



# SOFTWARE INTEGRADO A UN INSPIRÓMETRO PARA EXPANSIÓN PULMONAR EN PACIENTES CON COVID-19

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
**Máster en Ingeniería de Software**

Diana Carolina Muñoz Hurtado

Director  
Juan Carlos Martínez Arias

**Maestría en Ingeniería de Software**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Pontificia Universidad Javeriana - Cali**

**Junio 2021**



## Resumen

## Abstract

## Glosario

- **Frecuencia Respiratoria:** Número de respiraciones que realiza un ser vivo en un periodo específico [1].
- **Volumen Respiratorio:** Cantidad de aire inhalado, exhalado y almacenado dentro de los pulmones en un momento dado [2].
- **Saturación de Oxígeno:** La saturación de oxígeno, es la cantidad de oxígeno en porcentaje unido a la hemoglobina en los glóbulos rojos [3].
- **Diagnostico médico:** Diagnóstico basado en información de fuentes tales como hallazgos de un examen físico, entrevista con el paciente o su familia o ambos, historial médico del paciente y su familia, y hallazgos clínicos según lo informado por pruebas de laboratorio y estudios radiológicos [4].
- **Evaluación médica:** El propósito de la evaluación es determinar si se han cumplido los criterios de resultado y cómo se podría mejorar la atención al paciente [4].
- **Terapeuta respiratorio:** Un profesional de rehabilitación que promueve una salud óptima mediante la aplicación de principios científicos para prevenir, identificar, evaluar, corregir o aliviar pacientes que sufren de problemas y afecciones cardio-pulmonares o respiratorios agudos o crónicos [4].

# Índice

	Página
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos, alcance y contribuciones</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivos Específicos . . . . .	2
2.2. Alcances . . . . .	2
<b>3. Justificación</b>	<b>3</b>
<b>4. Marco de Referencia</b>	<b>4</b>
4.1. Marco Conceptual . . . . .	4
4.1.1. Teleconsulta: . . . . .	4
4.1.2. Incentivo Respiratorio . . . . .	4
4.1.3. Proceso de espirometría . . . . .	4
4.1.4. Teoría de solución de problemas inventivos (TRIZ) . . . . .	5
4.2. Marco Teórico . . . . .	5
4.2.1. Fisioterapia Respiratoria . . . . .	5
4.2.2. Manejo de usuarios en Fisioterapia . . . . .	6
4.2.3. Sesión de Fisioterapia . . . . .	6
4.2.4. Ejercicios de Fisioterapia . . . . .	6
4.2.5. Tratamiento de datos . . . . .	7
4.2.6. Historial clínico . . . . .	8
4.2.7. Visualización de datos . . . . .	8

4.2.8. Resultados de una Terapia Respiratoria . . . . .	8
<b>5. Metodología de la investigación</b>	<b>8</b>
5.1. Sistema presente . . . . .	8
5.1.1. Ventana 1 . . . . .	8
5.1.2. Ventana 2 . . . . .	8
5.1.3. Ventana 3 . . . . .	9
5.2. Sistema pasado . . . . .	9
5.2.1. Ventana 4 . . . . .	9
5.2.2. Ventana 5 . . . . .	9
5.2.3. Ventana 6 . . . . .	10
5.3. Sistema futuro . . . . .	10
5.3.1. Ventana 7 . . . . .	10
5.3.2. Ventana 8 . . . . .	10
5.3.3. Ventana 9 . . . . .	10
<b>6. Proceso de Ingeniería de Software</b>	<b>11</b>
6.1. Definición y especificación de requisitos . . . . .	11
6.1.1. Diagrama de contexto . . . . .	11
6.1.2. Técnicas de obtención de requisitos . . . . .	12
6.1.3. Definición de requisitos funcionales . . . . .	12
6.1.4. Definición de requisitos no funcionales . . . . .	15
6.1.5. Definición de requisitos tipo restricción . . . . .	16
6.2. Arquitectura del sistema . . . . .	17

<b>7. Desarrollo del Sistema</b>	<b>18</b>
<b>8. Análisis de Resultados</b>	<b>18</b>
8.1. Análisis estadístico de datos . . . . .	18
<b>9. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>18</b>
<b>10.Trabajos Futuros</b>	<b>18</b>
<b>11.Anexos</b>	<b>20</b>



## Índice de figuras

1.	Metodología de las nueva ventanas de TRIZ . . . . .	5
2.	Proceso de manejo de pacientes y usuarios por terapeuta. <i>Guía para la práctica fisioterapéutica</i> [5]. . . . .	6
3.	Medidas estándar de volumen pulmonar [6]. . . . .	7
4.	Diagrama de contexto de sistema software de capacidad pulmonar. . . . .	11
5.	Arquitectura de primer nivel del sistema de terapia respiratoria . . . . .	17
6.	Arquitectura de segundo nivel del sistema de terapia respiratoria . . . . .	17

# 1. Introducción

El nuevo coronavirus SARS-CoV-2, que provoca la enfermedad del COVID-19, continúa extendiéndose por el planeta, a noviembre del 2020 se registran 62,4 millones de casos en el mundo de los cuales los países con la mayor proporción eran Estados Unidos y la India con un 20.25 % y 16.83 % respectivamente [7]. El virus SARS-CoV-2 es el séptimo coronavirus conocido que infecta a los seres humanos; en las personas generalmente el coronavirus causa síntomas leves, como tos o resfriado, pero el nuevo coronavirus ha provocado enfermedades respiratorias más graves y muertes en todo el mundo [8]. Considerando que actualmente no existen tratamientos específicos para COVID-19, las compañías farmacéuticas están llevando a cabo estudios clínicos para desarrollar nuevos medicamentos y los grupos de investigación están buscando, con una variedad de experimentos, los resultados de un tratamiento efectivo [9].

