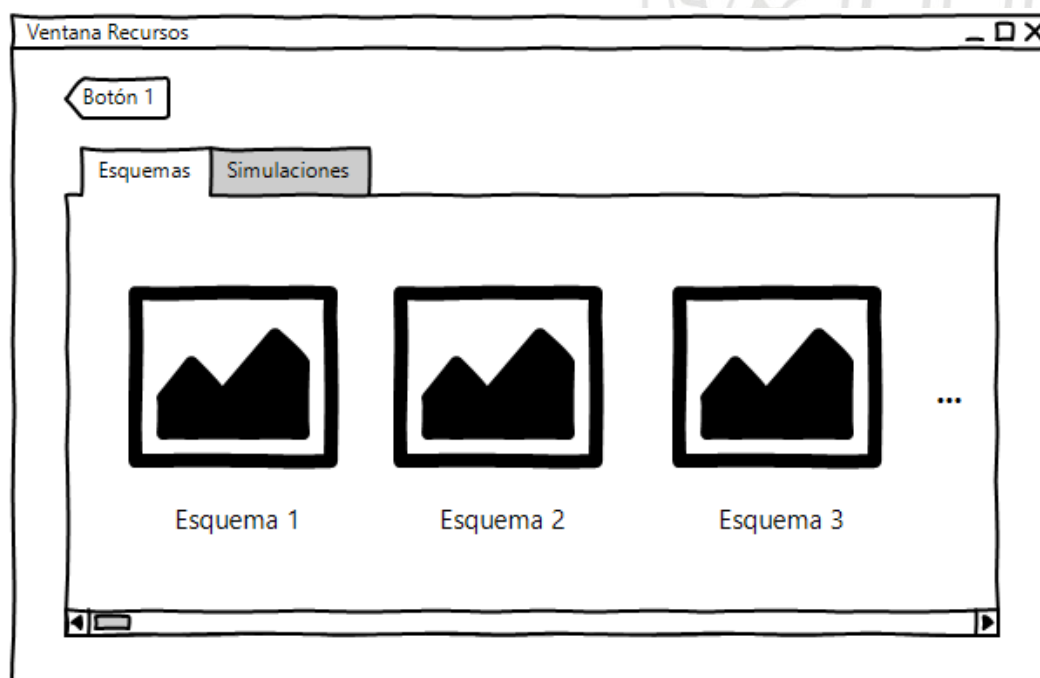


Figura 20. Diagrama Tipo V: Ventana de Recursos.

La figura 21 muestra los elementos del diseño de las ventanas de logros y retos.

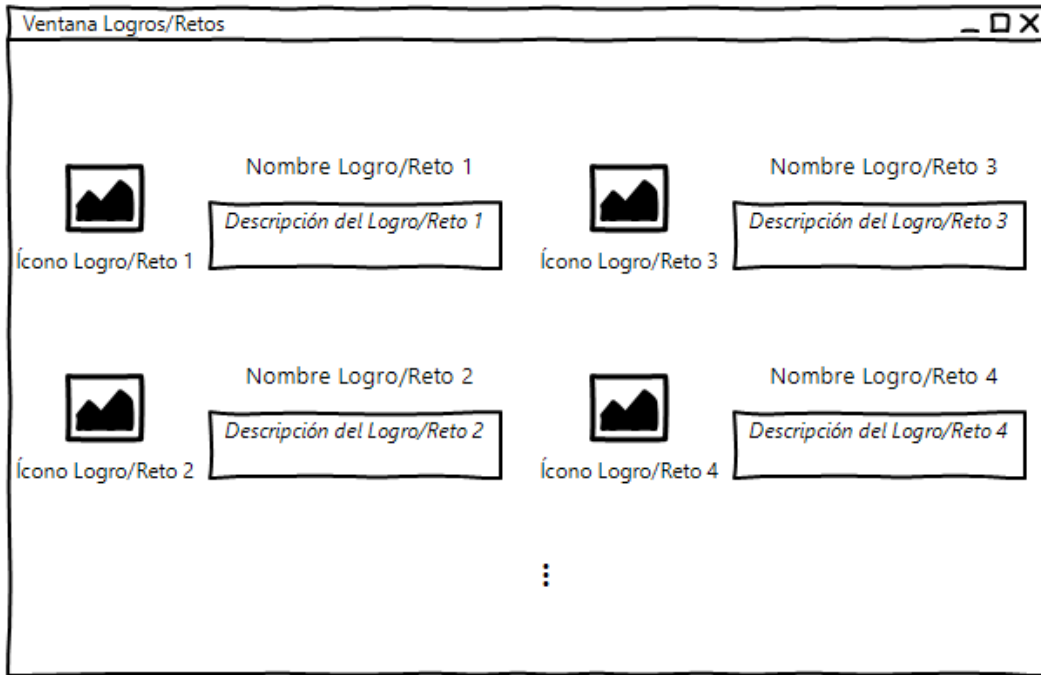


Figura 21. Diagrama Tipo VI: Ventanas de Logros y Retos.

En la figura 22, se pueden observar los elementos con los que se diseñó la ventana de perfil de usuario.

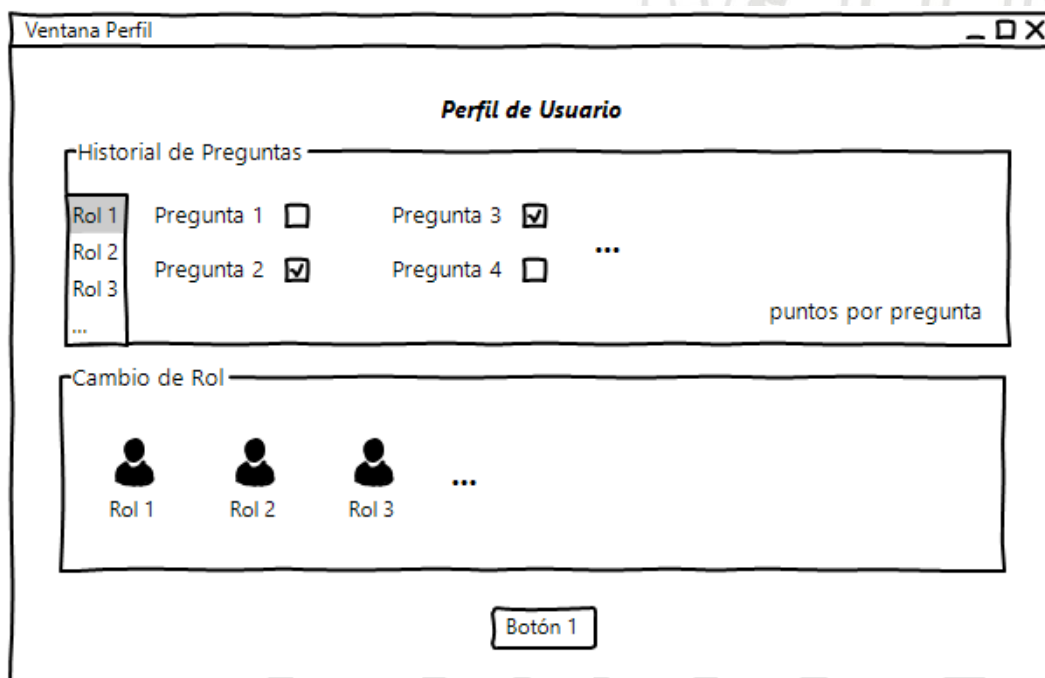


Figura 22. Diagrama Tipo VII: Ventana de Perfil.

La figura 23 contiene el diseño planteado para las ventanas que contienen esquemas de explicación de contenidos.

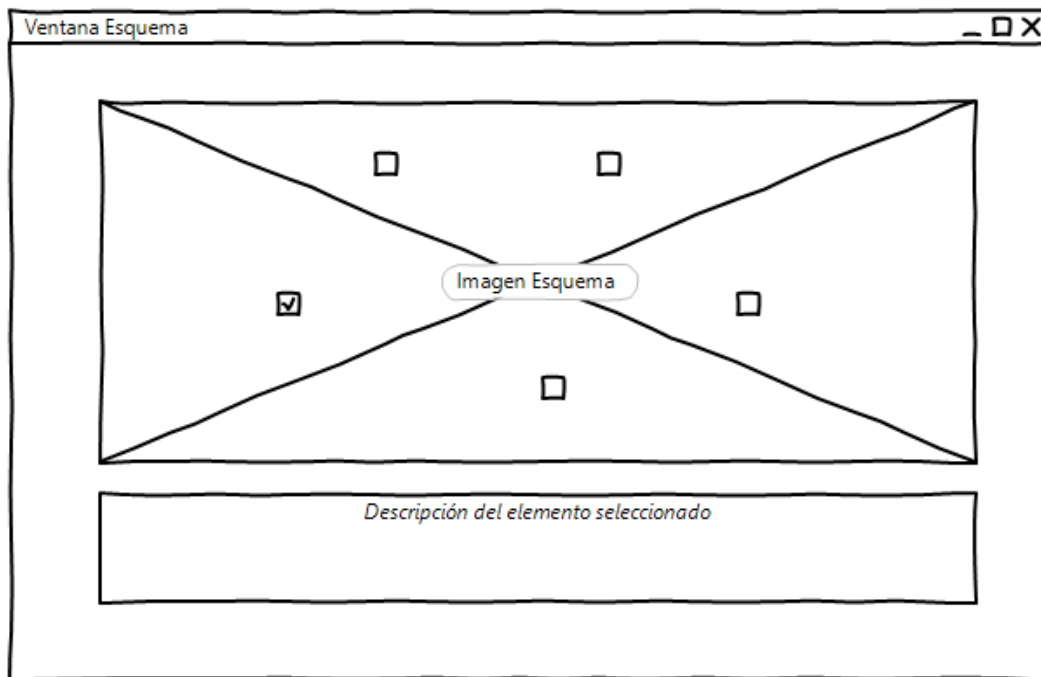


Figura 23. Diagrama Tipo VIII: Ventanas de Esquemas.

La figura 24 permite visualizar los elementos propuestos para las ventanas en las cuales se realiza la presentación de las simulaciones.

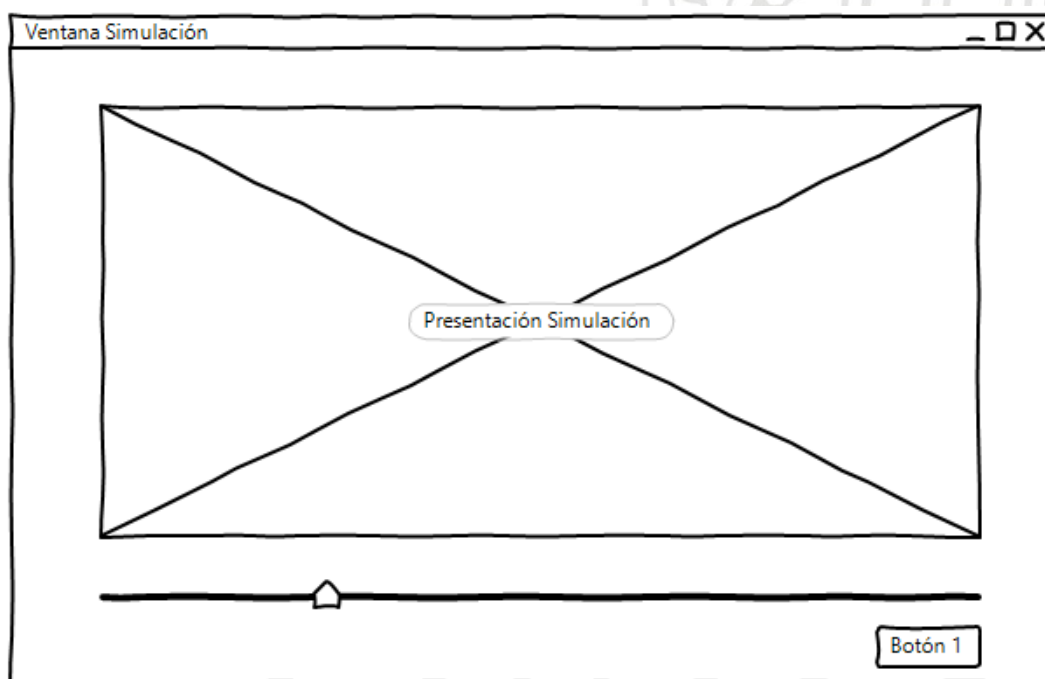


Figura 24. Diagrama Tipo IX: Ventanas de Simulación.

Durante esta etapa del proyecto también se llevó la programación de los algoritmos que controlan las ventanas y permiten la ejecución de las actividades dentro de la aplicación, tales como la creación de usuario, la resolución de cuestionarios y la exploración de los recursos de

aprendizaje. Cabe destacar que debido a la utilización de la herramienta App Designer de MatLab, la programación de los algoritmos y la construcción de la interfaz gráfica se realizaron simultáneamente.

5.4. Diseño e implementación de pruebas de usabilidad y validación

En el desarrollo de esta etapa se llevó a cabo la ejecución de las pruebas de usabilidad con el objetivo de determinar el nivel de satisfacción del usuario en lo que respecta a diseño y funcionalidad de la aplicación; y de las pruebas de validación que tuvieron como fin, evaluar la pertinencia de las estrategias y de los contenidos implementados en la herramienta de software desarrollada, teniendo en cuenta que se ha construido para facilitar el aprendizaje de la fisiología del sistema respiratorio.

5.4.1. Selección de la muestra poblacional y diseño de los experimentos

Para la prueba de usabilidad se definió una cantidad de 12 sujetos de prueba, y el experimento se diseñó con el ánimo de evaluar las métricas descritas en la tabla 1

Tabla 1. Métricas a evaluar en la prueba de usabilidad. (Adaptada de [1])

Métrica	Objetivo de la métrica	Fórmula	Interpretación del valor obtenido
Compleitud de la tarea	Determinar el número de tareas que el usuario es capaz de completar.	$R = A/B$ A: Número de tareas completadas por el usuario. B: Número total de tareas.	El mejor es el más cercano a 1.
Frecuencia de error	Determinar el número de errores que el usuario comete al momento de ejecutar la tarea asignada.	$R = 1 - A/B$ A: Número de errores cometidos. B: Número total de tareas.	El mejor es el más cercano a 1.

Tiempo de la tarea	Determinar el tiempo que el usuario tarda en ejecutar una tarea.	$R = A/B$ A: Tiempo requerido para completar la tarea. B: Tiempo planeado para completar la tarea.	El mejor es el más cercano a 1.
Nivel de satisfacción	Determinar qué tan satisfecho está el usuario con los diferentes elementos de la aplicación.	$R = A/B$ A: Número de respuestas satisfactorias. B: Número total de respuestas.	El mejor es el más cercano a 1.

Los materiales y/o requerimientos necesarios para la implementación de la prueba de usabilidad incluyeron: un computador con acceso a internet, que tuviese la aplicación instalada; un documento que contenía tanto las tareas que el usuario debía realizar al interactuar con la aplicación como las preguntas que debía responder luego de la interacción (Anexo 1); y un cronómetro online para contabilizar el tiempo empleado por el usuario en la realización de cada una de las tareas asignadas.

Por otro lado, para llevar a cabo la prueba de validación se definió una cantidad de 8 voluntarios que no hubiesen cursado ningún tipo de educación formal en los aspectos relacionados con la fisiología del sistema respiratorio. Los materiales y requerimientos para la realización de esta prueba fueron: un documento que explicase detalladamente la instalación de la aplicación y que tuviese las indicaciones que el voluntario debía seguir para la realización de la prueba (Anexo 2); y un cuestionario de Google Forms que corresponde a la evaluación que el voluntario realizará luego de interactuar con la aplicación (Anexo 3).

5.4.2. Aplicación de las pruebas de usabilidad y de validación

En esta etapa se aplicaron las pruebas tanto de usabilidad como de validación. La prueba de usabilidad tuvo una duración de 20 minutos por cada usuario y se ejecutó siguiendo el flujo mostrado en el diagrama de la figura 25.

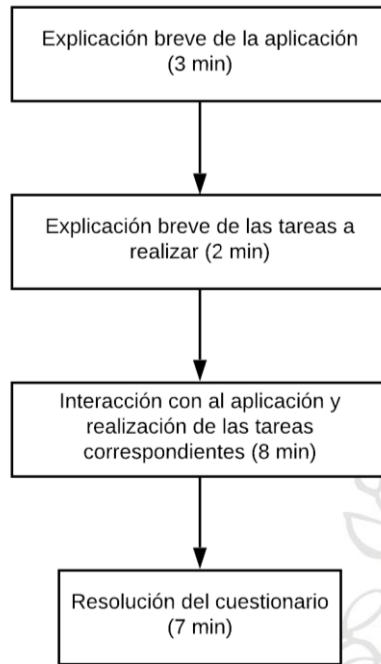


Figura 25. Diagrama de flujo de la prueba de usabilidad.

La prueba de validación requirió aproximadamente de 1 semana de duración y se llevó a cabo de acuerdo con el diagrama de flujo mostrado en la figura 26.

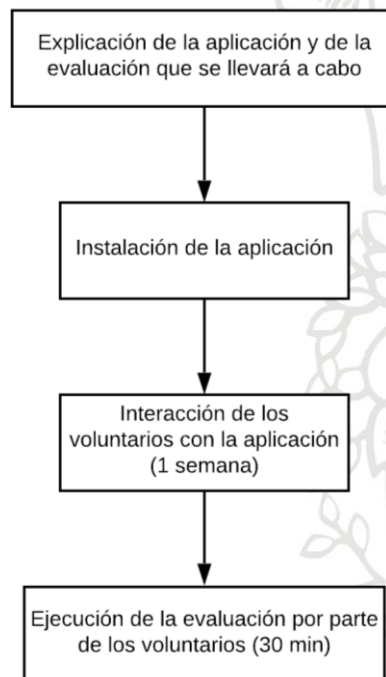


Figura 26. Diagrama de flujo de la prueba de validación.

5.4.3. Análisis de viabilidad de mejoras y recomendaciones

Durante esta etapa del proyecto, se llevó a cabo un análisis de las recomendaciones realizadas por los usuarios que interactuaron con la aplicación y de los resultados obtenidos en las pruebas de usabilidad y validación, esto con el objetivo de proponer mejoras viables para la versión definitiva del prototipo, teniendo en cuenta las limitantes que la utilización de MatLab supone. De igual forma se plantearon las mejoras que nos son posibles de implementar usando Matlab, pero que en la programación de una aplicación definitiva y multiplataforma sí se pueden realizar.

5.5. Implementación de mejoras en la aplicación

Durante el transcurso de esta fase del proyecto, se realizaron las mejoras consideradas viables para esta versión prototipo de la aplicación.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan y se analizan los resultados de cada una de las actividades descritas en la metodología.

6.1. Revisión bibliográfica

En la tabla 2 se muestran los trabajos encontrados al momento de llevar a cabo la búsqueda de artículos y patentes referentes a SE diseñado para ser empleado en la educación médica.

Tabla 2. Revisión bibliográfica de software educativo diseñado para la educación médica.

Autores	Título/Año	Descripción	Apreciación Personal
O. Inzunza et al.	<i>Anatomicis Network: Una Plataforma de Software Educativa basada en la Nube para Mejorar la Enseñanza de la Anatomía en la Educación Médica (2017)</i>	Este trabajo describe la construcción de una plataforma educativa para la enseñanza de la anatomía en el contexto de la educación médica. Esta herramienta permite desde la creación de organizaciones que pueden administrar sus asignaturas hasta la utilización de aplicaciones móviles donde los estudiantes pueden acceder a materiales interactivos de estudio a través de la modalidad Atlas, realizar evaluaciones y participar en foros [26].	Desde el punto de vista de la educación tradicional, esta herramienta se puede presentar como una alternativa bastante interesante, puesto que, permite la interacción entre los estudiantes y los profesores a través de la web, rompiendo barreras espaciotemporales, sin embargo, existen ya herramientas de distribución libre especializadas en la gestión del aprendizaje, como por ejemplo Moodle, cuyas funciones abarcan e incluso superan las del software descrito en este artículo.
Y. Cruz Carballosa et al.	<i>MicrobiologíaSoft, entrenador de Microbiología y Parasitología médica (2017)</i>	Este artículo describe la construcción de un software que se enfoca en la enseñanza de temas relacionados con la microbiología y la parasitología médica. El instrumento	El software descrito no pudo ser probado personalmente puesto que el link que proporciona el artículo presenta fallas y no redirecciona a ningún contenido. Sin

		<p>construido está dividido en 7 módulos (temario, glosario, ejercicio, mediateca, complementos, juegos y ayuda). En el módulo temario se presentan los contenidos relacionados con el tema incluyendo imágenes que facilitan la comprensión de los conceptos, por otro lado, el módulo de ejercicio permite el entrenamiento con preguntas a las que el estudiante deberá dar respuesta y que luego de terminado el cuestionario correspondiente, el software determinará si son o no correctas. En lo referente al módulo de juegos, el estudiante tendrá la oportunidad de escoger entre sopas de letras y el juego del ahorcado [27].</p>	<p>embargo, a partir del artículo se puede concluir que esta herramienta plantea una perspectiva innovadora con respecto al modelo de educación tradicional haciendo uso de las TICs, no obstante, deja mucho que desear en lo referente a tecnologías más avanzadas como la simulación, puesto que se limita a presentar texto e imágenes para la explicación de los conceptos.</p>
<p>NANJING YISIJIA ECOLOGICAL TECHNOLOGY CO., LTD. Jin Hui</p>	<p><i>Patente: Medical surgery training system based on virtual reality technology (2016)</i></p>	<p>Esta patente describe un sistema de entrenamiento para cirugía médica basado en tecnología de realidad virtual. El sistema comprende un recolector de datos, un guante de detección, un casco de realidad virtual y un computador. La tecnología de realidad virtual está integrada en el recolector de datos y se utiliza para disparar y recolectar datos reales de un modelo tridimensional del cuerpo humano con una proporción real que está diseñado a través de una tecnología de modelado 3D.</p>	<p>Al combinar la simulación quirúrgica con la realidad virtual, el sistema descrito en esta invención permite una inmersión total por parte del estudiante en la representación de situaciones con las que seguramente se verá enfrentado en su vida laboral, de acuerdo con esto, es una herramienta de gran ayuda en la adquisición de competencias profesionales, sin embargo, no es un instrumento de fácil acceso para el estudiante, no está concebido para que el alumno pueda practicar y fortalecer sus conocimiento en su tiempo libre.</p>
<p>M. Martínez Torres et al.</p>	<p><i>FarmacOff: software educativo para la</i></p>	<p>Este artículo describe el diseño de un software para la enseñanza de temas</p>	<p>De la información proporcionada en el artículo se puede manifestar que, aunque</p>

	<i>farmacología contra las afecciones oftalmológicas (2015)</i>	relacionados con el uso fármacos en el tratamiento de afecciones oculares. Para la construcción de la herramienta se consideraron 18 afecciones oftalmológicas, se utilizaron fotografías de dichas patologías y de los preparados farmacológicos que se usan para su tratamiento [28].	la herramienta diseñada promueve una alternativa al modelo de educación tradicional, no se encuentra a la vanguardia de las nuevas tecnologías y metodologías de enseñanza-aprendizaje, puesto que, se restringe a la presentación organizada de texto e imágenes.
M. Leba et al.	<i>Educational Software based on Gamification Techniques for Medical Students (2014)</i>	Este artículo describe el desarrollo de una aplicación que utiliza elementos de gamificación, simulación y juegos serios para la formación de estudiantes en el campo de la anatomía y las imágenes de tomografía computarizada. La aplicación en primera instancia le solicita al estudiante crear un perfil de usuario que incluye un avatar y un nivel que va desde principiante hasta avanzado, posteriormente, permite el acceso a herramientas de segmentación manual con asistencia mínima y a un número de imágenes de CT/MRI con diferentes grados de dificultad de segmentación que ofrecen un entorno de simulación para órganos reales. Los estudiantes pueden elegir el tipo de órganos de acuerdo con el nivel en el cual se encuentran, para proceder con la segmentación y luego etiquetar los componentes. La información se coteja con una base de datos de referencia con etiquetas identificadas por expertos en el campo [29].	La alternativa presentada por este artículo es bastante innovadora puesto que fusiona la enseñanza de la anatomía y de las imágenes de tomografía computarizada con una de las modalidades de videojuego que mayor auge ha tenido en los últimos años, lo que promueve la motivación y el interés de los estudiantes hacia la obtención de conocimiento. El ir avanzado de nivel y desbloqueando nuevas funciones a medida que se está aprendiendo, es una forma bastante eficaz de mantener enganchado al estudiante.

<p>D. León Medina el al.</p>	<p><i>Software educativo: morfología del ojo humano (2014)</i></p>	<p>Este trabajo describe el diseño de un software para la enseñanza en la educación médica, consiste en una guía compuesta por 8 módulos: 1 módulo de presentación y 7 módulos secundarios (contenidos, entrenador, biblioteca multimedia, libros, artículos, glosario y ayuda). El módulo de contenidos facilita información correspondiente a las características morfológicas del ojo humano, iniciando con el origen y desarrollo de esta estructura hasta la explicación de sus funcionalidades, además expone aspectos relacionados con las afecciones que se presentan con mayor frecuencia en este órgano. Por otra parte, el módulo entrenador permite la solución de cuestionarios con diferentes grados de complejidad que el estudiante debe elegir [30].</p>	<p>No fue posible tener acceso al software diseñado, sin embargo, en el artículo se lograron observar imágenes que dan cuenta de la estructura de la herramienta. De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que el programa presenta una interfaz gráfica bastante intuitiva y muy bien organizada, empero, en lo referente a la estrategia de enseñanza empleada no presenta mayor innovación que la presentación de contenidos multimedia (texto, imágenes y videos).</p>
<p>TIANJIN TELLYES SCIENTIFIC CO., LTD. Chen Yu Wu Wenlong</p>	<p><i>Patente: Virtual surgery operational software implemented based on flash (2014)</i></p>	<p>Esta invención describe un software virtual de operación quirúrgica basado en flash, el software está cargado en un servidor al cual se puede ingresar a través de una página web. Esta herramienta la permite al usuario visualizar la demostración del flujo de operación en una cirugía, cuenta con dos modos: (1) Entrenamiento, en el cual el software guía al usuario para el desarrollo de la operación. (2) Evaluación, en el cual el usuario debe realizar los pasos correctos aprendidos en el entrenamiento, de lo</p>	<p>De acuerdo con la descripción de esta invención, se puede manifestar que es un software bastante útil y de fácil acceso puesto que, al ser un simulador virtual puede ser usado por varios estudiantes al tiempo y lo único que se requiere es acceso a internet, Se puede considerar como una alternativa a los simuladores convencionales y una herramienta eficaz para el aprendizaje del flujo operativo en una cirugía.</p>

		contrario se le mostrará una ventana de error y la evaluación se reiniciará.	
A. Hamrol et al.	<i>Virtual 3D Atlas of a Human Body – Development of an Educational Medical Software Application (2013)</i>	Este artículo presenta el diseño y construcción de un prototipo de aplicación para la enseñanza de anatomía y fisiología a través de un entorno de realidad virtual de un atlas 3D del cuerpo humano. La aplicación desarrollada puede utilizarse de distintas formas entre las que se encuentran la proyección estereoscópica de pantalla grande y la proyección estereoscópica inmersiva para un solo usuario que requiere del uso de un dispositivo montado en la cabeza que posee un sistema de seguimiento óptico [31].	La herramienta descrita en este artículo es bastante innovadora y emplea tecnología muy interesante, sin duda genera un alto interés y atracción hacia los estudiantes en comparación con los medios tradicionales usados para presentar el conocimiento, sin embargo, para su implementación requiere equipos de alto costo y aún hace falta ahondar en los beneficios y facilidades que produciría en el aprendizaje.
L. Martín Viera et al.	<i>Sistema tutorial para el estudio de la fisiología del aparato respiratorio del cuerpo humano (2004)</i>	Este trabajo explica el diseño y la creación de una herramienta computarizada para dar solución al problema relacionado con el nivel de abstracción necesario que requieren los estudiantes de ciencias médicas para la comprensión de los procesos que ocurren dentro del organismo, específicamente en el sistema respiratorio. Por otro lado, en lo referente a evaluación, este software cuenta con cuestionarios de opción múltiple, y a medida que el estudiante da respuesta a cada pregunta el sistema le indica cuál es la correcta [32].	De acuerdo con la descripción hecha en el artículo, este software presenta contenidos muy completos en lo referente a la fisiología del sistema respiratorio, haciendo énfasis en los conceptos físicos en los cuales muchas veces los estudiante del área de la salud presenta falencias, y que son necesarios para la adecuada comprensión de los fenómenos relacionados con la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases y el transporte de O ₂ y CO ₂ , sin embargo, no deja de limitarse a la presentación de contenidos multimedia.

Teniendo en cuenta los trabajos mostrados en la tabla 1, es posible afirmar que la mayoría de las herramientas de SE presentan una visión innovadora con relación a las estrategias de enseñanza tradicionales, sin embargo, están enfocadas hacia la presentación de contenido multimedia, y no le prestan mucha atención al factor motivación, indispensable cuando se desea mantener enganchado al estudiante. Por otro lado, algunas de soluciones software descritas, muestran el uso de tecnologías bastante avanzadas, pero que son de difícil acceso y requieren altas inversiones.

De acuerdo con lo anterior, se considera oportuno, buscar la construcción de alternativas a las que se pueda tener fácil acceso, que no requieran de altas inversiones y que generen motivación en el alumno durante su proceso de aprendizaje. Desde este punto de vista, los trabajos que más destacan son: el artículo titulado *“Educational Software based on Gamification Techniques for Medical Students”* y la patente que lleva por nombre *“Virtual surgery operational software implemented based on flash”*

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos al realizar la búsqueda de software desarrollado para la educación médica, que se encuentra registrado en la Dirección Nacional de Derechos de Autor .

Tabla 3. Software educativo diseñado para la educación médica y registrado en la Dirección Nacional de Derecho de Autor.

Autor(es)	Título	Año de registro
YANETH PATRICIA CAVIATIVA CASTRO CARMEN HELENA SILVA GONZALEZ ALEXANDRA MARÍA LÓPEZ SEVILLAN	SOFTWARE CON CONTENIDO EDUCATIVO PARA CÁNCER DE CUELLO UTERINO	2018
CARLOS ANDRES ARENAS CORREA NATALY DIAZ CASSERES BRANDON DAVID CHÁVEZ NOGUERA	DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL APRENDIZAJE Y USO DE MANIOBRAS Y SIGNOS ORTOPÉDICOS QUE FACILITEN UN POSIBLE DIAGNÓSTICO DEL PACIENTE AL MOMENTO DE LA CONSULTA	2017

JEAN CARLOS MONTIEL SOTO DUVAN SAMITH CARGAS GUERRA JAVIER MUÑOZ COMBATT	PLATAFORMA WEB ESTRATÉGICA Y DINÁMICA COMO HERRAMIENTA EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LOS PROCESOS QUIRÚRGICOS, TRIBUTA AL AUTO-APRENDIZAJE	2017
RUBY ELENA MUÑOZ BALDIRIS VERÓNICA DEL CARMEN BOCANEGRA CASTRO	SOFTWARE EDUCATIVO EN LA ESPECIALIDAD DE NEUROCIRUGIA PARA ESTUDIANTES, DOCENTES Y EGRESADOS DEL PROGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN QUIRÚRGICA	2017
RUBY ELENA MUÑOZ BALDIRIS VERÓNICA DEL CARMEN BOCANEGRA CASTRO	SOFTWARE EDUCATIVO EN LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGÍA EN MIEMBROS SUPERIORES	2017
LUIS OLIVERIO CHAPARRO LEMUS ADRIANA NUMPAQUE PACABAQUE KAREN YULIETH CASTRO HIGUERA CHRISTIAN CAMILO GUTIERREZ BARÓN MARIA ALEJANDRA BERNAL HERNANDEZ	DISEÑO DE SOFTWARE EDUCATIVO SOBRE MECÁNICA DE TRABAJO EN SALAS DE CIRUGÍA PARA ESTUDIANTES DE INSTRUMENTACIÓN QUIRÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD DE BOYACÁ	2016
MAURICIO ANDRES LINDO SIADO	MULTIMEDIA PROGRAMA EDUCATIVO BABYTIME 1-12 MESES	2016

Al analizar los resultados mostrados en la tabla 2, es posible notar que existe una pequeña cantidad de SE, registrado en la Dirección Nacional de Derecho de Autor, desarrollado para la educación en carreras del área de la salud, y ninguno de ellos trata las temáticas relacionadas con la fisiología del sistema respiratorio.

6.2. Definición de requerimientos

A continuación, se describen los resultados obtenidos en la fase de definición de requerimientos de la aplicación

6.2.1. Búsqueda de contenidos para la aplicación.

De acuerdo con la búsqueda de contenidos realizada, se determinó que los temas que se abordan en la enseñanza de la fisiología del sistema respiratorio, que representan dificultades y por lo tanto serían de interés para ser incluidos en la aplicación son: la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases, la circulación pulmonar, el transporte de gases a los tejidos y la regulación de la respiración. Siendo el estudio del balance químico del intercambio de gases que se lleva a cabo en la membrana alveolocapilar la temática de mayor dificultad, por tal razón, los temas relacionados con la circulación pulmonar y la regulación de la respiración no se incluyeron en el software y se concentró todo el esfuerzo en desarrollar la aplicación enfocada en el balance químico del intercambio de gases.

De igual forma, es oportuno mencionar que además de la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases y el transporte de gases, la aplicación incorporó los conceptos básicos de física y química que se requieren para la comprensión del intercambio gaseoso, estos son: la definición de presión cuya variación en función de volumen se ilustra en la ley de Boyle, la definición de presión parcial que se explica mediante la ley de Dalton, y el fenómeno de difusión de gases, que se rige por la ley de Fick y la ley de Graham.

6.2.2. Búsqueda de estrategias de enseñanza-aprendizaje

Dentro de esta consulta, se logró determinar que las estrategias más oportunas en este contexto eran las centradas en el alumno, puesto que la aplicación estaba concebida como una herramienta para ser utilizada por el estudiante en su tiempo libre, como entrenamiento para fortalecer sus conocimientos.

6.2.3. Elección de las estrategias de enseñanza-aprendizaje

Dentro del grupo de estrategias de enseñanza-aprendizaje centradas en el alumno, las que se eligieron para ser implementadas en el software fueron aquellas encaminadas a mantener la motivación en el estudiante hacia la exploración del conocimiento, tales como: el método de

indagación, el método del juego de roles y la gamificación, siendo esta última la que mayor influencia tuvo en el desarrollo de la aplicación, puesto que las herramientas que emplean esta estrategia han mostrado ser generadoras de un incremento en el compromiso por parte de los estudiantes hacia las actividades de aprendizaje, incluso, en el campo de la industria, existen empresas que a través de la gamificación han generado alternativas para la capacitación corporativa, cuya implementación ha demostrado un aumento en el grado de motivación de los empleados hacia el aprendizaje [3],[4].

6.3. Desarrollo de la aplicación interactiva

En esta sección se plasman los resultados obtenidos durante la fase de desarrollo de la aplicación

6.3.1. Definición de los mecanismos que se explican a través de las simulaciones

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al momento de diseñar y construir las simulaciones.

En la figura 27, es posible visualizar la simulación correspondiente a la Ley de Boyle, en la cual se ilustra la variación de la presión de un gas en función de la variación del volumen que lo contiene.

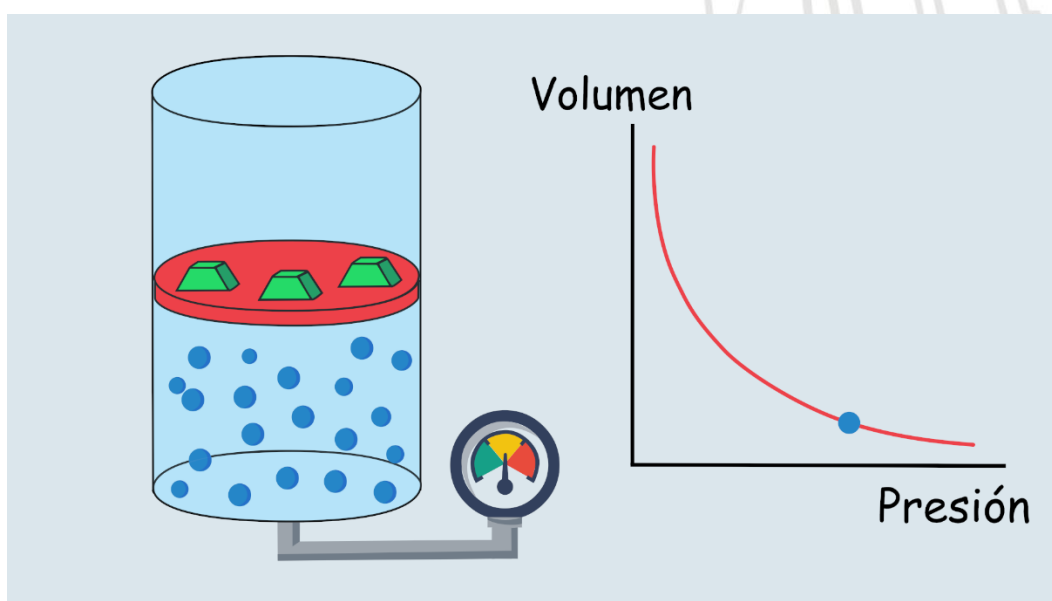


Figura 27. Simulación de la Ley de Boyle.