Colombia representa un 2.25 % de los casos en todo el mundo [9], considerando que hay un aumento de casos de COVID-19 que sumado a la cuarentena obligatoria generan un incremento en la demanda de consultas médicas de atención primaria presencial, las diferentes instituciones en Colombia han adoptado la modalidad virtual, a través del uso de plataformas digitales con servicios de telesalud, las cuales han complementado las destrezas de la presencialidad y con ello han logrado suplir las necesidades en este sector [10]. Sin embargo, el país no ha alcanzado un desarrollo significativo en estas nuevas tecnologías debido a que no todas las personas y los grupos de trabajo disponen de las herramientas digitales necesarias para cumplir con las actividades requeridas.

La concepción de proyectos en telemedicina es un desafío con un buen futuro en Colombia, el Ministerio de Salud y Protección social ha establecido disposiciones para la telesalud y parámetros para la práctica de la telemedicina facilitando el acceso y la prestación de servicios de salud en cualquiera de sus fases (promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación) [9].

Dado que la integración de sistemas de telemedicina ha tenido un desarrollo significativo en diferentes países donde se ha evidenciado un uso exponencial de estos sistemas durante la crisis del COVID-19 [11], se presenta una oportunidad de aplicar tecnologías de comunicación en el sistema general de salud colombiano, para lo cual es necesario desarrollar productos de apoyo para fortalecer directamente el área, pues la asistencia médica virtual durante la pandemia es una forma segura y efectiva de evaluar, guiando el diagnóstico y el tratamiento de un paciente, minimizando entonces, el riesgo de transmisión de la enfermedad.

En este proyecto de grado se desarrollará un software que se integrará a un inspirómetro electrónico y el cual es planteado en conjunto con un equipo de trabajo que está conformado por personas de diferentes áreas de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, como la ingeniería electrónica, las ciencias de la salud, el diseño industrial y el área de ingeniería de software donde se enfocará el funcionamiento del producto y la comunicación entre las partes interesadas, es decir, el especialista y el paciente.

## **2. Objetivos, alcance y contribuciones**

### **Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de software integrado a un dispositivo electrónico inspirómetro remoto que permita programar actividades de terapia respiratoria requeridas por el profesional de la salud y a su vez, permita registrar los datos de los pacientes mientras realizan las actividades establecidas.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Explorar la literatura sobre las prácticas de software relacionadas con un inspirómetro y la información que se transmite desde el dispositivo, reconocer las etapas de funcionamiento del sistema a desarrollar para llevar a cabo una terapia respiratoria de re-expansión pulmonar.
- Definir los requerimientos del sistema mediante la teoría de solución de problemas inventivos metodología TRIZ y la tecnología de gamificación, así como las técnicas de trabajo e integración de datos para el sistema software.
- Diseñar e implementar un sistema software que se integre con un inspirómetro electrónico que permita adaptarse al proceso de respiración de un paciente y que incorpore terapias de re-expansión pulmonar para la recuperación y mantenimiento de volúmenes y capacidades pulmonares.
- Validar el funcionamiento del sistema diseñado con personas adultas sin alteración de la función pulmonar.

### **2.2. Alcances**

Prototipo software que se encargará de impartir las instrucciones al paciente para la realización de su terapia respiratoria, a partir de los datos que genera el paciente en la utilización del inspirómetro electrónico, este dispositivo permitirá registrar datos durante una terapia utilizando tecnologías de gamificación para brindar soluciones de acompañamiento remoto.

### 3. Justificación

Tras el desencadenamiento del COVID-19 como pandemia y el distanciamiento social obligatorio, se redujo significativamente el acceso a los servicios de rehabilitación. Por tal razón, el sector de salud en Colombia ha buscado asignar y validar tratamientos efectivos de manera remota con la telemedicina, para la cual hace uso de las tecnologías al programar citas virtuales, atenciones mediante videollamadas, chatbots entre otras soluciones que han complementado el servicio que brinda un terapeuta, además de brindar información indicada para personal que lo requiera, con ello, se ha evidenciado también que las tecnologías de la información permiten ampliar cobertura de los servicios de salud y disminuir tanto la desigualdad en el acceso a esos servicios como en los costos [12].