La figura 28 permite observar la simulación correspondiente a la Ley de Dalton, en la cual se plasman los conceptos de presión total y presiones parciales de un gas.

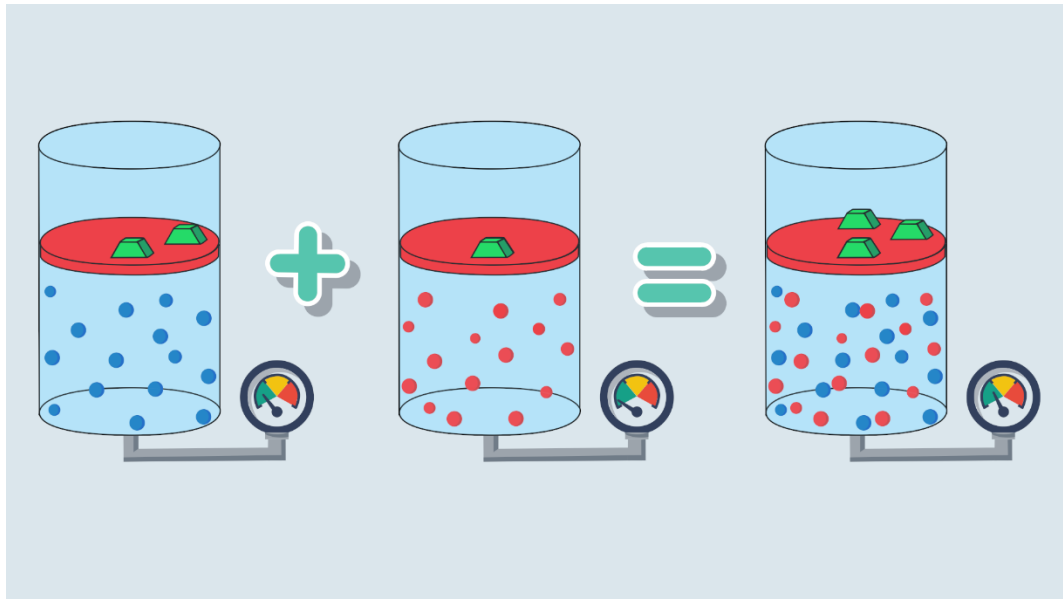


Figura 28. Simulación de la Ley de Dalton.

La figura 29 contiene la simulación del fenómeno de difusión de gases, que se describe a través de la Ley de Fick y de la Ley de Graham.

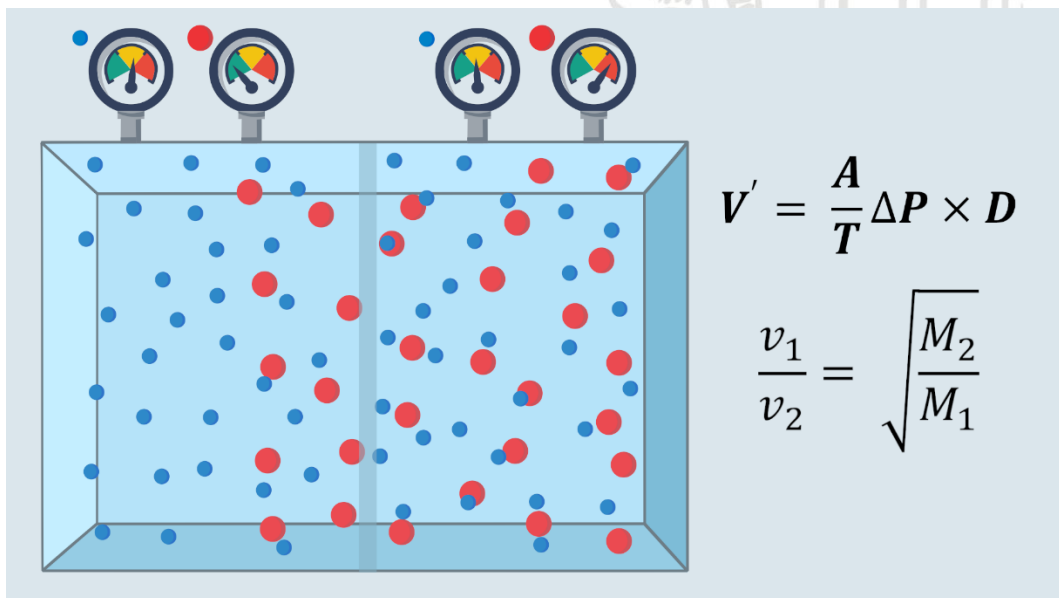


Figura 29. Simulación del fenómeno de difusión de gases.

En la figura 30, se muestra la simulación en la cual se representa la mecánica ventilatoria del sistema respiratorio.

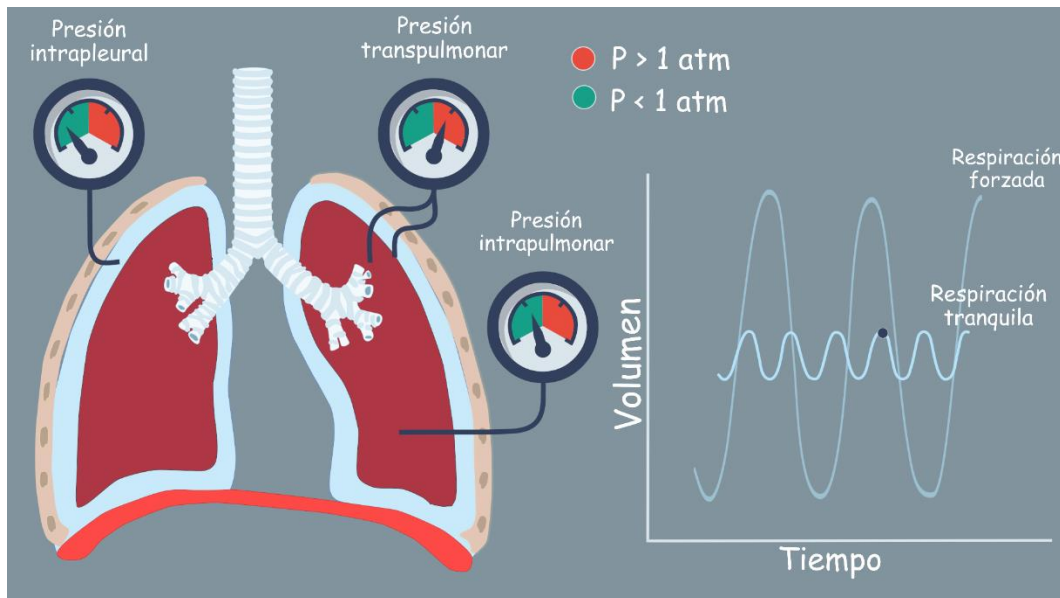


Figura 30. Simulación de la mecánica ventilatoria.

En la figura 31, es posible observar la simulación correspondiente a la difusión de oxígeno y dióxido de carbono a través de la barrera alveolocapilar.

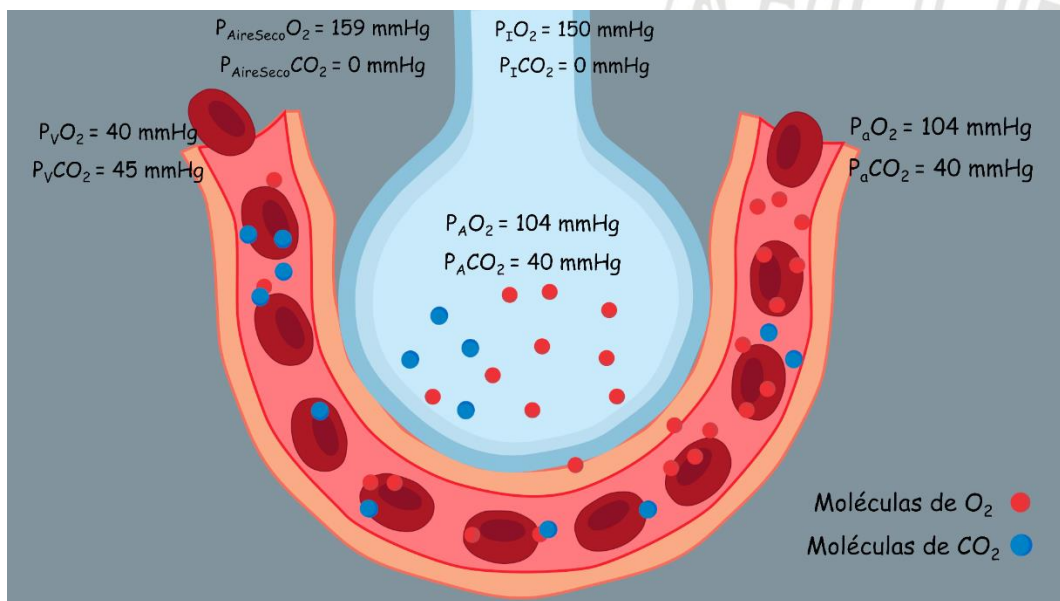


Figura 31. Simulación de la difusión alveolocapilar.

Al analizar los resultados obtenidos en esta fase del proyecto, es posible afirmar que fueron satisfactorios, pues, se logró la construcción de las simulaciones que se habían propuesto, y que ilustran los mecanismos fisiológicos más abstractos que se llevan a cabo dentro del sistema respiratorio. Es este uno de los recursos más importante de la aplicación, puesto que permite la presentación de fenómenos complejos de manera sencilla y fácil de comprender por parte del estudiante.

Un video que ilustra el funcionamiento de estas simulaciones en la aplicación puede verse en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=hvfuxAoKxek>

6.3.2. Definición de la experiencia de usuario

En lo referente a la experiencia de usuario, se lograron definir los elementos que hacen parte de ella, tal y como se muestra a continuación:

1. Estrategia

- ✓ Objetivos del producto: El software desarrollado tiene un enfoque educativo, y está encaminado a convertirse en una herramienta fundamental para estudiar los conceptos abstractos relacionados con el intercambio de gases en el sistema respiratorio.
- ✓ Necesidades del usuario: Este es un software en el cual el usuario puede practicar y entrenarse en lo referente a los conceptos más abstractos relacionados con el intercambio gaseoso en el sistema respiratorio.

2. Enfoque

- ✓ Requerimientos de contenido: Se tratan los temas relacionados con los conceptos básicos del área de la física, la química y las matemáticas, necesarios para la comprensión del intercambio de gases. Además, se abordan los aspectos físicos del sistema respiratorio, la mecánica ventilatoria, los volúmenes y las capacidades pulmonares, la difusión de gases, la relación ventilación/perfusión, y el transporte de gases hacia los tejidos.
- ✓ Especificaciones funcionales: El software cuenta con registro de usuarios, definición de rol, selección de avatar, seguimiento de puntuación, resolución de cuestionarios, retroalimentación de respuestas y visualización de simulaciones y/o animaciones.

3. Estructura

- ✓ Arquitectura de la información: El contenido del software se separa en módulos por cada rol, cada módulo cuenta con una serie de preguntas y simulaciones a través de las cuales se presentan los conceptos necesarios para la comprensión de los mecanismos que se llevan a cabo en el sistema respiratorio. Por otro lado, el usuario siempre tiene acceso a su puntuación, y a la visualización de su avatar y su respectivo rol. También cuenta con la presentación de

mensajes de motivación que se muestran de acuerdo con los objetivos logrados por el usuario. Es oportuno mencionar que a medida que el usuario pasa de un rol a otro más avanzado, la complejidad de los contenidos va en aumento. Los cuestionarios que se presentan en la aplicación se muestran en el Anexo 4

- ✓ Diseño de la interacción: En la primera ventana que se le presenta al usuario, este debe dar clic en el botón "Crear una cuenta" si aún no se encuentra registrado, luego pasa a responder una serie de preguntas relacionadas con los conceptos básicos que hacen las veces de conocimientos previos para la comprensión del intercambio gaseoso, una vez el usuario haya solucionado el cuestionario, puede visualizar la puntuación obtenida, de acuerdo con esta, se despliega un mensaje de sugerencia para la selección del rol. Posteriormente, el usuario debe seleccionar el rol y el avatar que desea luego de haberse registrado con un nombre de usuario y una contraseña. Finalizada la etapa de registro, el usuario tiene acceso a la ventana principal en la cual puede iniciar un cuestionario cuando se sienta preparado, es importante destacar que para la resolución de cada cuestionario existen recursos diseñados para el aprendizaje y a los cuales el usuario tiene acceso de acuerdo con los logros alcanzados.

4. Esquema

- ✓ Diseño de la información: La información se presenta a través de cuestionarios de selección múltiple con su respectiva retroalimentación, además se cuenta con el uso de simulaciones y/o animaciones que son claves en la explicación de los conceptos. Por otro lado, se presentan de forma ocasional mensajes de motivación de acuerdo con los logros alcanzado y los reto cumplidos por el usuario.
- ✓ Diseño de la navegación: El software cuenta con una navegación libre a través de la ventana principal de la aplicación y hacia las ventanas secundarias, mediante el uso de botones y barras de desplazamiento, sin embargo, existen contenidos que inicialmente están bloqueados, a los cuales el usuario obtiene acceso a medida que vaya alcanzando logros.
- ✓ Diseño de la interfaz: El software cuenta con botones, campos de texto, barras de menú, checkboxes, radio buttons, sliders, y visualización de simulaciones y/o animaciones.

5. Superficie

- ✓ Diseño visual (información): Se cuenta con un tamaño de fuente adecuado para la fácil lectura, además de un color de fuente que contrasta con los fondos.
- ✓ Diseño visual (funcionalidad): Se cuenta con la implementación de botones intuitivos y llamativos, además de simulaciones no muy saturadas de información.

Los resultados obtenidos en esta etapa fueron cruciales en el diseño y construcción de la interfaz gráfica y de los algoritmos que la controlan, puesto que permitieron tener en cuenta todos los elementos tanto de funcionalidad como de información, que fueron necesarios para el desarrollo de una herramienta que cumpliera con las expectativas en lo que corresponde a experiencia de usuario, esto es, una aplicación que le permitiera al estudiante, lograr sus objetivos de aprendizaje y además de eso que fuese fácil y agradable de utilizar.

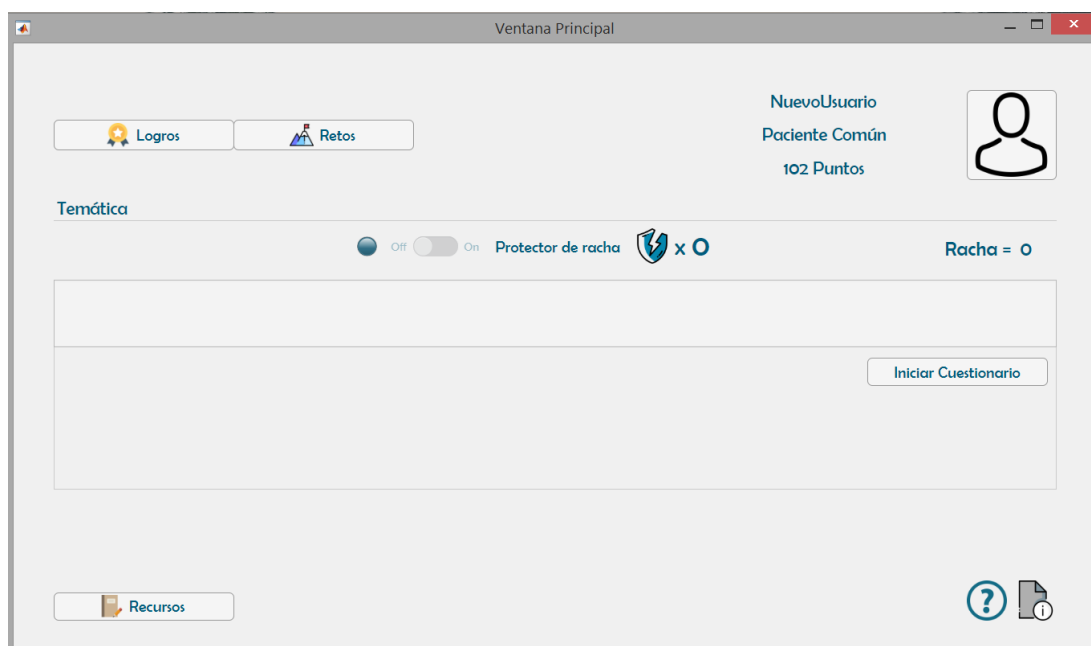
6.3.3. Construcción de la interfaz gráfica y de los algoritmos que la controlan

La interfaz construida está compuesta por 1 ventana principal y 8 secundarias, además de otras ventanas emergentes.

En lo que sigue, se muestran las ventanas de la interfaz gráfica definitiva y se realiza una descripción de los elementos que cada una de ellas contiene.

En la figura 32 (a), es posible detallar la ventana principal de la aplicación cuya construcción estuvo basada en el Diagrama Tipo I descrito en el apartado de la metodología, dicha ventana cuenta con 5 botones principales que permiten abrir las ventanas de Logros, Retos, Recursos, Perfil de Usuario e iniciar cuestionario/enviar respuesta; 2 botones secundarios que sirven para la visualización de los créditos de realización y de un tutorial para la utilización de la aplicación; y un switch que sirve para activar el protector de racha.

Además de las funciones ya mencionadas, esta ventana permite la visualización de la información del usuario (Nombre de usuario, Rol del usuario, Puntuación); de la racha que ha alcanzado el usuario; y del número de protectores de racha con los que cuenta actualmente; y la resolución de las preguntas que el estudiante debe responder para ir avanzando de nivel, tal como se muestra en la figura 32 (b).



(a)



(b)

Figura 32. Ventana Principal de la Aplicación.

La figura 33 corresponde a la ventana de inicio de la aplicación, cuya construcción estuvo basada en el Diagrama Tipo II, esta ventana permite el ingreso de un usuario ya registrado por medio de su nombre de usuario y contraseña, o la creación de una nueva cuenta cuando el usuario aún no se ha registrado.



Figura 33. Ventana de Inicio de la Aplicación.

En la figura 34, se muestra la ventana del cuestionario inicial que el usuario debe responder para poder registrarse en la aplicación, esta ventana contiene una serie de preguntas de opción múltiple y un botón que permite enviar las respuestas para ser calificadas. Se construyó con base en el Diagrama Tipo III.

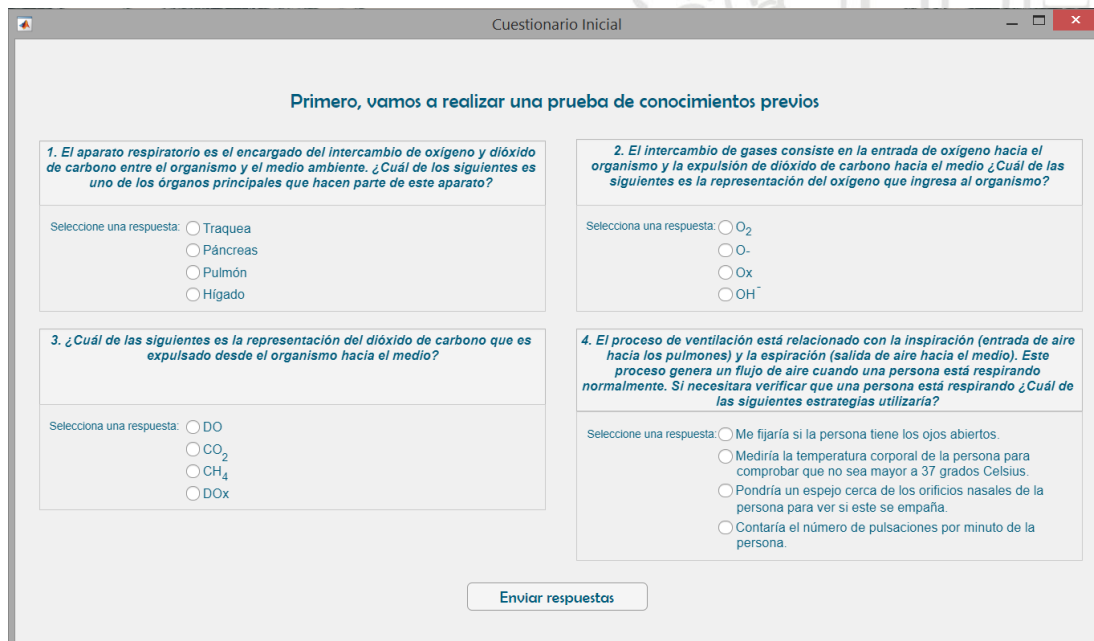


Figura 34. Ventana de Cuestionario Inicial de la Aplicación.

En la figura 35, aparece la ventana de creación de usuario, que se construyó teniendo en cuenta el diseño del Diagrama Tipo IV. Dicha ventana contiene dos campos de texto para ingresar el nombre de usuario y la contraseña para realizar el registro; una caja de selección

para elegir el rol; una caja de texto donde se muestra una descripción de cada uno de los roles; y un botón que cuya función es la creación del nuevo usuario.



Figura 35. Ventana de Creación de Usuario de la Aplicación.

La figura 36, corresponde a la ventana de exploración de recursos, que se desarrolló con base en el diseño del Diagrama Tipo V. La presente ventana cuenta con dos secciones, una en la cual se pueden visualizar los botones para abrir las ventanas de los esquemas y otra donde se encuentran los botones para abrir las ventanas de las simulaciones. Además, cuenta con un botón que permite regresar a la ventana principal de la aplicación.



Figura 36. Ventana de Recursos de la Aplicación.

Las figuras 37 y 38 permiten detallar respectivamente, las ventanas de logros y de retos, que se construyeron teniendo en cuenta el diseño del Diagrama Tipo VI. Estas ventanas permiten la visualización de los logros cumplidos y los retos alcanzados por el usuario, en adición, cada ventana cuenta con un botón que permite regresar a la ventana principal de la aplicación.



Figura 37. Ventana de Logros de la Aplicación.

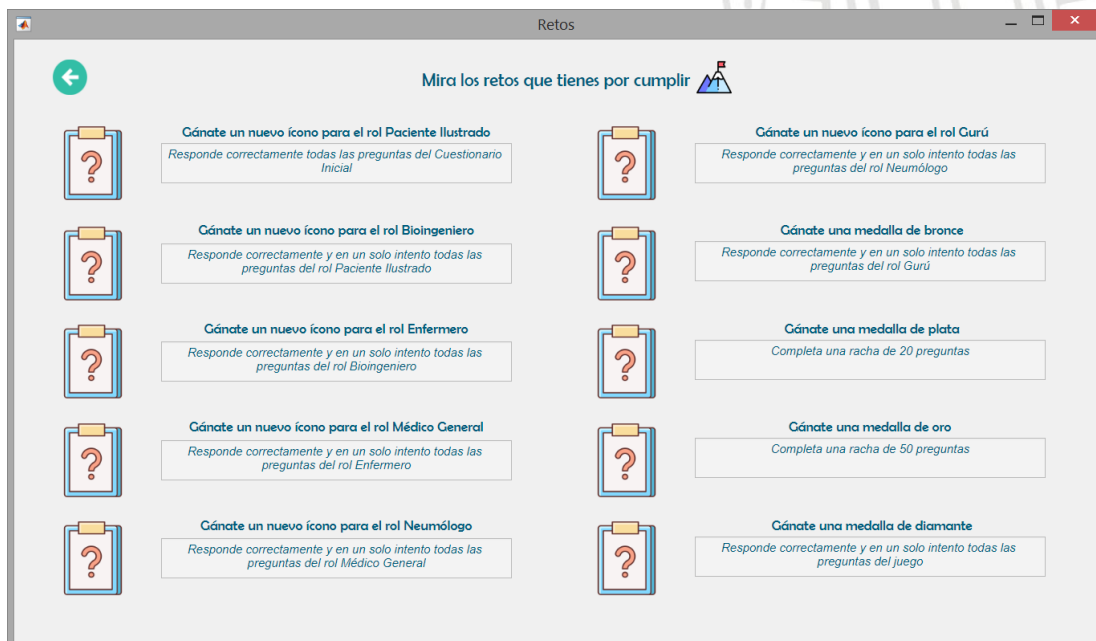


Figura 38. Ventana de Retos de la Aplicación.

En la figura 39, se puede observar la ventana de perfil de usuario, cuya construcción se llevó a cabo con base en el Diagrama Tipo VII, dicha ventana contiene un historial de preguntas donde se muestra el progreso del usuario para cada uno de los roles, además cuenta con una caja de selección para cambiar de rol si el usuario así lo desea, y finalmente un botón que permite ejecutar el cambio de rol y volver a la ventana principal de la aplicación.

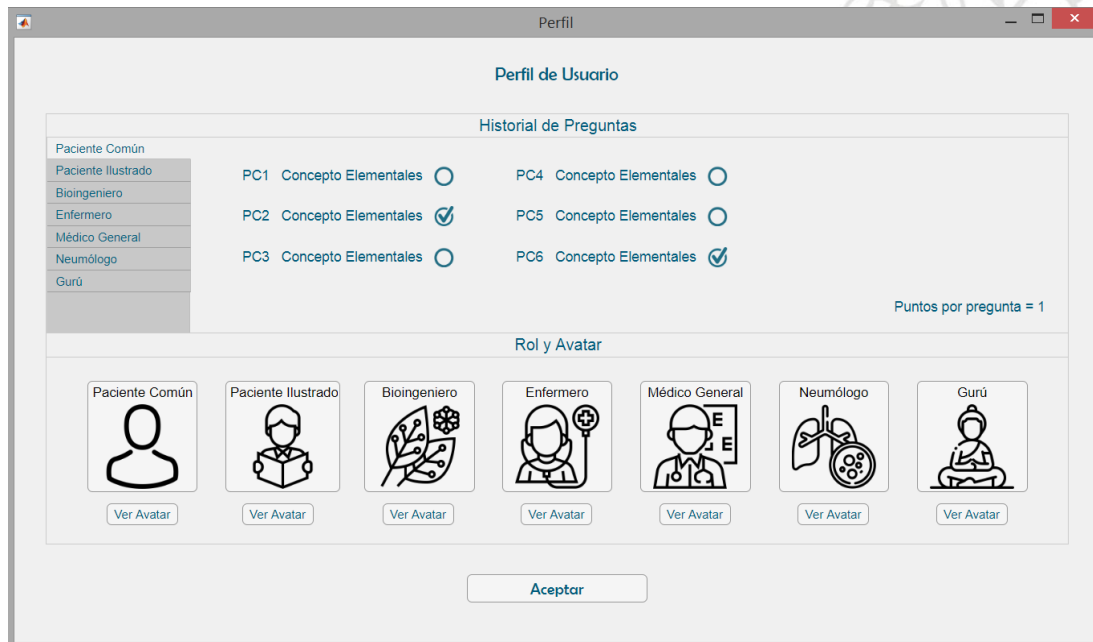


Figura 39. Ventana de Perfil de Usuario de la Aplicación.

La figura 40 muestra un ejemplo de una ventana de visualización de esquemas, cuya construcción se realizó con base en el Diagrama Tipo VIII. En la aplicación existen 12 ventanas de este tipo, cada una de ellas cuenta con un grupo de "checkboxes" que permiten elegir el elemento del cual se requiere información, y una caja de texto en la cual se muestra la información de dicho elemento.

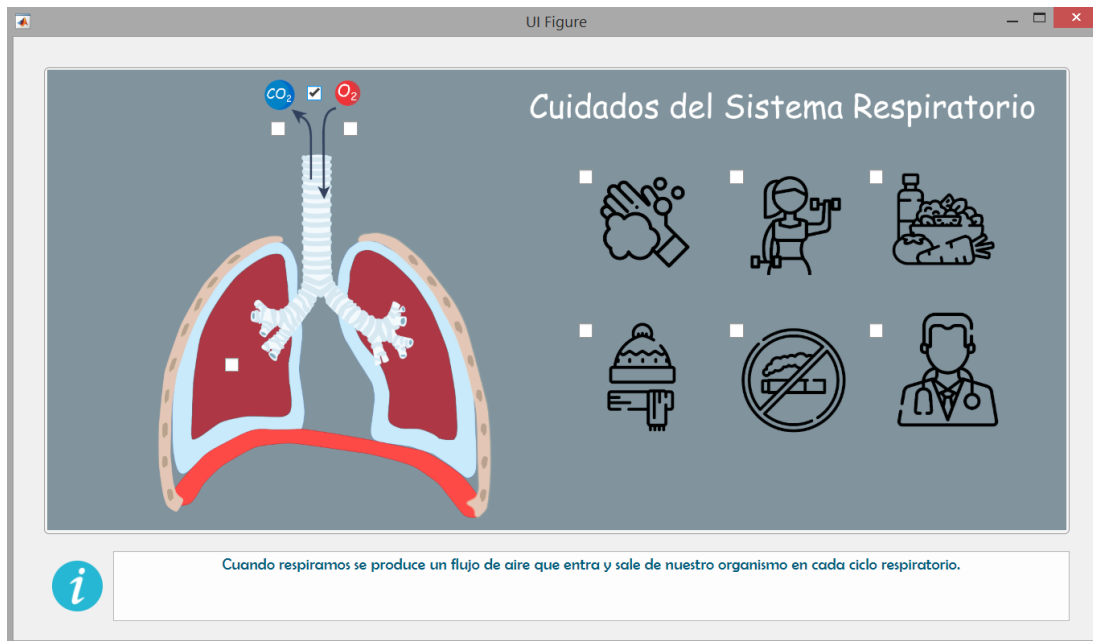


Figura 40. Ventana de Esquema de la Aplicación.

En la figura 41, es posible detallar un ejemplo de una ventana de visualización de simulaciones, dichas ventanas han sido construidas teniendo en cuenta el diseño del Diagrama Tipo IX, y en la aplicación hay en total 5 ventanas de este tipo. Cada una de ellas contiene un espacio de visualización y un "slider" que permite interactuar con la simulación, además de un botón que al ser presionado permite observar la simulación de forma continua a modo de animación.

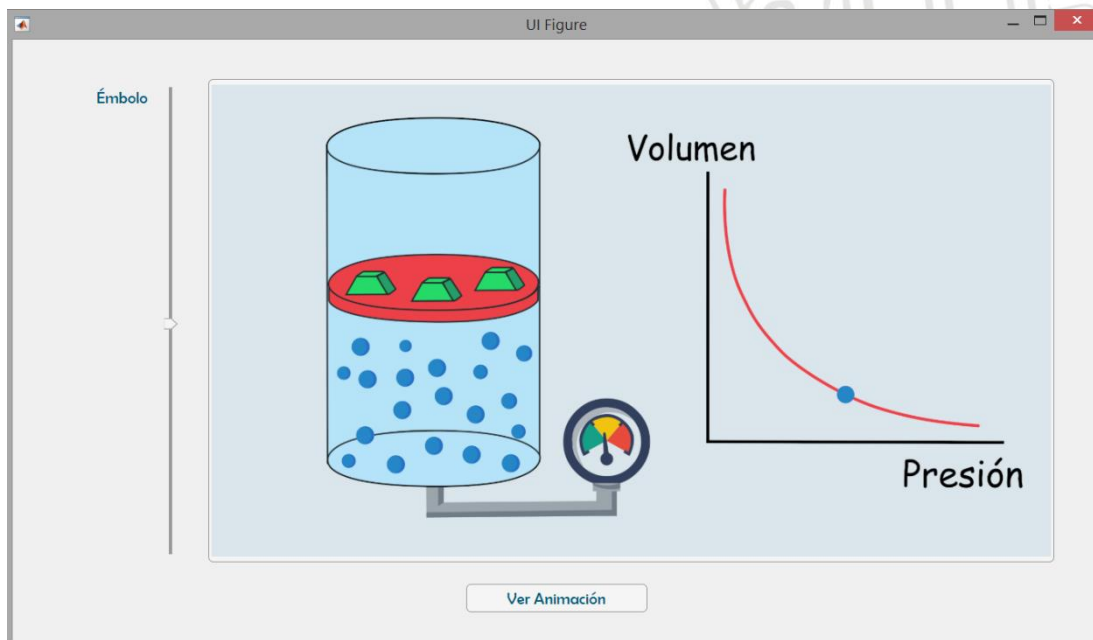


Figura 41. Ventana de Simulación de la Aplicación.

Es oportuno mencionar que además de las ventanas presentadas en esta sección, la aplicación cuenta con cuadros de dialogo emergentes que se

despliegan para dar información adicional al usuario, y en otros casos, pedirle confirmación para la realización de una acción, por ejemplo, cuando el usuario decide cerrar la herramienta. El funcionamiento de todos estos elementos se puede visualizar en el Anexo 5, que corresponde a un video que muestra la ejecución del software, dicho anexo también puede consultarse en los siguientes enlaces:

- 6.3.3.1. <https://www.youtube.com/watch?v=1xyS73KghEs>
- 6.3.3.2. <https://www.youtube.com/watch?v=hA2Cu9k25WY>
- 6.3.3.3. <https://www.youtube.com/watch?v=iq1VgUXql2k>
- 6.3.3.4. <https://www.youtube.com/watch?v=gM5LQMGKEqw>

Analizando los resultados obtenidos durante esta etapa del proyecto, se puede afirmar que se cumplió con el objetivo de desarrollar una interfaz gráfica acorde a los diagramas planteados y a la experiencia de usuario definida.

6.4. Diseño e implementación de pruebas de usabilidad y validación

En esta sección se plasman los resultados obtenidos luego de llevar a cabo las pruebas de usabilidad y validación, y el análisis de viabilidad de las mejoras propuestas para implementar en la aplicación.

6.4.1. Aplicación de las pruebas de usabilidad y de validación

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las métricas evaluadas en la prueba de usabilidad.

En primer lugar, cabe destacar que todos los usuarios que participaron en la prueba de usabilidad lograron completar las cuatro tareas que se les asignaron.

Por otro lado, la tabla 4 muestra los valores necesarios para el cálculo de la métrica frecuencia de error, en dicha tabla, un 0 representa ausencia de errores al momento de realizar las tareas de la prueba de usabilidad, por otro lado, un 1 da cuenta de que el usuario incurrió en al menos un error cuando llevó a cabo la tarea correspondiente.

Tabla 4. Errores cometidos por los usuarios en las tareas de la prueba de usabilidad.

	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Total
Usuario 1	1	1	0	0	2
Usuario 2	0	1	1	1	3

Usuario 3	0	0	0	0	0
Usuario 4	0	0	0	1	1
Usuario 5	0	0	0	0	0
Usuario 6	0	0	0	1	1
Usuario 7	0	0	0	0	0
Usuario 8	0	0	0	0	0
Usuario 9	0	0	0	0	0
Usuario 10	0	0	0	0	0
Usuario 11	0	0	0	0	0
Usuario 12	0	0	0	1	1

En la tabla 5, se pueden observar los tiempos empleados por cada uno de los usuarios para realizar las tareas de la prueba de usabilidad.

Tabla 5. Tiempos empleados por los usuarios en las tareas de la prueba de usabilidad.

	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Total
Usuario 1	0:02:09	0:01:39	0:02:39	0:03:03	0:09:30
Usuario 2	0:05:13	0:03:02	0:06:32	0:03:51	0:18:38
Usuario 3	0:01:49	0:03:59	0:02:46	0:01:00	0:09:34
Usuario 4	0:02:04	0:02:08	0:02:44	0:02:19	0:09:15
Usuario 5	0:02:00	0:01:34	0:01:35	0:01:17	0:06:26
Usuario 6	0:01:44	0:02:51	0:02:07	0:01:26	0:08:08
Usuario 7	0:00:33	0:01:26	0:02:00	0:02:00	0:05:59
Usuario 8	0:01:00	0:01:41	0:02:00	0:02:40	0:07:21
Usuario 9	0:02:48	0:04:45	0:02:22	0:02:36	0:12:31
Usuario 10	0:00:22	0:01:34	0:01:56	0:00:58	0:04:50
Usuario 11	0:01:06	0:00:30	0:01:23	0:04:50	0:07:49
Usuario 12	0:01:59	0:01:54	0:02:31	0:04:32	0:10:56

En la tabla 6, es posible visualizar los tiempos planeados para la realización de cada tarea.

Tabla 6. Tiempos planeados para la realización de las tareas de la prueba de usabilidad.

	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Total
Tiempo	00:02:00	00:02:00	00:02:00	00:02:00	00:08:00

En la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos para la encuesta de satisfacción que los usuarios respondieron luego de interactuar con la aplicación.

Tabla 7. Resultados de la encuesta de satisfacción de la prueba de usabilidad.