Por lo anterior, es necesario contar con un producto de apoyo que permita trazar un avance a los servicios que se están brindando en telemedicina y a que su vez pueda cubrir las nuevas necesidades de acceso remoto que han surgido con la utilización de tecnologías de la información en el sector de salud. Con la ejecución de este proyecto se podrán evaluar y aplicar procedimientos de terapias respiratorias mediante monitorización de usuarios a distancia y realizar con ello el registro de datos que permitirán valorar su estado de salud, además se pretende incentivar al paciente, al implementar una terapia a través de estrategias de gamificación lo cual ayudan en la disposición y atención.

## 4. Marco de Referencia

### 4.1. Marco Conceptual

El sustento conceptual de este trabajo está dado por ...

#### 4.1.1. Teleconsulta:

#### 4.1.2. Incentivo Respiratorio

Un sistema que permite determinar el flujo o el volumen de aire inspirado y brinda información al paciente sobre su magnitud. Entre los beneficios atribuidos a la inspirometría incentiva se encuentran [13]: 1. Aumento de la capacidad inspiratoria, 2. Incremento de la presión transpulmonar, 3. Fortalecimiento del diafragma y de los músculos intercostales internos, 4. Mejoramiento del rendimiento muscular inspiratorio, 5. Mejoramiento del mecanismo de la tos, 6. Mejoramiento de la atelectasia al revertirse las áreas alveolares colapsadas, 7. Mejoramiento de la coordinación neuromuscular, ya que los pacientes pueden conscientemente respirar de manera profunda y lenta, 8. Reducción de la hipoxemia al fomentarse una inspiración profunda, sostenida, lenta y prolongada, lo cual, provoca una presión máxima en los alvéolos y una inhalación máxima y h. Mantenimiento de la permeabilidad de las vías aéreas más pequeñas. Actualmente, la efectividad de la fisioterapia incentiva depende de una instrucción adecuada al paciente y de la supervisión por parte de un profesional de salud sobre la ejecución de la terapia respiratoria [14] puesto que no se encuentran disponibles los sistemas incentivos que lleven registro cuantitativo del desempeño de la misma.

#### 4.1.3. Proceso de espirometría

Se mide la forma como un paciente inhala o exhala volúmenes de aire en función del tiempo. La inspiración es el proceso en el cual hay ampliación de la caja torácica y de los pulmones y así ingresa aire u otra sustancia gaseosa a los pulmones. Los equipos empleados en el monitoreo del flujo de aire tanto en la inspiración como en la espiración, utilizan dispositivos para la medición de la variable física conocidos como transductores de presión. Según el principio de transducción de presión, los dispositivos empleados para determinar el flujo respiratorio se clasifican en cuatro categorías: neumotacógrafo, tipo turbina, tipo anemómetro y tipo ultrasónico con diferentes principios de operación [15].

#### 4.1.4. Teoría de solución de problemas inventivos (TRIZ)

Un método conocido como teoría para resolver problemas de inventiva, esta metodología cuenta con un conjunto de herramientas basado en modelos para la generación de ideas y soluciones innovadoras. Para el diseño de un producto centrado en el usuario se considera, ampliar la visión del problema, realizar un análisis sistémico del problema, identificar las restricciones de un nuevo producto y ampliar el campo de búsqueda de las soluciones [16]. Dentro de las estrategias que se encuentran en la literatura para el análisis de diseño de productos, el uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos, TRIZ, es de utilidad en el diseño de nuevos productos en un amplio abanico de áreas incluido el campo de la salud [17]. Una de las ventajas que presenta TRIZ frente a otras estrategias de ideación, es su orientación a la ciencia y la tecnología, lo cual permite que la etapa de convergencia de los procesos de diseño se pueda realizar de manera ágil y estructurada [18].



Figura 1: Metodología de las nueva ventanas de TRIZ

## 4.2. Marco Teórico

### 4.2.1. Fisioterapia Respiratoria

Son procedimientos físicos utilizados en el tratamiento de pacientes con una incapacidad, enfermedad o lesión del aparato respiratorio, con el fin de alcanzar y mantener la rehabilitación funcional y evitar una disfunción, para este proyecto la idea principal es desarrollar un sistema que realice una técnica para rehabilitar la función pulmonar y prevenir complicaciones presentes en el paciente a tratar.

#### 4.2.2. Manejo de usuarios en Fisioterapia

Los fisioterapias desempeñan roles de atención primaria para atender las necesidades de los pacientes, estos roles lo desempeñan en función de prestar servicios de tratamiento respiratorio donde se puedan obtener resultados de los mismos, a partir de ello se deriva un modelo de manejo de pacientes estándar que contiene los elementos: examen, evaluación, diagnostico, pronostico, intervención y respuestas

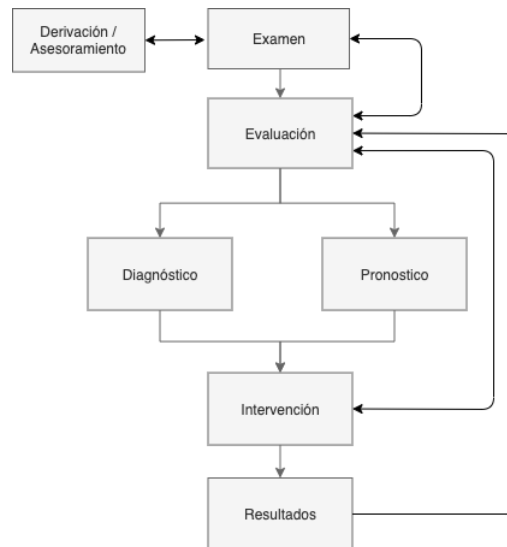


Figura 2: Proceso de manejo de pacientes y usuarios por terapeuta. *Guía para la práctica fisioterapéutica* [5].