	ASQ			PSSUQ																		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
U1	95	95	100	95	95	100	95	95	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100
U2	95	100	100	95	100	95	95	95	100	100	100	80	80	95	90	90	95	100	100	100	90	95
U3	95	85	100	90	100	100	90	90	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	85	90	90	95
U4	95	100	100	100	100	100	95	95	100	100	100	95	95	100	95	100	100	100	100	100	100	100
U5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
U6	100	100	95	95	100	95	100	100	100	100	100	100	95	100	95	100	100	100	100	100	100	95
U7	90	95	100	90	95	100	95	100	100	100	95	90	85	95	90	100	95	95	100	100	100	95
U8	70	70	75	75	70	75	65	70	75	70	80	75	75	75	70	75	80	75	80	70	70	75
U9	95	90	95	95	90	90	95	95	90	90	90	100	95	100	90	95	95	100	100	100	95	100

U10	100	100	100	100	100	95	100	100	95	95	95	90	90	100	95	100	100	100	95	95	95	95
U11	80	90	95	70	85	100	95	95	80	90	90	100	95	85	75	80	85	80	95	95	90	90
U12	70	70	60	75	75	85	75	80	50	80	80	5	60	80	80	90	70	80	60	50	70	70

La tabla 8 permite visualizar los valores obtenidos al realizar el cálculo de las métricas descritas en la metodología. Es importante mencionar que para el cálculo de la métrica de tiempo de cada tarea se emplearon como tiempos planteados los mostrados en la Tabla 8. Por otro lado, para obtener el valor de la métrica nivel de satisfacción, se plantearon como respuestas satisfactorias aquellas mayores o iguales a 85.

Tabla 8. Resultados del cálculo de las métricas planteadas para la prueba de usabilidad.

Usuario \ Métrica	Complejidad de la tarea	Frecuencia de error	Tiempo de la Tarea 1	Tiempo de la Tarea 2	Tiempo de la Tarea 3	Tiempo de la Tarea 4	Nivel de Satisfacción
Usuario 1	1	0,5	1,08	0,83	1,33	1,53	1,00
Usuario 2	1	0,25	2,61	1,52	3,27	1,93	0,91
Usuario 3	1	1	0,91	1,99	1,38	0,50	1,00
Usuario 4	1	0,75	1,03	1,07	1,37	1,16	1,00
Usuario 5	1	1	1,00	0,78	0,79	0,64	1,00
Usuario 6	1	0,75	0,87	1,43	1,06	0,72	1,00
Usuario 7	1	1	0,28	0,72	1,00	1,00	1,00
Usuario 8	1	1	0,50	0,84	1,00	1,33	0,00
Usuario 9	1	1	1,40	2,38	1,18	1,30	1,00

Usuario 10	1	1	0,18	0,78	0,97	0,48	1,00
Usuario 11	1	1	0,55	0,25	0,69	2,42	0,73
Usuario 12	1	0,75	0,99	0,95	1,26	2,27	0,09
Promedio	1	0,83	0,95	1,13	1,28	1,27	0,81

Al analizar los resultados de la tabla 8, es posible determinar que ninguno de los usuarios que interactuó con la aplicación tuvo problemas en completar las tareas que se le propusieron en la prueba de usabilidad, esto se evidencia en el promedio correspondiente a la métrica completitud de la tarea, e indica que el flujo a través de la herramienta es bastante intuitivo. Por otro lado, el promedio de la métrica frecuencia de error, cuyo valor es de 0,83 muestra que a pesar de que algunos de los usuarios incurrieron en errores durante la ejecución de las tareas, la aparición de estos no es muy frecuente, y además no impidieron que los usuarios pudiesen cumplir con los objetivos planteados. Sin embargo, los promedios de las métricas que indican el tiempo que los usuarios requieren para completar las tareas, permiten afirmar que en cuanto a tiempos de ejecución aún se requiere de una gran mejoría en el software, esta es una de las limitaciones que el uso de Matlab conlleva, pues requiere de muy buenas especificaciones por parte de los equipos de cómputo para trabajar de manera fluida y rápida. Finalmente, el promedio de la métrica nivel de satisfacción da a conocer resultados favorables en lo que respecta a la percepción que desarrollaron los usuarios al interactuar con la aplicación.

En lo que sigue, se plasman los resultados correspondientes a la aplicación de la prueba de validación.

La tabla 10 permite detallar la puntuación obtenida por cada uno de los usuarios en la evaluación de conocimientos que se llevó a cabo durante la prueba de validación. Cabe destacar que cada pregunta tiene el valor de 1 punto. Las preguntas de la evaluación de conocimientos se pueden consultar en el Anexo 3

Tabla 9. Resultados de la evaluación de conocimientos de la prueba de validación.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Total
Usuario 1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7
Usuario 2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	8
Usuario 3	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
Usuario 4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
Usuario 5	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	8
Usuario 6	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	5
Usuario 7	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	6
Usuario 8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	9
Promedio	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,63	0,50	0,88	0,63	1,00	7,63

Al analizar los resultados mostrados en la tabla 9, es posible afirmar que fueron satisfactorios, pues se obtuvo una calificación promedio de 7,63 en la evaluación de conocimientos realizada por los usuarios luego de completar el entrenamiento con la aplicación, la mayoría de los sujetos aprobaron la evaluación obteniendo una puntuación mayor o igual a 6. De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la herramienta cumplió con su objetivo, no obstante, hubo preguntas en las cuales, la mitad de los usuarios tuvieron una respuesta errónea, es este el caso de la pregunta 5, que hace parte de la temática aspectos físicos del sistema respiratorio; y de la pregunta 7, que se encuentra inmersa en la temática mecánica ventilatoria. Teniendo en cuenta dichas preguntas, se procederá con la revisión de los recursos que se emplean para la explicación de dichas temáticas, con el objetivo de implementar mejoras viables.

7. CONCLUSIONES

En primer lugar, es importante concluir que, durante el trabajo realizado en este proyecto, se logró la definición de los requerimientos con los que la aplicación debía contar. Lo anterior fue posible luego de haber demarcado las situaciones problemáticas que se presentan en torno a la dificultad en la comprensión de los mecanismos fisiológicos que rigen el intercambio de gases en el sistema respiratorio. Así, se estudiaron y se eligieron los contenidos que en el software se abordan: la mecánica ventilatoria, el intercambio de gases, la circulación pulmonar, el transporte de gases a los tejidos; todos ellos enfocados en desarrollar una herramienta cuyo principal objetivo es la comprensión del balance químico del intercambio de gases.

En lo referente a las estrategias de enseñanza-aprendizaje implementadas en el software y que abarcan: el método de indagación, el método del juego de roles y la gamificación; se pudo probar que dicha combinación de estrategias cumple con el objetivo de mantener motivado al estudiante en la exploración del conocimiento, esto se evidenció en los registros de uso de la aplicación, donde se pudo notar que cada uno de los sujetos completó el entrenamiento con el software, invirtiendo un tiempo considerable y examinando cada uno de los recursos que se presentaron para su aprendizaje.

Por otro lado, es oportuno concluir que se logró la construcción de una aplicación interactiva que cumple con los requerimientos definidos. Los elementos tanto de funcionalidad como de información que conforman este prototipo cumplen con los objetivos propuestos. No obstante, debido a las limitantes que conlleva el uso de Matlab, aún existe espacio para mejorar, especialmente en lo referente a tiempos de ejecución e interactividad.

Se logró la implementación de pruebas de usabilidad y pruebas de validación que pusieron la aplicación a prueba, y cuyos resultados fueron favorables para la herramienta. Se pudo comprobar que, en cuanto a diseño y funcionalidad, el software resulta bastante satisfactorio para los usuarios. Por otro lado, se logró evidenciar que el nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes luego de completar el entrenamiento con la herramienta da cuenta de su comprensión de los mecanismos fisiológicos relacionados con el intercambio de gases en el sistema respiratorio.

Finalmente, como trabajo futuro, se propone la implementación de mejoras en lo que respecta a interactividad, puesto que, este es uno de los elementos que mayor valor agrega a la aplicación, especialmente cuando se trata de explorar las simulaciones que ilustran los mecanismos fisiológicos que se llevan a cabo dentro del sistema respiratorio. De igual forma, no se puede dejar de lado la implementación de mejoras en los tiempos de ejecución.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Gaviria Uribe *et al.*, "DOCUMENTO DE RECOMENDACIONES PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA EDUCACIÓN MÉDICA EN COLOMBIA," 2017.
- [2] C. E. Bermúdez, A. Monroy Melo, L. Torregrosa A, and F. Henao Pérez, "Estado actual de la formación de residentes de cirugía general en Colombia," *Revista Colombiana de Cirugía*, vol. 21, no. 4, Revista Colombiana de Cirugía, pp. 225–239, 2006.
- [3] Instituto Nacional de Salud, "Boletín Epidemiológico Semanal," 2019.
- [4] UNESCO, "ENFOQUES ESTRATÉGICOS SOBRE LAS TICS EN LA EDUCACIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE," 2013.
- [5] M. Vidal, F. Gómez, M. li, A. M. Ruiz, and P. Iii, "Software educativos Educational softwares," 2010.
- [6] L. Ramos Pérez, J. Domínguez Lovaina, X. Gavilondo Mariño, and C. Fresno Chávez, "¿Software educativo, hipermedia o entorno educativo?," *ACIMED v.18 n.4*, 2008.
- [7] L. N. Straccia and P. A. Zanetti, "Calidad de producto software educativo - Ingeniería de Software ," 2019.
- [8] D. M. Parra Pineda, *MANUAL DE ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE*. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2003.
- [9] R. Contreras Espinosa and J. L. Eguia, "Gamificación en aulas universitarias," 2016.
- [10] F. Valda Sanchez and C. Arteaga Rivero, "Diseño e implementación de una estrategia de gamificación en una plataforma virtual de educación," 2015.
- [11] C. S. González González and A. Mora Carreño, "Técnicas de gamificación aplicadas en la docencia de Ingeniería Informática," 2015.
- [12] S. I. Fox, "Fisiología respiratoria," in *Fisiología humana, 14e*, New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017.
- [13] J. E. Hall and A. C. Guyton, *Tratado de Fisiología Médica*. 2016.
- [14] K. E. Barrett, S. M. Barman, S. Boitano, and H. L. Brooks, *Ganong. Fisiología médica, 24e*. 2012.

- [15] R. R. Roisin and N. G. Mangado, "Intercambio pulmonar de gases," in *Fisiología humana, 4e*, J. A. Fernández-Tresguerres, C. A. Ruiz, V. Cachafeiro, D. P. Cardinali, E. E. Escriche, P. E. Gil-Lozaga, V. L. Juliá, F. M. Teruel, M. R. Pardo, and J. T. Menéndez, Eds. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2016.
- [16] M. Levitzky, "Relaciones ventilación-perfusión e intercambio de gases respiratorios," in *Fisiología médica. Un enfoque por aparatos y sistemas*, H. Raff and M. Levitzky, Eds. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.
- [17] F. R. C. P. Oliver, O. Rodríguez, J. L. Marín, M. Muñoz, E. Guillén, G. Valcárcel, A. Galán, "Estudio de la oxigenación e interpretación de la gasometría arterial," no. 2014, p. 17, 2014.
- [18] J. Petersson and R. W. Glenny, "Gas exchange and ventilation-perfusion relationships in the lung," *Eur. Respir. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 1023–1041, 2014.
- [19] J. Benítez López and J. L. Pagoaga Hueso, "Introducción a MATLAB."
- [20] "Descripción del producto MATLAB - MATLAB & Simulink - MathWorks América Latina." [Online]. Available: https://la.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html. [Accessed: 22-Jan-2020].
- [21] G. Cid Espinosa, "PROGRAMACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA EN APP DESIGNER PARA EL CONTROL VECTORIAL DE MOTORES DE IMANES PERMANENTES," 2018.
- [22] "MATLAB App Designer - MATLAB." [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>. [Accessed: 22-Jan-2020].
- [23] "Overview - Synfig Animation Studio." [Online]. Available: <https://wiki.synfig.org/Doc:Overview>. [Accessed: 23-Jan-2020].
- [24] C. Córdoba Cely, "La experiencia de usuario: de la utilidad al afecto," *Iconofacto Vol 9, No. 12*, Medellín, pp. 56–70, 2012.
- [25] W. Sanchez, "La usabilidad en Ingeniería de Software: definición y características," 2011.
- [26] O. Inzunza *et al.*, "Anatomicis Network: Una Plataforma de Software Educativa basada en la Nube para Mejorar la Enseñanza de la Anatomía en la Educación Médica," *Int. J. Morphol.*, vol. 35, no. 3, pp. 1168–1177, Sep. 2017.

- [27] Y. Cruz Carballosa, I. Lic Xiomara Codorniú Pérez, and I. Dra Liset Torres Rojas III, "MicrobiologíaSoft, entrenador de Microbiología y Parasitología médica," *Rev. Cuba. Informá tica Mé dica*, no. 1, pp. 61–72, 2017.
- [28] M. Martínez Torres, M. Sierra Leyva, K. Artilés Martínez, Y. Martínez Chávez, A. Anoceto Martínez, and L. Navarro Aguirre, "FarmacOff: software educativo para la farmacología contra las afecciones oftalmológicas," *EDUMECENTRO*, vol. 7, no. 2, pp. 76–91, 2015.
- [29] M. Leba, A. Ionicã, and D. Apostu, "Educational Software based on Gamification Techniques for Medical Students," *Recent Adv. Comput. Eng. Commun. Inf. Technol.*, no. January, pp. 225–230, 2014.
- [30] D. León Medina, "Software educativo: morfofisiología del ojo humano," *Rev. Ciencias Médicas Pinar del Río*, vol. 18, no. 5, pp. 878–892, 2014.
- [31] A. Hamrol, F. Górski, D. Grajewski, and P. Zawadzki, "Virtual 3D atlas of a human body - Development of an educational medical software application," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 302–314, 2013.
- [32] L. Martín Viera, L. M. Medina Hernández, P. A. Díaz Rodríguez, C. Paz Paula, and O. González Chong, "Sistema tutorial para el estudio de la fisiología del aparato respiratorio del cuerpo humano," *Educ. Médica Super.*, vol. 18, no. 3, pp. 1–1, 2004.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

Prueba de usabilidad de aplicación para el aprendizaje de la fisiología respiratoria

En el presente documento, usted encontrará una serie de tareas y preguntas elaboradas con el ánimo de evaluar aspectos de diseño y funcionalidad de una aplicación desarrollada para el aprendizaje de la fisiología. Los datos recopilados serán de gran utilidad en el desarrollo del proyecto de investigación: “Aplicación Interactiva en Matlab para el Estudio del Balance Químico del Intercambio de Gases en el Sistema Respiratorio”, y serán tratados con confidencialidad.

Su participación es de gran importancia. Por favor lea atentamente el documento y complete la información requerida.

Sección 1: Realización de tareas. En esta sección deberá realizar cada una de las tareas descritas en la columna 1 de la tabla y completarla la información solicitada en las demás columnas. Para calcular el tiempo, utilice el siguiente cronómetro: <https://reloj-alarma.es/cronometro/>, que deberá activar cada vez que se le indique. En la columna 3 debe escribir el número de errores en los que incurrió durante la realización de la tarea, cuentan como errores: presionar un botón equivocado o ingresar a una ventana equivocada.

Tarea	Tiempo	¿Cuántos errores cometió al realizar la tarea?	¿Completó la tarea?		Preguntas
			SI	NO	
<p>1. Ejecute la App, una vez esté en la ventana de bienvenida, siga los siguientes pasos:</p> <p>1.1. Abra el link del cronómetro y dé clic en iniciar.</p> <p>1.2. En la App, haga clic en el botón <u>Crear una cuenta</u>.</p> <p>1.3. Seleccione como respuesta la primera opción en cada una de las preguntas del <u>Cuestionario Inicial</u>.</p> <p>1.4. Al terminar el cuestionario, abra el cronómetro y dé clic en parar.</p>					<p>¿Cuántos puntos obtuvo?</p> <p>¿Cuántas respuestas correctas obtuvo en total?</p>
<p>2.</p> <p>2.1. Reinicie y ponga en marcha nuevamente el cronómetro.</p> <p>2.2. En la App, de clic en <u>Continuar</u>, cuando se encuentre en la ventana de <u>Creación de usuario</u>, complete los campos de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de Usuario: Nuevo Usuario • Contraseña: Password • Rol: Paciente Ilustrado <p>2.3. Haga clic en <u>Crear usuario</u>, esto desplegará</p>					<p>¿Cuál fue el nombre de usuario que utilizó?</p>

<p>un mensaje de error, realice las modificaciones correspondientes para poder crear el usuario.</p> <p>2.4. Cuando se haya creado el usuario y se encuentre en la <u>Ventana Principal</u> de la App detenga el cronómetro.</p>				
<p>3.</p> <p>3.1. Reinicie y ponga en marcha nuevamente el cronómetro.</p> <p>3.2. En la App, dé clic en <u>Recursos</u>, después ubíquese en la sección <u>Esquemas</u> de la ventana <u>Recursos</u>, y haga clic en el botón <u>Conceptos Elementales</u>.</p> <p>3.3. Explore cada uno de los CheckBoxes de la ventana desplegada y cuando haya terminado su exploración, detenga el cronómetro.</p>				<p>¿Cuántos CheckBoxes encontró disponibles para explorar?</p>
<p>4. Regrese a la <u>Ventana Principal</u> de la App y siga los siguientes pasos:</p> <p>4.1. Reinicie y ponga en marcha nuevamente el cronómetro.</p> <p>4.2. En la App, abra la ventana donde pueda explorar el historial de preguntas, y explórela para el rol <u>Bioingeniero</u>.</p> <p>4.3. Cambie su rol a <u>Médico General</u> y regrese a la <u>Ventana Principal</u>.</p> <p>4.4. Detenga el cronómetro.</p>				<p>¿Cuántas preguntas del rol Bioingeniero están marcadas como completadas?</p>

Sección 2: Encuesta de Satisfacción. En esta sección deberá responder una serie de preguntas que permitirán determinar su nivel de satisfacción con la aplicación.

Marque una X sobre el número que mejor refleje su grado de acuerdo o desacuerdo con cada una de las siguientes afirmaciones.

Cuestionario general: After-Scenario Questionnaire (ASQ)

Preguntas 1 – 3: Nivel de satisfacción general con la realización de las tareas.

<p>1. En general, estoy satisfecho con la facilidad de realizar estas tareas.</p>																						
Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100 Acuerdo	
<p>2. En general, estoy satisfecho con la cantidad de tiempo que tomó completar estas tareas.</p>																						
Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100 Acuerdo	
<p>3. En general, estoy satisfecho con los mensajes de ayuda al completar estas tareas.</p>																						
Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100 Acuerdo	

Cuestionario específico: Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)

Preguntas 1 – 8: Nivel de satisfacción con la facilidad de uso de la aplicación al realizar las tareas.