#### 4.2.3. Sesión de Fisioterapia

Incluye los ejercicios, resultados, intervención y realimentación necesaria que un terapia de rehabilitación pulmonar de un paciente necesita.

#### 4.2.4. Ejercicios de Fisioterapia

Las técnicas de re-expansión pulmonar son utilizadas por los fisioterapeutas para mejorar los volúmenes y capacidades pulmonares de los pacientes. Para entender las técnicas es importante conocer los volúmenes y capacidades pulmonares, como lo son(1)(2):

- Volumen de reserva inspiratoria (VIR) : volumen que se puede respirar después de una inspiración normal, 3000 ml.
- Volumen corriente (TV): volumen inspirado y espirado con cada respiración, 500 ml.

- Volumen de reserva espiratoria (ERV): volumen que puede expirar después de una respiración normal, 1100ml.
- Volumen residual (RV) : volumen que queda en el pulmón después de la espiración máxima (no se puede medir mediante espirometría), 1200ml.
- Capacidad inspiratoria (IC) : volumen que se puede respirar después de una exhalación normal, 3500 ml.
- Capacidad residual funcional (CRF) : volumen que queda en los pulmones después de la espiración normal, 2300 ml.
- Capacidad vital (VC) : volumen máximo que puede expirar después de la inspiración máxima, 4600 ml.
- Capacidad pulmonar total (TLC) : volumen de aire en los pulmones después de la inspiración máxima, 6000 ml.

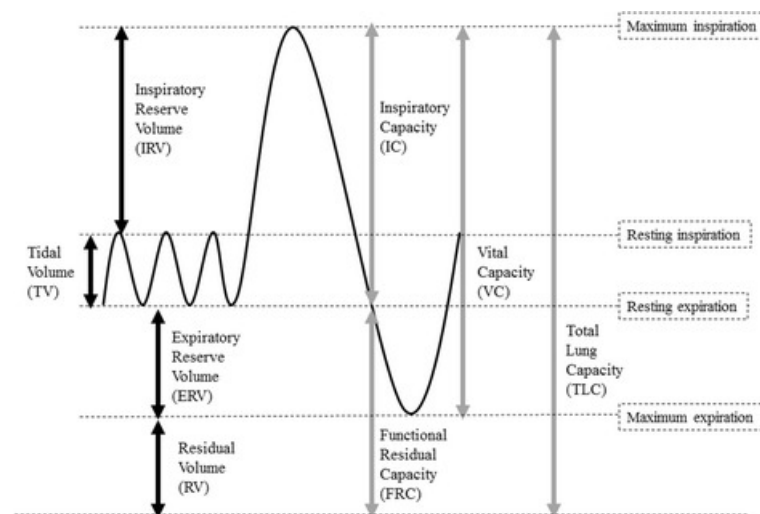


Figura 3: Medidas estándar de volumen pulmonar [6].

#### 4.2.5. Tratamiento de datos

Monitorear la frecuencia respiratoria, volumen y saturación de oxígeno



#### **4.2.6. Historial clínico**

#### **4.2.7. Visualización de datos**

#### **4.2.8. Resultados de una Terapia Respiratoria**

Cada paciente o participante de una terapia respiratoria debe tener realimentación de los resultados

### **5. Metodología de la investigación**

La metodología considerada para el desarrollo del proyecto es TRIZ que nos permite clasificar los atributos y características para definir los requerimientos del sistema inspirómetro integrado como define anteriormente, esta metodología se desarrolla en conjunto con el grupo de investigación de la Pontificia Universidad Javeriana Cali donde se integran áreas de fisioterapia, ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica, diseño, ingeniería de software para desarrollar un sistema que permita realizar una terapia respiratoria y tenga realimentación visual para los usuarios, se plantea entonces los atributos del sistema en pasado, presente y futuro en nueve ventanas.

#### **5.1. Sistema presente**

##### **5.1.1. Ventana 1**

En esta ventana se analizaron los diferentes elementos de ayuda para la recuperación pulmonar de un paciente con sistemas actuales, se identifica que estos sistemas siempre van acompañados de una terapia o denominada fisioterapia respiratoria, que como se explico anteriormente, es la encargada de definir que tipo de terapia es la mejor para cada complicación respiratoria.

##### **5.1.2. Ventana 2**

Se realiza el análisis del supersistema, lo cual es en contexto donde se describen los elementos de ayuda para la recuperación de la capacidad pulmonar, en esta ventana se analizan las entidades o empresas que trabajan en la recuperación de la salud respiratoria, como también otros sectores relacionados con complicaciones respiratorias.

En medicina, se utiliza respiración asistida en procesamiento quirúrgicos, donde se tienen en cuenta también técnicas respiratorias y fármacos para personas con enfermedades pulmonares.

En industria, existen empresas que realizan el diseño y construcción de áreas limpias, manejo y control de ambientes hospitalarios y farmacéuticos. En lo social, esta directamente relacionado con el contagio de COVID por las personas que necesitan un tratamiento respiratorio asistido.

### **5.1.3. Ventana 3**

Se realiza el análisis del subsistema, donde se muestra de que están compuestos los diferentes elementos investigados asociados a la recuperación de la capacidad pulmonar. Actualmente, se utilizan técnicas para la recuperación pulmonar de las personas, que se basan en una serie de instrucciones que el paciente debe seguir de acuerdo a la recomendación médica. Con un inspirómetro un paciente debe inhalar a través de la boquilla, lo que hace que la presión caiga dentro del dispositivo y, a su vez, hace que las bolas se eleven en cada uno de los tubos de flujo. Cada tubo está calibrado para que el desplazamiento completo de la pelota sea igual a un flujo específico, que se indica en la pared del tubo. El número de bolas y el nivel al que se elevan depende del nivel de flujo alcanzado.

Durante el análisis de la metodologías utilizadas en sistemas actuales, se identifica que una terapia respiratoria no se realiza adecuadamente debido a la falta de adherencia hacia la actividad por parte del paciente, además no existe un seguimiento con datos registrados que el terapeuta pueda evaluar, no hay un registro tampoco de un histórico de la evolución del paciente quien requiere principalmente indicaciones previas del terapeuta respiratorio.

## **5.2. Sistema pasado**

### **5.2.1. Ventana 4**

La rehabilitación pulmonar abarca desde los comienzos del arte médico, con ello, las principales estrategias utilizadas para disminuir el impacto de la enfermedad pulmonar crónica, las terapias recomendadas eran el reposo, evitar situaciones de esfuerzo físico o por el contrario entrenamientos físico con miras a rehabilitar los pacientes con el máximo posible de alcance de su sistema pulmonar y después de ello, también se desarrollaron técnicas aplicando los principios científicos entre los cuales vemos el entrenamiento muscular y oxígeno-terapia crónica domiciliaria.

### **5.2.2. Ventana 5**

En el pasado no se tenía la conciencia de prevenir ciertos tipos de enfermedades como las respiratorias, de hecho no existían grandes compañías dedicadas al cuidado o rehabilitación de la capacidad pulmonar como las hay hoy en día. Solo existían esfuerzos e investigaciones individuales cuyas conclusiones permitieron que se desarrolle la industria que actualmente existe.

### **5.2.3. Ventana 6**

Debido a que el pasado no existía una gran preocupación sobre enfermedades respiratorias y en general como las hay hoy en día, no había dispositivos que ayudaran a la recuperación pulmonar de las personas, salvo ejercicios de respiración que aún se usan en la fisioterapia respiratoria.

## **5.3. Sistema futuro**

### **5.3.1. Ventana 7**

En cuanto al futuro se entra al plano imaginario, en este caso el contexto en el que se encontraran los elementos de recuperación pulmonar. En medicina uno de los aspectos a mejorar es la de la reducción de tiempos de convalecencia en los hospitales porque minimiza costos tanto al hospital como al paciente además abre espacio para pacientes con otras patologías y una de las tendencias para lograr esto es la fisioterapia domiciliaria, que el paciente realice su terapia desde la comodidad de su casa y no tenga de desplazarse hasta el hospital. Desde lo social y ambiental, estos temas van de la mano debido a que en algunos países no se está trabajando lo suficiente en lo ambiental lo cual significa un aumento en la contaminación del aire que respiran las personas sobre todo en las grandes ciudades, lo cual también aumentaría la probabilidad de adquirir algunas afección respiratoria y sin tratamiento podría aumentar la tasa de mortalidad por estas causas.

### **5.3.2. Ventana 8**

El sistema ideado deberá usar algoritmos de programación para el envío y recepción de datos además de generar un reporte de datos de lo realizado por el paciente en el cual el profesional de la salud analizará el rendimiento del paciente.

### **5.3.3. Ventana 9**

El software del inspirómetro deberá ser capaz de ejecutarse en el sistema operativo más usado en el mundo, con el fin de tener mayores posibilidades de uso. Además deberá tener una interfaz gráfica intuitiva para que tanto el paciente como el terapeuta puedan usarlo de manera fácil y adecuada. Dicha interfaz deberá permitir modificar los límites de trabajo por parte del terapeuta con el fin de adaptar la terapia a los pacientes con mayores dificultades respiratorias.

Dadas las características y atributos de los sistemas en pasado y presente, el sistema futuro, debe permitir que el paciente se pueda concentrar en su terapia y hacerla conscientemente, permitir adquirir datos, codificar, presentar y almacenar la información de desempeño de la terapia tanto al paciente como al terapeuta mediante una conexión remota, debe permitir la

administración de usuarios, una plataforma con operaciones intuitivas para la programación de ejercicios para cada sesión y que permita la prescripción remoto de los mismos.

## 6. Proceso de Ingeniería de Software

Bajo los atributos identificados con la metodología TRIZ se desarrollan a continuación los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema software propuesto.