1. En general, estoy satisfecho con lo fácil que es utilizar esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

2. Fue sencillo utilizar esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

3. Podría completar eficazmente las tareas y escenarios que utilizan esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

4. Tuve la oportunidad de completar las tareas y escenarios rápidamente.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

5. Tuve la oportunidad de completar eficazmente las tareas y escenarios que utiliza esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

6. Me sentí cómodo al utilizar la aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

7. Fue fácil aprender a utilizar esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

8. Creo que podría aprender rápidamente a usar esta aplicación por completo.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

Preguntas 9 – 10: Nivel de satisfacción con la facilidad para solucionar errores al realizar las tareas.

9. La aplicación dio mensajes de error que me dicen claramente cómo solucionar problemas.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

10. Siempre que cometí un error en la aplicación, pude salir fácil y rápidamente del problema.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

Preguntas 11 – 15: Nivel de satisfacción referente a la información suministrada por la aplicación.

11. La información proporcionada por la aplicación fue clara (por ejemplo, los mensajes que aparecen en pantalla y otros recursos).

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

12. Fue fácil encontrar la información que necesitaba.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

13. La información proporcionada por la aplicación fue fácil de entender.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

14. La información fue eficaz para ayudarme a completar las tareas y escenarios.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

15. La organización de la información que muestra la aplicación en pantalla fue clara.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

Preguntas 16 – 17: Nivel de satisfacción referente a la interfaz de la aplicación.

16. La interfaz de la aplicación fue agradable.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

17. Me gustó usar la interfaz de esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

Preguntas 18 – 19: Nivel de satisfacción referente a las funciones de la aplicación.

18. Esta aplicación tiene todas las funciones y capacidades que espero que tenga.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

19. En general, estoy satisfecho con esta aplicación.

Desacuerdo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	Acuerdo
------------	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	---------

Adaptada de (Lewis, 1995)
Muchas gracias por su colaboración.

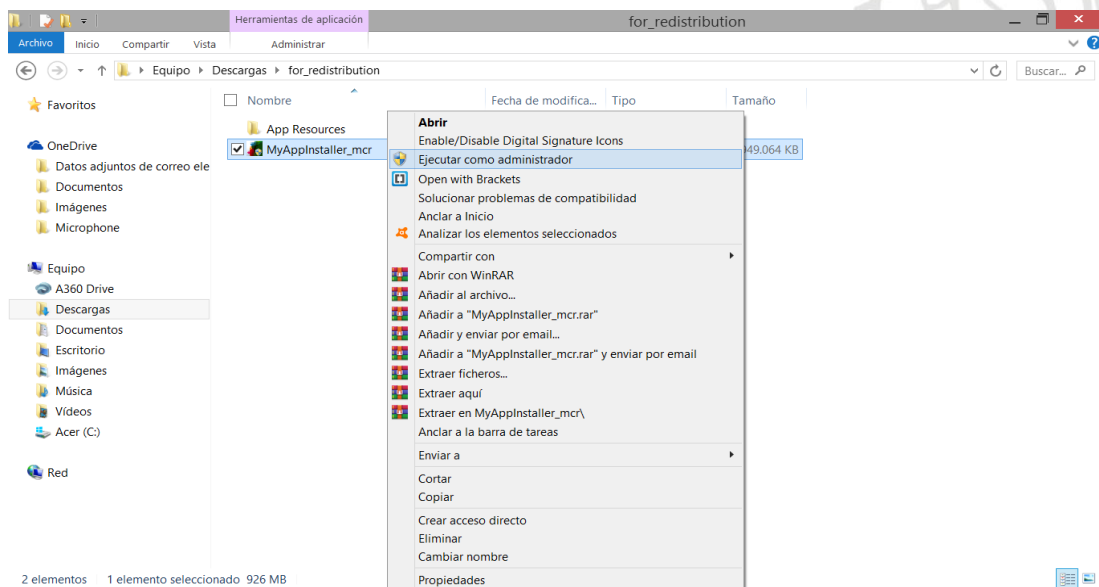
9.2. Anexo 2

GUÍA PASO A PASO PARA LA INSTALACIÓN Y LA EJECUCIÓN DE LA APLICACIÓN

Una vez haya descargado el archivo que se le compartió, descomprímalo y siga los siguientes pasos para la instalación:

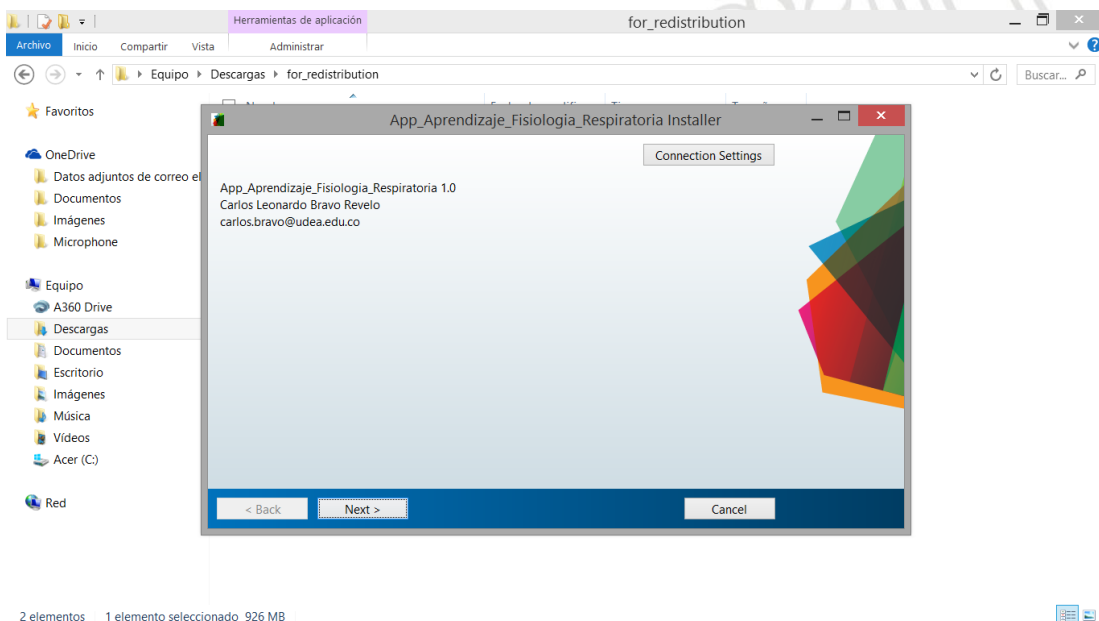
PASO 1

Abra la carpeta for redistribution y haga clic derecho sobre el archivo MyApplnstaller_mcr, luego dé clic en **Ejecutar como administrador**. Tal y como se muestra en la siguiente figura:



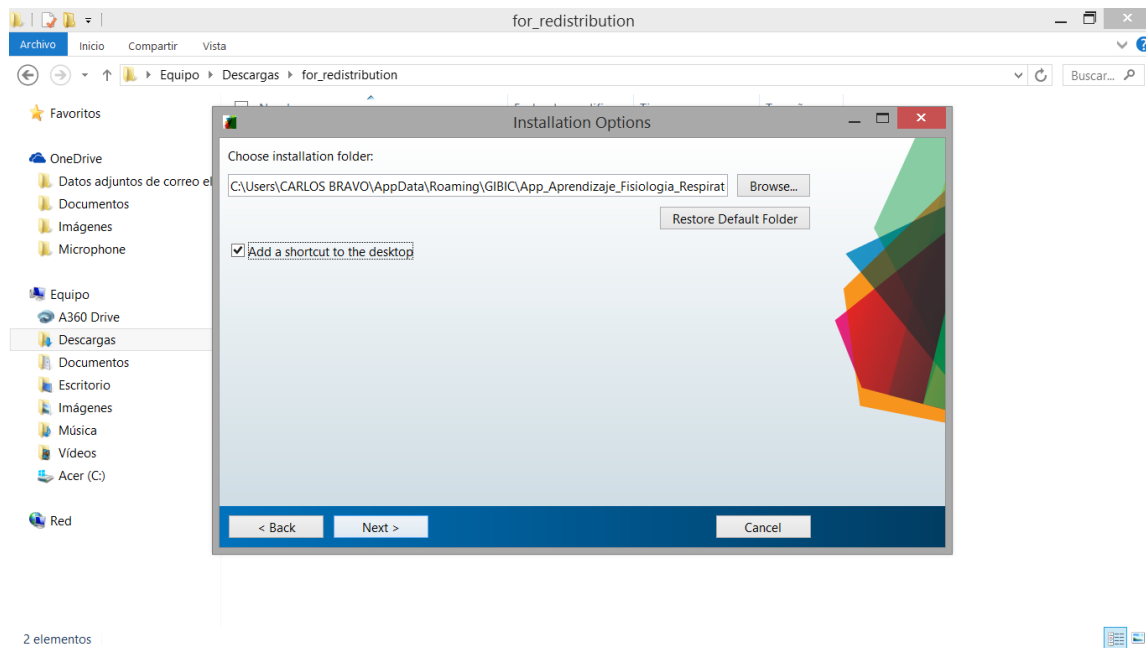
PASO 2

Les aparecerá en pantalla un recuadro en el cual deber dar clic en el botón **Sí** y esperar unos minutos hasta que se abra el instalador. Aparecerá el recuadro mostrado en la siguiente figura:



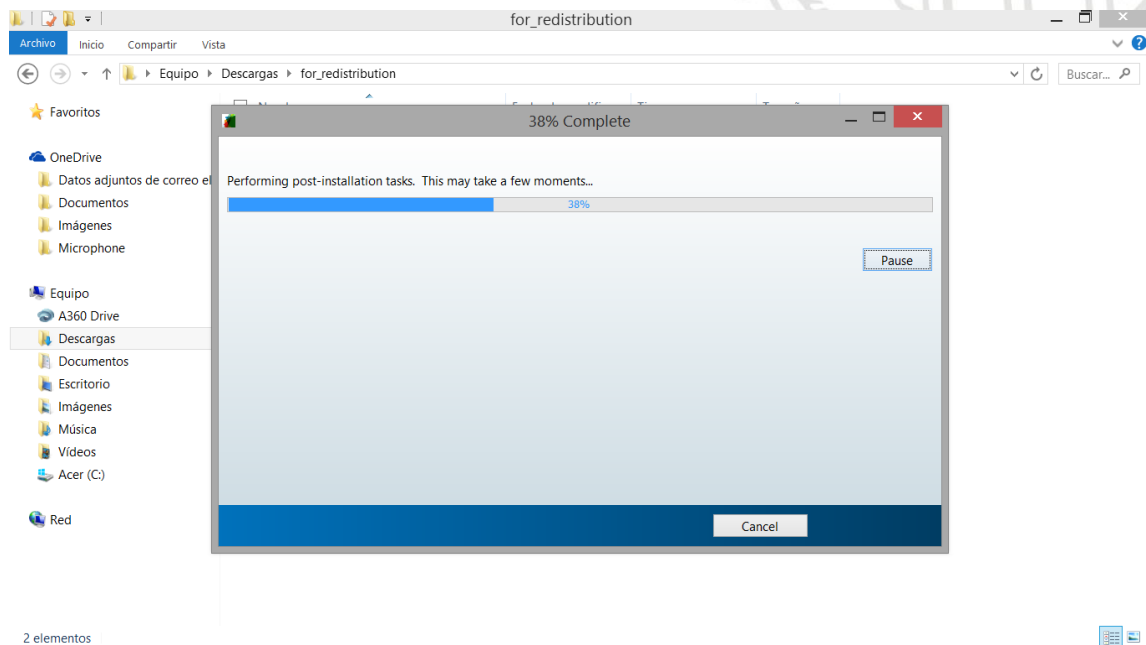
PASO 3

En el instalador dé clic en el botón **Next >**, y luego active el **checkbox** para **añadir un acceso directo** (**Add a shortcut to the desktop**). **NO CAMBIE LA RUTA DE INSTALACIÓN.**



PASO 4

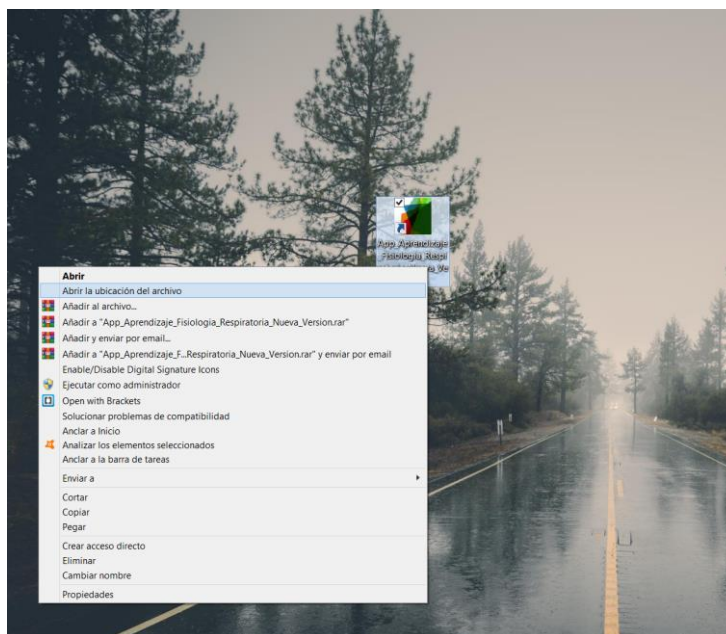
Haga clic en el botón **Next >**, luego presione el botón **Next >** nuevamente, y finalmente haga clic en el botón **Install**. Espere que culmine la instalación.



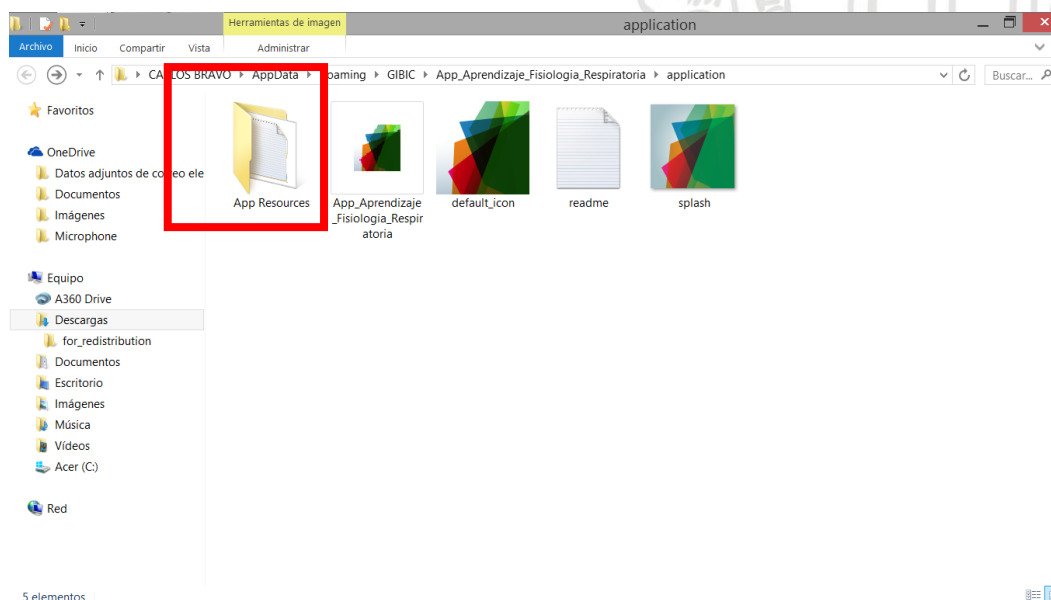
PASO 5

Lea las instrucciones que aparecen al completar la instalación y luego dé clic en el botón **Finish**.

De acuerdo con las instrucciones que aparecen al final de la instalación, copie la carpeta **App Resources** que se encuentra en la carpeta descomprimida para pegarla en la ruta de instalación de la app. Para ello diríjase al escritorio y de clic derecho sobre el acceso directo de la app, y seleccione **Abrir la ubicación del archivo**



Se abrirá la carpeta donde está instalada la aplicación, pégue allí la carpeta **App Resources**.



PASO 6

Antes de ejecutar la aplicación lea con atención la sección **6.1 Indicaciones prueba de usabilidad**

Una vez haya instalado la aplicación, antes de abrirla y empezar a utilizarla deberá realizar la prueba de usabilidad del software, para ello, diríjase al documento **Prueba de Usabilidad** y lea atentamente

las tareas que deberá realizar. La prueba la puede diligenciar en hojas impresas y luego escanearlas, o puede responderla en el mismo documento utilizando **color de fuente rojo**. Cuando haya culminado la prueba de usabilidad diríjase a la sección **6.2 Indicaciones prueba de validación** de este documento. El archivo **Prueba de Usabilidad** diligenciado deberá ser enviado al correo carlos.bravo@udea.edu.co, como asunto del correo escriba **Prueba de Usabilidad – Nombre_Apellido**

Importante:** Para ejecutar la aplicación siga los siguientes pasos: Haga clic derecho sobre el archivo App_Aprendizaje_Fisiologia_Respiratoria que se encuentra en la carpeta de instalación y ejecute como administrador, espere unos minutos a que aparezca la ventana de bienvenida de la aplicación. ***Siempre que la vaya a ejecutar hágalo desde la carpeta de instalación.

6.2 Indicaciones prueba de validación

Sección 1. Entrenamiento

Para realizar la prueba de validación deberá ejecutar la aplicación nuevamente, siguiendo las indicaciones mostradas anteriormente. Una vez se encuentre en la ventana de bienvenida, cree su usuario con su nombre y apellido utilizando el siguiente formato: **Nombre_Apellido**, use una contraseña numérica de **4 dígitos**, ese será el nombre de usuario con el que deberá realizar el entrenamiento.

Sección 2. Evaluación

Esta sección se llevará a cabo una semana después de compartida la aplicación, consiste en la resolución de un cuestionario de Google Forms que se le compartirá a su dirección de correo electrónico, y con el que se busca determinar qué tanto aprendió acerca del sistema respiratorio usando la aplicación.