### 6.1. Definición y especificación de requisitos

En esta sección se detallan los procesos realizados para obtener los requisitos del sistema, la estructura y documentación de los requisitos, validación y priorización de estos.

#### 6.1.1. Diagrama de contexto

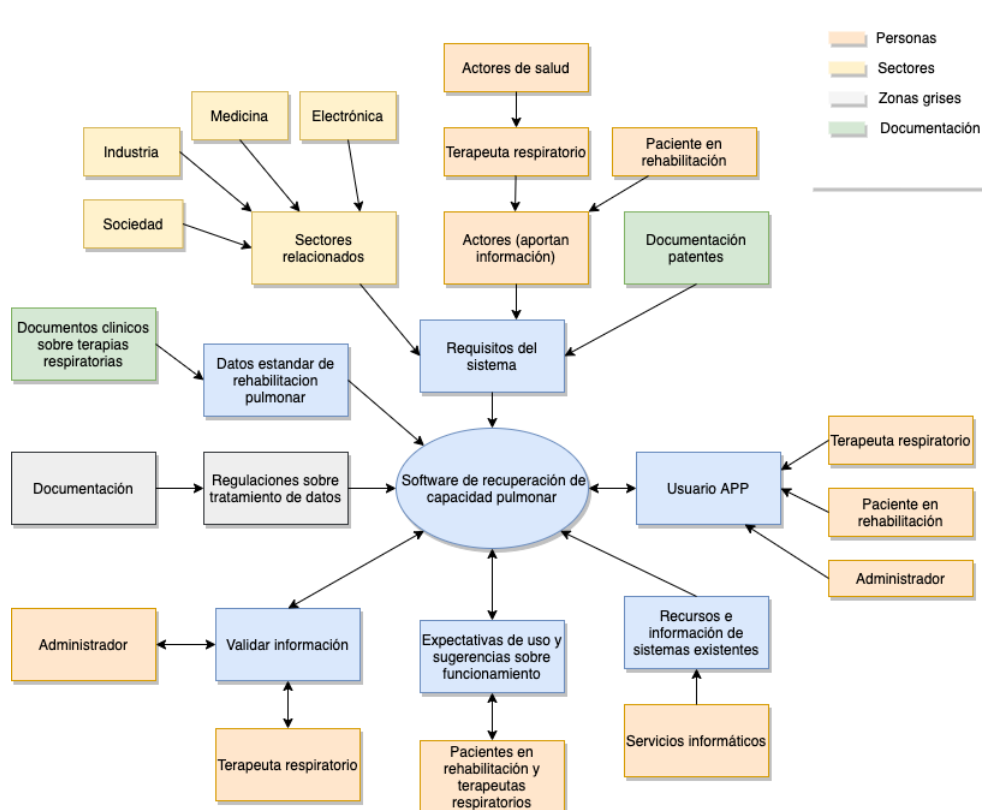


Figura 4: Diagrama de contexto de sistema software de capacidad pulmonar.

### 6.1.2. Técnicas de obtención de requisitos

1. **Reuniones grupales:** Inicialmente se realizan reuniones grupales con los principales actores del sistema, tanto los posibles usuarios como terapeuta respiratorio como los desarrolladores del sistema de las diferentes áreas, software, electrónica y diseño
2. **Encuestas:**
  - a) Encuesta dirigida a fisioterapeutas tanto externos como internos del proyecto, con el propósito de identificar atributos comunes con los mencionados en el grupo de investigación, para lograr el objetivo, se realizaron preguntas orientadas a las terapias respiratorias, los datos que se evalúan actualmente y las metodologías utilizadas.
  - b) Encuesta dirigida a los pacientes con el fin de conocer la experiencia de los pacientes que han realizado terapia respiratoria con el inspirómetro incentivo en cuanto a la terapia y el acompañamiento con el terapeuta.

### 6.1.3. Definición de requisitos funcionales

- RF01.** El sistema debe tener una funcionalidad para el terapeuta respiratorio que le permita evaluar el estado de un paciente para poder realizar un diagnóstico y posteriormente recetar la terapia correspondiente por paciente, si es necesario.
- RF01.1.** La funcionalidad para el terapeuta respiratorio debe permitirle evaluar las sesiones realizadas por paciente.
- RF01.2.** La funcionalidad para el terapeuta respiratorio debe permitirle la visualización de datos como flujo, frecuencia, volumen respiratorio y saturación de oxígeno por cada sesión por medio de gráficas de desempeño.
- RF01.3.** La funcionalidad para el terapeuta respiratorio debe permitirle revisar la evolución del paciente dados los datos de flujo, frecuencia, volumen respiratorio y saturación de oxígeno.
- RF01.4.** La funcionalidad para el terapeuta respiratorio debe permitirle ver estadísticas de las terapias realizadas y del uso de la aplicación por los pacientes.
- RF02.** El sistema debe tener una funcionalidad para el terapeuta respiratorio que le permita programar ejercicios por cada sesión en la aplicación.
- RF02.1.** La funcionalidad de programar ejercicios para el terapeuta respiratorio que le permita cargar de ejercicios definidos en texto con sus tareas correspondientes.
- RF02.2.** La funcionalidad de programar ejercicios para el terapeuta respiratorio debe tener una funcionalidad para el terapeuta respiratorio que le permita el almacenamiento de ejercicios prescritos.
- RF02.3.** La funcionalidad de programar ejercicios para el terapeuta respiratorio debe permitir modificar los ejercicios, cargar o eliminar tareas prescritas
- RF02.4.** La funcionalidad de programar ejercicios para el terapeuta respiratorio debe permitir establecer parámetros de ejercicios por conexión remota

- RF03.** El sistema debe tener una funcionalidad para al terapeuta respiratorio que le permita orientarse ya sea en el uso de la aplicación, como en el manejo de los ejercicios establecidos.
- RF03.1.** La funcionalidad para al terapeuta respiratorio debe permitir notificar los ejercicios tanto los que se han realizado como los que no han sido realizados por los pacientes.
- RF03.2.** La funcionalidad para al terapeuta respiratorio debe incluir una guía de usuario que especifique una secuencia para usar la aplicación correctamente.
- RF04.** El sistema debe tener una funcionalidad para al terapeuta respiratorio que le permita la gestión de los parámetros de cada sesión por medio de los perfiles de cada paciente, parámetros tales como el rango de medición de flujo inspirado, volumen, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno por cada paciente.
- RF04.1.** La funcionalidad de gestión de parámetros que le permita al terapeuta establecer rangos en volumen, frecuencia y saturación de oxígeno por medio de teleconsulta.
- RF04.2.** La funcionalidad para al terapeuta respiratorio debe permitir establecer parámetros de flujo inspirado y asignar los ejercicios correspondientes por paciente
- RF05.** El sistema debe tener una funcionalidad para al terapeuta respiratorio que le permita realizar un diagnostico dados los datos del paciente.
- RF06.** El sistema debe tener una funcionalidad de envío de vídeos para brindar realimentaciones de manera cualitativa e instrucciones necesarias para la terapia.
- RF07.** El sistema debe tener una funcionalidad para al terapeuta respiratorio que le permita guardar los cambios realizados en la plataforma ya sea en modificaciones de las sesiones o pacientes.
- RF08.** El sistema debe tener una funcionalidad que permita orientar al paciente para la realización de un ejercicio de una terapia respiratoria.
- RF08.1.** La funcionalidad de orientar al paciente debe incluir una demostración con los pasos o secuencia a seguir sobre como manejar la aplicación, como usar el inspirómetro electrónico y como realizar el ejercicio prescrito.
- RF08.2.** La funcionalidad de orientar al paciente de manera sensitiva debe permitir generar una secuencia en la terapia por cada sesión establecida al paciente, los ejercicios permitirán el estímulo que el paciente necesita para su recuperación.
- RF08.3.** La funcionalidad de orientar al paciente debe contar con una guía de usuario que debe incluir una demostración con los pasos o secuencia a seguir sobre como manejar la aplicación.
- RF08.4.** La funcionalidad de orientar al paciente debe contar con una realimentación después de una sesión realizada que permita dar a conocer resultados y consejos de avance en terapia para una próxima sesión, esta funcionalidad se dará con la intervención del terapeuta al finalizar cada sesión.
- RF08.5.** La funcionalidad de orientar al paciente debe mostrar datos de evolución que permitan conocer el estado en que se encuentra el paciente para completar una terapia respiratoria.

- RF08.6.** La funcionalidad de orientar al paciente debe contar con una guía sobre como usar el inspirómetro electrónico y como realizar el ejercicio prescrito, resaltando también los limites de seguridad del sistema.
- RF09.** El sistema debe contar con una estructura de gestión de usuarios.
- RF010.** El sistema debe permitir a los terapeutas administrar grupos de pacientes para asignar las respectivas sesiones.
- RF010.1.** La funcionalidad de grupo de pacientes debe permitir a los terapeutas la creación y administración de grupos de pacientes, los cuales van a tener en su plataforma registrados con los datos demográficos de cada paciente.
- RF010.2.** La funcionalidad de grupo de pacientes debe permitir a los terapeutas asignar terapias o en los que se puedan definir la fecha de inicio y la duración máxima por cronómetro para realizar cada actividad para este caso el terapeuta debe seleccionar y asignar una actividad previamente.
- RF011.** El sistema debe mostrar información personalizada para cada usuario
- RF012.** El sistema debe permitir Adquirir, presentar y almacenar los datos del desempeño y seguimiento de la terapia (i.e. cuánto le falta, cuánto avanzó) al fisioterapeuta y al paciente por conexión remota.
- RF012.1.** El sistema debe tener una funcionalidad de toma de datos del paciente que permita agrupar la captura de datos en un historial con datos del paciente, que registre los datos de flujo, frecuencia respiratoria por cada sesión
- RF012.2.** La funcionalidad de toma de datos del paciente debe permitir hacer el registro de datos mediante un método cuantitativo de grabación de datos. Mediante los estímulos capturados uno a uno desde el inspirómetro
- RF012.3.** La funcionalidad de codificar la variable física medida a partir de los datos derivados del flujo respiratorio, frecuencia respirato
- RF013.** La funcionalidad de toma de datos del paciente debe permitir hacer el registro de datos mediante un método cuantitativo de grabación de datos.
- RF014.** El sistema debe encargarse de la conversión de datos que recibe desde el inspirómetro, presentarlos en volumen y frecuencia estimados de un ejercicio realizado por el paciente.
- RF015.** El sistema debe contar con una API para permitir la trasmisión de datos.
- RF016.** La funcionalidad de toma de datos del paciente debe garantizar el auto-guardado por cada actividad realizada.
- RF017.** El sistema debe permitir estructurar los datos y mostrarlos en tablas de frecuencia.
- RF018.** El sistema debe permitir almacenar la información adquirida de manera local proveniente de los ejercicios de fisioterapia, debe contar con capacidad de memoria a partir de un formato estándar de memoria.