Cuando haya finalizado el cuestionario, envíe adjunto al correo carlos.bravo@udea.edu.co el archivo de Excel que se ha generado en la carpeta de instalación y que está identificado con su nombre de usuario

9.3. Anexo 3

Evaluación de conocimientos para la validación de la app

1. El sistema respiratorio presenta unas propiedades físicas especializadas para llevar a cabo todas sus funciones. Los pulmones cuentan, por ejemplo, con la capacidad de ser distensibles. ¿En qué consiste la distensibilidad y en qué momento del ciclo de ventilación es fundamental esa propiedad?
 - a. Es la propiedad que les permite expandirse, y es crucial tanto en la inspiración como en la espiración.
 - b. Es la propiedad que les permite reducir el flujo respiratorio, y es crucial durante la espiración.
 - c. Es la propiedad que les permite no colapsar al final de la espiración, y es crucial para iniciar la inspiración.
 - d. Es la propiedad que les permite relajarse, y es fundamental durante la inspiración.
2. ¿Cuál de las siguientes técnicas se emplea para medir la función pulmonar de una persona?
 - a. Espirometría
 - b. Ventilación mecánica
 - c. Maniobra de Valsalva
 - d. Prueba de ejercicio cardiopulmonar
3. ¿De qué forma se puede determinar la presión total de una mezcla de gases?
 - a. Sumando las presiones parciales de cada uno de los gases constituyentes.
 - b. Elevando al cuadrado y sumando las presiones parciales de cada uno de los gases constituyentes.
 - c. Multiplicando las presiones parciales de cada uno de los gases constituyentes.
 - d. Calculando la diferencia pico a pico entre la mayor y la menor de las presiones parciales de los gases constituyentes.
4. ¿Con cuál de las siguientes expresiones matemáticas se puede calcular la presión parcial del oxígeno en el aire ambiental?
 - a. $PO_2 = \text{Presión atmosférica} * \text{Fracción porcentual de oxígeno}$
 - b. $PO_2 = \partial/\partial t(\text{Presión atmosférica} * \text{Fracción porcentual de oxígeno})$
 - c. $PO_2 = (\text{Presión atmosférica actual} - \text{Presión atmosférica al nivel del mar}) * \text{Fracción porcentual de oxígeno}$
 - d. $PO_2 = \text{Presión atmosférica} \div \text{Fracción porcentual de oxígeno}$
5. Los valores que toma la presión intrapulmonar durante el ciclo respiratorio son:
 - a. Mayores a que 0 atm durante la espiración y menores a que 0 atm durante la inspiración.
 - b. Menores que 0 atm durante la espiración y mayores que 0 atm durante la inspiración.

- c. Mayores que 0 atm tanto en la espiración como en la inspiración
 - d. Menores que 0 atm tanto en la espiración como en la inspiración
6. ¿Cuál es la implicación que puede tener un neumotórax?
- a. Colapso del pulmón debido al aumento de la presión intrapleural.
 - b. Colapso del pulmón debido a la disminución de la presión intrapleural.
 - c. Expansión descontrolada del pulmón debida al aumento de la presión intrapleural.
 - d. Expansión descontrolada del pulmón debida a la disminución de la presión intrapleural
7. ¿Qué nombre recibe el volumen de aire que no se puede espirar de los pulmones, ni durante la espiración forzada máxima?
- a. Volumen residual
 - b. Volumen de reserva espiratoria
 - c. Volumen de espacio muerto
 - d. Volumen alveolar
8. ¿En un sujeto sano qué zona de los pulmones presenta mayor relación V'/Q' ?
- a. Los vértices pulmonares.
 - b. Las bases pulmonares.
 - c. Tanto los vértices como las bases pulmonares presentan igual relación V'/Q' .
 - d. En cualquier zona del pulmón la relación V'/Q' es la misma.
9. ¿Cómo varían las presiones parciales alveolares de oxígeno y dióxido de carbono en un alveolo cuya red de capilares sufre de una alteración que impide el flujo de sangre a través de ellos?
- a. Las $P_{A}O_2$ y $P_{A}CO_2$ se igualan a las P_iO_2 y P_iCO_2 respectivamente.
 - b. La $P_{A}O_2$ se iguala a la P_vO_2 y la $P_{A}CO_2$ se iguala a la P_iCO_2 .
 - c. Las $P_{A}O_2$ y $P_{A}CO_2$ se igualan a las P_aO_2 y P_aCO_2 respectivamente.
 - d. Las $P_{A}O_2$ y $P_{A}CO_2$ se igualan a las P_vO_2 y P_vCO_2 respectivamente.
10. ¿Cómo deben ser las presiones parciales de O_2 para que se produzca el fenómeno de difusión de oxígeno entre los capilares tisulares y las células circundantes?
- a. Mayor en los capilares tisulares y menor en las células circundantes.
 - b. Menor en los capilares tisulares y mayor en las células circundantes.
 - c. Igual en los capilares tisulares y en las células circundantes.
 - d. Subatmosférica tanto en los capilares tisulares como en las células circundantes.

9.4. Anexo 4

Propuesta de preguntas

Conocimientos elementales.

- PC1. El aparato respiratorio es el encargado del intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el organismo y el medio ambiente. ¿Cuál de los siguientes el órgano principal que hace parte de este aparato?
- Tráquea
 - Hígado
 - Pulmón
 - Páncreas
- PC2. El intercambio de gases consiste en la entrada de oxígeno hacia el organismo y la expulsión de dióxido de carbono hacia el medio ¿Cuál de las siguientes es la representación del oxígeno que ingresa al organismo?
- O_2
 - O^-
 - Ox
 - OH^-
- PC3. ¿Cuál de las siguientes es la representación del dióxido de carbono que es expulsado desde el organismo hacia el medio?
- CO_2
 - DO
 - CH_4
 - DOx
- PC4. El proceso de ventilación está relacionado con la inspiración (entrada de aire hacia los pulmones) y la espiración (salida de aire hacia el medio). Este proceso genera un flujo de aire cuando una persona está respirando normalmente. Si necesitara verificar que una persona está respirando ¿Cuál de las siguientes estrategias utilizaría?
- Pondría un espejo cerca de los orificios nasales de la persona para ver si este se empaña.
 - Me fijaría si la persona tiene los ojos abierto.
 - Mediría la temperatura corporal de la persona para comprobar que no sea mayor a 37 grados Celsius.
 - Contaría el número de pulsaciones por minuto de la persona.
- PC5. El sistema respiratorio es uno de los más importantes y cumple con una de las funciones vitales del ser humano, razón por la cual, se le debe dar el cuidado necesario para mantenerlo sano y en correcto funcionamiento ¿Cuál de los siguientes es un hábito que beneficia directamente al sistema respiratorio?

- a. Cubrirse del frío y de la lluvia.
- b. Dormir al menos 8 horas diarias.
- c. Evitar el estrés
- d. Controlar el consumo de sodio.

PC6. ¿Cuál de los siguientes es un hábito perjudicial para el sistema respiratorio?

- a. Fumar.
- b. No dormir lo suficiente.
- c. Saltarse las comidas.
- d. Beber alcohol en exceso.

Conceptos básicos.

B1. El término presión de un gas hace referencia a la fuerza por unidad de área generada por las colisiones de las moléculas de ese gas con las paredes del recipiente que lo contiene. De acuerdo con lo anterior ¿De qué forma varía la presión de un gas en relación con la variación del volumen que lo contiene?

- a. Aumenta cuando el volumen es más pequeño.
- b. Aumenta cuando el volumen es más grande.
- c. No varía con cambios en el volumen.
- d. Varía independiente del volumen, pues depende de la temperatura.

B2. El término presión parcial de un gas hace referencia a la presión ejercida por las moléculas de un gas presente en una mezcla de gases que ocupa un volumen determinado, en el caso hipotético de que todo el volumen fuese ocupado por ese gas constituyente. De acuerdo con lo anterior, la presión total de una mezcla de gases es igual a:

- a. La suma de las presiones parciales de los gases que constituyen dicha mezcla.
- b. La multiplicación de las parciales de los gases que constituyen dicha mezcla.
- c. La suma de los cuadrados de las parciales de los gases que constituyen dicha mezcla.
- d. La diferencia entre la mayor y la menor de las presiones parciales de los gases que constituyen dicha mezcla.

B3. Respecto a la presión parcial de un gas ¿Cuál de las siguientes relaciones considera correcta para calcular la presión parcial de un gas constituyente del aire atmosférico?

- a. Presión parcial = Presión atmosférica * Fracción porcentual del gas
- b. Presión parcial = $\partial/\partial t$ (Presión atmosférica * Fracción porcentual del gas)
- c. Presión parcial = Presión atmosférica – Presión del vacío
- d. Presión parcial = Presión atmosférica ÷ Fracción porcentual del gas

B4. El fenómeno de difusión de un gas consiste en el movimiento neto de las moléculas de un gas entre dos zonas que lo contienen, dicho fenómeno se produce debido a la diferencia de

presiones parciales entre esas dos zonas. De acuerdo con lo anterior ¿En qué dirección considera que se da el proceso de difusión?

- a. De una zona de alta presión parcial a una zona de baja presión parcial.
- b. En dirección opuesta al gradiente de presiones.
- c. En dirección opuesta al gradiente de concentraciones.
- d. De una zona de baja presión parcial a una de alta presión parcial.

Aspectos físicos del sistema respiratorio.

PI1. Dentro del proceso de ventilación hay varios músculos implicados en el ciclo de expansión-compresión de la cavidad torácica ¿Cuál de los siguientes es el principal músculo partícipe en dicho proceso?

- a. El diafragma.
- b. Los intercostales.
- c. El pectoral mayor.
- d. El trapecio.

MG1. La cavidad pleural pulmonar está formada por dos capas: la pleura parietal, que recubre la cavidad torácica y la pleura visceral, que reviste la superficie pulmonar, en medio de ellas existe una delgada capa de líquido. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál de las siguientes considera que es la principal función de la cavidad pleural pulmonar y del líquido allí presente?

- a. Facilitar el movimiento pulmonar dentro de la cavidad torácica disminuyendo la fricción.
- b. Facilitar el movimiento pulmonar dentro de la cavidad torácica aumentando la fricción.
- c. Restringir el movimiento pulmonar dentro de la cavidad torácica disminuyendo la fricción.
- d. Restringir el movimiento pulmonar dentro de la cavidad torácica aumentando la fricción.

MG2. La presión intrapulmonar, también conocida como presión intraalveolar, corresponde a la presión generada por el aire dentro de los pulmones. Durante el ciclo respiratorio, la expansión de la cavidad torácica produce:

- a. Disminución de la presión intrapulmonar debida al aumento del volumen de los alveolos, lo que desencadena el ingreso de aire hacia los pulmones.
- b. Disminución de la presión intrapulmonar debida a la disminución del volumen de los alveolos, lo que desencadena el ingreso de aire hacia los pulmones.
- c. Aumento de la presión intrapulmonar debida al aumento del volumen de los alveolos, lo que desencadena el ingreso de aire hacia los pulmones.
- d. Aumento de la presión intrapulmonar debida a la disminución del volumen de los alveolos, lo que desencadena el ingreso de aire hacia los pulmones.

- MG3. ¿De qué forma varía la presión intrapulmonar en relación con la presión atmosférica durante el ciclo respiratorio?
- Es menor que la presión atmosférica durante la inspiración y mayor que esta durante la espiración.
 - Es mayor que la presión atmosférica durante la inspiración y menor que esta durante la espiración.
 - Es menor que la presión atmosférica tanto en la inspiración como en la espiración.
 - Es mayor que la presión atmosférica tanto en la inspiración como en la espiración.
- MG4. La presión intrapleural es el resultado de la tendencia que tienen los pulmones a colapsarse y de la tendencia que tiene la cavidad torácica a mantenerlos expandidos. Es la encargada de mantener los pulmones distendidos incluso durante la espiración y pausas respiratorias. De acuerdo con lo mencionado ¿De qué forma varía la presión intrapleural en relación con la presión atmosférica durante el ciclo respiratorio en un sujeto sano?
- Siempre es menor que la presión atmosférica.
 - Siempre es mayor que la presión atmosférica.
 - Es mayor que la presión atmosférica durante la inspiración y menor que esta durante la espiración.
 - Es menor que la presión atmosférica durante la inspiración y mayor que esta durante la espiración.
- MG5. La presión transpulmonar corresponde a la diferencia entre la presión intrapulmonar y la presión intrapleural. De acuerdo con lo anterior ¿Cómo varía la presión transpulmonar durante el ciclo respiratorio?
- Es positiva tanto en la inspiración como en la espiración.
 - Es positiva en la inspiración y negativa en la espiración.
 - Es negativa en la inspiración y positiva en la espiración.
 - Es positiva tanto en la inspiración como en la espiración.
- PI2. El término elasticidad está relacionado con la capacidad de una estructura para regresar a su forma inicial luego de expandirse. ¿Por cuál de las siguientes razones los pulmones deben tener elasticidad?
- Para que puedan disminuir su volumen sin consumir energía y ocurra la espiración.
 - Para que puedan aumentar su volumen sin consumir energía y ocurra la espiración.
 - Para que puedan disminuir su volumen sin consumir energía y ocurra la inspiración.
 - Para que puedan aumentar su volumen sin consumir energía y ocurra la inspiración.
- PI3. El concepto de distensibilidad hace referencia a la propiedad que le permite a una estructura alargarse o expandirse. De acuerdo con lo anterior ¿Por cuál de las siguientes razones los pulmones deben ser distensibles?
- Para que puedan aumentar su volumen y ocurra la inspiración.
 - Para que puedan aumentar su volumen y ocurra la espiración.

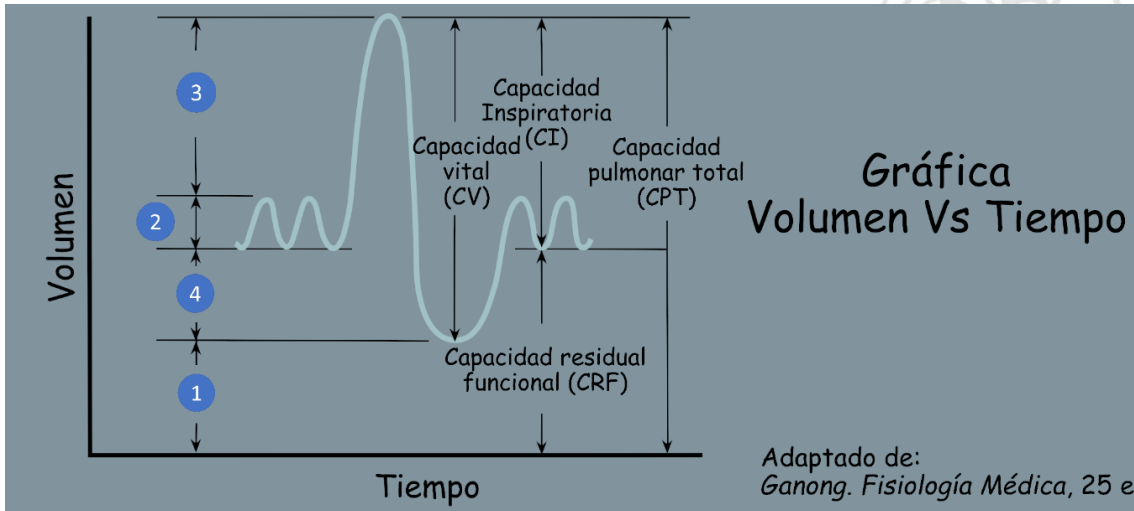
- c. Para que puedan disminuir su volumen y ocurra la inspiración.
 - d. Para que no colapsen al final de la espiración y puedan iniciar de nuevo la inspiración.
- N1. La tensión superficial que produce el líquido que se encuentra en la superficie de los alveolos es una de las fuerzas que se oponen a la distensión pulmonar, dicha tensión produce una disminución del volumen del alveolo, lo que implica un aumento en presión del aire allí contenido. De acuerdo con la Ley de Laplace, esta presión es inversamente proporcional al radio del alveolo. De acuerdo con lo anterior:
- a. La presión generada es mayor en un alveolo de menor tamaño que en uno de mayor tamaño.
 - b. La presión generada es mayor en un alveolo de mayor tamaño que en uno de menor tamaño.
 - c. La presión generada es igual en un alveolo de menor tamaño que en uno de mayor tamaño.
 - d. Ninguna de las anteriores.
- N2. Un neumotórax se genera cuando aire proveniente del exterior o de los pulmones ingresa en la cavidad pleural. ¿Cuál de las siguientes sería una implicación del ingreso de aire en dicha cavidad?
- a. Colapso del pulmón debido al aumento de la presión intrapleural.
 - b. Colapso del pulmón debido a la disminución de la presión intrapleural.
 - c. Expansión descontrolada del pulmón debida al aumento de la presión intrapleural.
 - d. Expansión descontrolada del pulmón debida a la disminución de la presión intrapleural.
- G1. El surfactante es una sustancia generada por las células alveolares tipo II y cuya función es la disminución de la tensión superficial del líquido que recubre los alveolos. El síndrome de dificultad respiratoria neonatal se produce en la mayoría los recién nacidos prematuros que no han cumplido al menos las 28 semanas de gestación debido a la incapacidad de producir líquido surfactante, lo que puede desencadenar en:
- a. Disminución de la distensibilidad pulmonar e incluso colapso de los alveolos.
 - b. Aumento de la distensibilidad pulmonar e incluso colapso de los alveolos.
 - c. Disminución de la distensibilidad pulmonar e incluso expansión descontrolada de los alveolos.
 - d. Aumento de la distensibilidad pulmonar e incluso expansión descontrolada de los alveolos.

Mecánica ventilatoria.

- PI4. La función pulmonar está directamente relacionada con el volumen de aire desplazado durante el ciclo de inspiración-espiración ¿Qué instrumentos se utilizan para medir dicha cantidad de gas inspirado y espirado?
- a. Los espirómetros.

- b. Los ventiladores mecánicos.
- c. Los ambú.
- d. Los pulsioxímetros.

La siguiente gráfica muestra la variación de los volúmenes pulmonares en función del tiempo. De acuerdo con la información mostrada en ella, responda la pregunta.



- B5. El volumen circulante, también conocido como volumen tidal, corresponde al volumen de aire que entra en los pulmones con cada inspiración (o que sale de ellos con cada espiración) durante la respiración tranquila. De acuerdo con lo anterior ¿Qué número representa dicho volumen en la gráfica anterior?
- a. 2
 - b. _
 - c. _
 - d. _
- B6. El volumen de reserva inspiratoria hace referencia al volumen de aire que ingresa a los pulmones cuando se realiza un esfuerzo inspiratorio máximo. De acuerdo con lo anterior ¿Qué número representa dicho volumen en la gráfica anterior?
- a. 3
 - b. _
 - c. _
 - d. _
- B7. El volumen de reserva espiratoria es el volumen de aire que solo se expulsa de los pulmones cuando se realiza una espiración forzada máxima. De acuerdo con lo anterior ¿Qué número representa dicho volumen en la gráfica anterior?
- a. 4

- b. _
- c. _
- d. _

B8. El volumen residual hace referencia al volumen que no se puede espirar de los pulmones. De acuerdo con lo anterior ¿Qué número representa dicho volumen en la gráfica anterior?

- a. 1
- b. _
- c. _
- d. _

E1. El volumen minuto corresponde a la cantidad de aire que entra en los pulmones por minuto durante la respiración tranquila. De acuerdo con lo anterior ¿Qué relación es la correcta para calcularlo?

- a. Volumen minuto = Volumen circulante * Frecuencia respiratoria.
- b. Volumen minuto = Volumen circulante ÷ Frecuencia respiratoria.
- c. Volumen minuto = Volumen circulante + Frecuencia respiratoria.
- d. Volumen minuto = Volumen circulante - Frecuencia respiratoria.

E2. El volumen de espacio muerto hace referencia a la cantidad de aire que ingresa al sistema respiratorio, pero que por razones anatómicas o fisiológicas no participa en el intercambio de gases. Por otro lado, la ventilación alveolar corresponde a la cantidad de aire que llega por minuto hasta los alveolos y participa en el intercambio de gases. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál de las siguientes relaciones es correcta?

- a. Ventilación alveolar = (Volumen circulante – Volumen de espacio muerto) * Frecuencia respiratoria.
- b. Ventilación alveolar = (Volumen circulante + Volumen de espacio muerto) * Frecuencia respiratoria.
- c. Ventilación alveolar = (Volumen circulante – Volumen de espacio muerto) ÷ Frecuencia respiratoria.
- d. Ventilación alveolar = (Volumen circulante + Volumen de espacio muerto) ÷ Frecuencia respiratoria.

MG6. Teniendo en cuenta la relación existente entre la ventilación alveolar y el volumen minuto, si se desea aplicar ventilación artificial a un paciente crítico a través de ventilador mecánico, con el objetivo de aumentar el volumen alveolar, se debe:

- a. Aumentar el volumen circulante.
- b. Disminuir el volumen circulante.
- c. Aumentar la frecuencia de ciclado del ventilador mecánico.
- d. Disminuir la frecuencia de ciclado del ventilador mecánico.

- B9. El movimiento de gases a través de las vías de aéreas de conducción se produce debido a gradientes de presión total, dicho mecanismo de transporte se conoce como flujo masivo o transferencia de masa por convección. De acuerdo con lo anterior, este mecanismo permite:
- Movimiento simultáneo de moléculas de diferentes gases desde una zona de alta presión hacia una de baja presión.
 - Movimiento simultaneo de moléculas de diferentes gases desde una zona de baja presión hacia una de alta presión.
 - Movimiento separado de las moléculas de cada gas desde una zona de alta presión hacia una de baja presión.
 - Movimiento separado de las moléculas de cada gas desde una zona de baja presión hacia una de alta presión.
- PI5. El espacio muerto anatómico hace referencia a aquellas estructuras del sistema respiratorio que se llenan con aire durante la respiración pero que no están diseñadas para participar en el intercambio de gases. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál de las siguientes estructuras no hace parte del espacio muerto anatómico?
- Nariz.
 - Tráquea.
 - Bronquios.
 - Alveolos.

Intercambio de gases.

- E3. El sistema respiratorio tiene como principal función asegurar un intercambio de gases entre el organismo y el ambiente, con el fin de llevar hacia las células el gas necesario para satisfacer su demanda metabólica y eliminar el gas de desecho. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál de los siguientes gases no hace parte de los tres gases esenciales que se movilizan en el ciclo respiratorio?
- Oxígeno.
 - Dióxido de carbono.
 - Nitrógeno.
 - Cloro.
- MG7. Teniendo en cuenta el fenómeno de difusión de un gas, especialmente la dirección en la que este se produce ¿Cuál es el resultado del intercambio de gases entre el aire alveolar y los capilares pulmonares?
- Aumento de la concentración de oxígeno y disminución de la concentración de dióxido de carbono en la sangre.
 - Disminución de la concentración de oxígeno y aumento de la concentración de dióxido de carbono en la sangre.
 - Aumento tanto de la concentración de oxígeno como de la concentración de dióxido de carbono en la sangre.
 - Disminución tanto de la concentración de oxígeno como de la concentración de dióxido de carbono en la sangre.

- MG8. Debido a la presión parcial ejercida por el vapor de agua a temperatura corporal dentro de los pulmones, la presión parcial de O₂ en el interior del organismo no se puede calcular con la relación $\text{Presión parcial} = \text{Fracción porcentual} \times \text{Presión atmosférica}$. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál es la relación correcta para calcular la presión parcial ejercida por las moléculas de oxígeno que se encuentran en el aire inspirado?
- $\text{PIO}_2 = (\text{Presión atmosférica} - \text{Presión parcial ejercida por el vapor de agua a temperatura corporal}) \times \text{Fracción Porcentual de O}_2$
 - $\text{PIO}_2 = (\text{Presión atmosférica} + \text{Presión parcial ejercida por el vapor de agua a temperatura corporal}) \times \text{Fracción Porcentual de O}_2$
 - $\text{PIO}_2 = (\text{Presión atmosférica} - \text{Presión parcial ejercida por el vapor de agua a temperatura corporal}) \div \text{Fracción Porcentual de O}_2$
 - $\text{PIO}_2 = (\text{Presión atmosférica} + \text{Presión parcial ejercida por el vapor de agua a temperatura corporal}) \div \text{Fracción Porcentual de O}_2$
- E4. Teniendo en cuenta que el intercambio de gases entre el alveolo y el capilar se produce debido al gradiente de presiones parciales existente entre estas dos zonas ¿Cuál de los siguientes mecanismos es el que permite dicho intercambio?
- Difusión pasiva.
 - Difusión facilitada.
 - Transporte activo.
 - Transferencia de masa por convección.
- E5. Considerando el mecanismo a través del cual se lleva a cabo el intercambio de gases entre el alveolo y el capilar ¿Cuál de los siguientes no es un factor que afecta la cantidad de gas que se mueve a través de la membrana que separa estas dos zonas?
- La cantidad de proteínas transportadoras de membrana.
 - El área superficial de la barrera.
 - El grosor de la barrera.
 - El peso molecular del gas.
- E6. El coeficiente de difusión de un gas es una cantidad relacionada con la facilidad que posee un gas para atravesar una barrera de difusión. De acuerdo con lo anterior dicha cantidad se ve incrementada en gases que poseen:
- Menor peso molecular y mayor solubilidad en la barrera de difusión.
 - Mayor peso molecular y menor solubilidad en la barrera de difusión.
 - Menor peso molecular y menor solubilidad en la barrera de difusión.
 - Mayor peso molecular y mayor solubilidad en la barrera de difusión.
- E7. Considerando que PaO₂ hace referencia a la presión parcial de oxígeno en la sangre arterial, dicha presión de oxígeno está relacionada con:
- La cantidad de moléculas de oxígeno que están disueltas en el plasma.

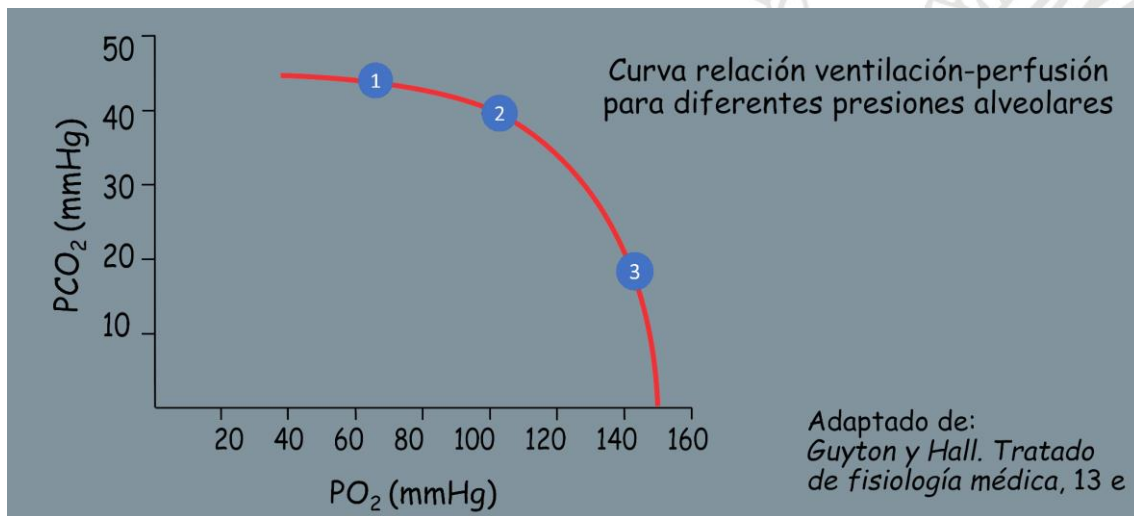
- b. La cantidad de moléculas de oxígeno que se encuentran unidas a la hemoglobina.
 - c. La cantidad total de oxígeno existente en sangre.
 - d. Ninguna de las opciones es correcta.
- MG9. Cuando se lleva a cabo el proceso de difusión a través de la membrana alveolo-capilar y las presiones parciales de oxígeno tanto alveolar (P_{AO_2}) como arterial (P_{aO_2}) entran en equilibrio, la cantidad de moléculas de oxígeno disueltas en la sangre arterial alcanza su valor máximo, dicha concentración es mayor cuando:
- a. La P_{aO_2} es más grande.
 - b. La P_{aO_2} es más pequeña.
 - c. La concentración no depende de la P_{aO_2} .
 - d. No es posible determinarlo debido a la variación de temperatura que se produce en el organismo.
- G2. Teniendo en cuenta las leyes que rigen el intercambio de dióxido de carbono y de oxígeno a través de la membrana alveolo-capilar, y considerando que los pesos moleculares de los dos gases son relativamente similares, mientras que la solubilidad del dióxido de carbono es bastante mayor que la del oxígeno ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?
- a. La velocidad de difusión del dióxido de carbono es mucho mayor que la del oxígeno.
 - b. La velocidad de difusión del oxígeno es mucho mayor que la del dióxido de carbono.
 - c. La velocidad de difusión del oxígeno es igual que la del dióxido de carbono.
 - d. Ninguna de las anteriores.

Relación Ventilación/Perfusión.

- N3. La relación ventilación-perfusión expresada como (V'/Q') es un término cuantitativo de gran importancia para determinar la eficacia del intercambio gaseoso y comprender el desequilibrio que se produce en este proceso en situaciones especiales. De acuerdo con lo anterior ¿Cuál es el efecto que se produce en las P_{AO_2} y P_{ACO_2} en un alveolo no ventilado?
- a. Las P_{AO_2} y P_{ACO_2} se igualan a las P_{vO_2} y P_{vCO_2} respectivamente.
 - b. La P_{AO_2} se iguala a la P_{vO_2} y la P_{ACO_2} se iguala a la P_{aCO_2} .
 - c. Las P_{AO_2} y P_{ACO_2} se igualan a las P_{aO_2} y P_{aCO_2} respectivamente.
 - d. La P_{AO_2} se iguala a la P_{aO_2} y la P_{ACO_2} se iguala a la P_{vCO_2} .
- N4. Teniendo en cuenta la definición de relación ventilación-perfusión ¿Cuál es el efecto que se produce en las P_{AO_2} y P_{ACO_2} en un alveolo cuya red de capilares sufren de una alteración que impide el flujo de sangre a través de ellos?
- a. Las P_{AO_2} y P_{ACO_2} se igualan a las P_{iO_2} y P_{iCO_2} respectivamente.
 - b. La P_{AO_2} se iguala a la P_{aO_2} y la P_{ACO_2} se iguala a la P_{iCO_2} .
 - c. Las P_{AO_2} y P_{ACO_2} se igualan a las P_{aO_2} y P_{aCO_2} respectivamente.
 - d. La P_{AO_2} se iguala a la P_{iO_2} y la P_{ACO_2} se iguala a la P_{aCO_2} .

- N5. Considerando que tanto la ventilación alveolar como el flujo sanguíneo a través de los capilares alveolares cambian en función de la zona pulmonar ¿Cuál de las siguientes afirmaciones considera verdadera? (Ver la gráfica desplegada)
- La relación V/Q' es mayor en los vértices pulmonares.
 - La relación V/Q' es mayor en las bases pulmonares.
 - La relación V/Q' es igual en los vértices pulmonares y en las bases pulmonares.
 - La relación V/Q' es igual a lo largo de todo el pulmón.

En la siguiente gráfica, la curva de color rojo representa la relación ventilación-perfusión para diferentes presiones parciales alveolares tanto de oxígeno como de dióxido de carbono. Teniendo en cuenta la información mostrada en ella responde la pregunta.



- G3. ¿En qué punto de la curva considera que la relación ventilación-perfusión está por debajo de lo normal y cuál puede ser la causa de dicha alteración?
- En 1, y es causada por una disminución en la ventilación alveolar.
 - En 1, y es causada por un aumento en la ventilación alveolar.
 - En 2, y es causada por una disminución en el flujo sanguíneo capilar pulmonar.
 - En 3, y es causado por una disminución en la ventilación alveolar.
- G4. ¿En qué punto de la curva considera que la relación ventilación-perfusión está por encima de lo normal y cuál puede ser la causa de dicha alteración?
- En 3, y es causada por una disminución en el flujo sanguíneo capilar pulmonar.
 - En 3, y es causada por un aumento en el flujo sanguíneo capilar pulmonar.
 - En 2, y es causada por una disminución en la ventilación alveolar.
 - En 1, y es causado por un aumento en la ventilación alveolar.
- G5. ¿En qué punto de la curva considera que la relación ventilación-perfusión se encuentra en su valor normal?

- a. En 2
- b. En 1
- c. En 3
- d. Ninguno de los puntos representa el valor normal de la relación V/Q.

Transporte de gases a los tejidos

E8. Del total de oxígeno que se lleva a través del torrente sanguíneo hacia los tejidos, la mayor parte se transporta unido a la hemoglobina. De acuerdo con lo anterior ¿Cuántas moléculas de oxígeno se pueden transportar en cada molécula de hemoglobina?

- a. 4
- b. 8
- c. 2
- d. 6

E9. ¿Qué nombre recibe la hemoglobina cuando se combina con el oxígeno proveniente de los alveolos?

- a. Oxihemoglobina
- b. Desoxihemoglobina
- c. Carbaminohemoglobina
- d. Carboxihemoglobina

N6. Teniendo en cuenta la curva de disociación de oxihemoglobina, que representa la cantidad de oxígeno que se encuentra unido a la hemoglobina ¿Cuál de las siguientes afirmaciones considera verdadera?

- a. La hemoglobina presenta mayor afinidad por el oxígeno cuando la presión parcial de O₂ es alta.
- b. La hemoglobina presenta mayor afinidad por el oxígeno cuando la presión parcial de O₂ es baja.
- c. La hemoglobina presenta mayor afinidad por el oxígeno cuando la presión parcial de CO₂ es alta.
- d. La afinidad de la hemoglobina por el oxígeno no depende de la presión parcial de O₂.

N7. Cuando la sangre oxigenada llega a los capilares tisulares, se produce la difusión de las moléculas de oxígeno hacia las células de los tejidos circundantes. Teniendo en cuenta lo anterior ¿Cómo deben ser las presiones parciales de O₂ en esas dos zonas, para que se lleve a cabo dicho fenómeno?

- e. Mayor en los capilares tisulares y menor en las células circundantes.
- f. Menor en los capilares tisulares y mayor en las células circundantes.
- g. Igual en los capilares tisulares y en las células circundantes.
- h. Subatmosférica tanto en los capilares tisulares como en las células circundantes.

- N8. Cuando el oxígeno es metabolizado en las células, se producen moléculas de dióxido de carbono que deben difundirse hacia la sangre de los capilares tisulares, para luego ser llevadas hacia los pulmones y expulsadas al medio. ¿Cómo deben ser las presiones parciales de CO₂ para que se lleve a cabo de proceso de difusión?
- Mayor en las células circundantes y menor en los capilares tisulares.
 - Menor en las células circundantes y mayor en los capilares tisulares.
 - Igual en los capilares tisulares y en las células circundantes.
 - Mayores que la presión atmosférica tanto en las células circundantes como en los capilares tisulares.
- N9. Teniendo en cuenta que el dióxido de carbono difunde aproximadamente 20 veces más rápido que el oxígeno ¿Cómo deben ser las diferencias de presión necesarias para que se produzca la difusión de CO₂ con relación a las de O₂?
- Siempre menores que las diferencias de presión de O₂.
 - Siempre mayores que las diferencias de presión de O₂.
 - Igual a las diferencias de presión de O₂.
 - Mayores en algunos casos y menores en otros.
- G6. ¿Cuál de las siguientes no es una de las formas en las que el dióxido de carbono viaja en la sangre hacia los alveolos?
- Unido a los glóbulos blancos.
 - Disuelto en el plasma sanguíneo.
 - En forma de iones bicarbonato.
 - En forma de Carbaminohemoglobina.
- G7. ¿Cuáles de los siguientes factores hacen que la hemoglobina tenga menor afinidad hacia el oxígeno?
- La disminución del pH y el aumento del CO₂.
 - El aumento del pH y el aumento del CO₂.
 - El aumento del pH y la disminución del CO₂.
 - La disminución de la temperatura.
- G8. ¿Cuáles de los siguientes factores hacen que ocurra una menor liberación de O₂ desde la sangre hacia los tejidos?
- El aumento del pH y la disminución de la temperatura.
 - El aumento del pH y el aumento del CO₂.
 - El aumento del pH y el aumento de la temperatura.
 - El aumento del CO₂.
- G9. Cuando se plantea que el oxígeno, debido a factores externos, ha aumentado su afinidad hacia la hemoglobina, se tiene como consecuencia que:

- a. Exista una menor liberación de O₂ desde hacia la sangre a los tejidos.
- b. Exista una mayor liberación de O₂ desde hacia la sangre a los tejidos.
- c. No haya modificación en la liberación de O₂ desde hacia la sangre a los tejidos.
- d. Ninguna de las respuestas es correcta.

9.5. Anexo 5

Enlaces videos del funcionamiento de la aplicación

- 9.5.1. <https://www.youtube.com/watch?v=1xyS73KghEs>
- 9.5.2. <https://www.youtube.com/watch?v=hA2Cu9k25WY>
- 9.5.3. <https://www.youtube.com/watch?v=iq1VgUXql2k>
- 9.5.4. <https://www.youtube.com/watch?v=gM5LQMGKEqw>