- RF019.** El sistema debe permitir almacenar los datos adquiridos de la medición de flujo inspirado proveniente del inspirómetro de manera local.
- RF020.** El sistema debe permitir integrar un modulo de gamificación que permitiera acoplarse con el sistema de ejercicios para programar por el usuario terapeuta.
- RF021.** El sistema debe permitir mantener un flujo y volumen respiratorio constante indicado en los ejercicios prescritos por el terapeuta.
  - RF021.1.** La funcionalidad de mantener un flujo y volumen constante en cada ejercicio deber permitir identificar si el paciente esta siguiendo los pasos indicados en el ejercicio.
  - RF021.2.** La funcionalidad de mantener un flujo y volumen constante en cada ejercicio deber permitir registrar los niveles de volumen y frecuencia respiratoria

#### **6.1.4. Definición de requisitos no funcionales**

- RNF1.** El sistema no debe ser exigente en tecnología para que pueda ser usado por cualquier paciente con un sistema tecnológico de comunicación.
- RNF2.** El sistema debe estar en la capacidad de funcionar en modo offline, es decir soporte sin conexión, cuando las condiciones de conexión con el servidor sean adversas, asegurando que la información no se pierda a causa de estos imprevistos
- RNF3.** El sistema debe permitir que cualquier usuario que no conozca a profundidad el funcionamiento de las TIC tenga un buen desempeño con el manejo de la herramienta
- RNF4.** El sistema debe asegurar una disponibilidad del 99.0 %
- RNF5.** El sistema debe ser desarrollado bajo los principios de diseño SOLID
- RNF6.** El sistema debe tener un tiempo TTI menor o igual a 5 segundos
- RNF7.** El sistema debe cumplir con parámetros ACID para el relacionamiento con bases de datos
- RNF8.** El sistema debe contar con las características necesarias para hacer un deploy sencillo
- RNF9.** El sistema debe contar con una función de backup y de recuperación ante fallos
- RNF10.** El sistema debe soportar concurrencia de múltiples usuarios
- RNF11.** El sistema debe contar con los protocolos necesarios para asegurar un funcionamiento seguro a través de Internet, es decir, que la información enviada y recibida este protegida contra ataques de robo información y suplantación de identidad.
- RNF12.** El sistema no debería ser invasivo.
- RNF13.** El sistema debe favorecer la adherencia al tratamiento de fisioterapia.



#### **6.1.5. Definición de requisitos tipo restricción**

**RTR1.** Poner el mínimo número de comandos de operación para el paciente.

## 6.2. Arquitectura del sistema

Dados las especificaciones de los servicios de terapia respiratoria y los requerimientos desarrollados se construye la siguiente arquitectura del sistema

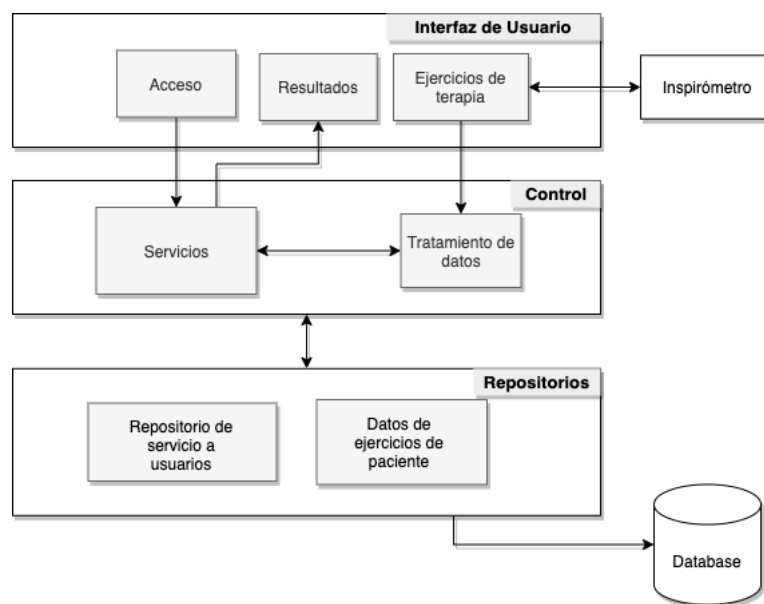


Figura 5: Arquitectura de primer nivel del sistema de terapia respiratoria

Se identifican funcionalidades específicas del sistema y se separan los servicios:

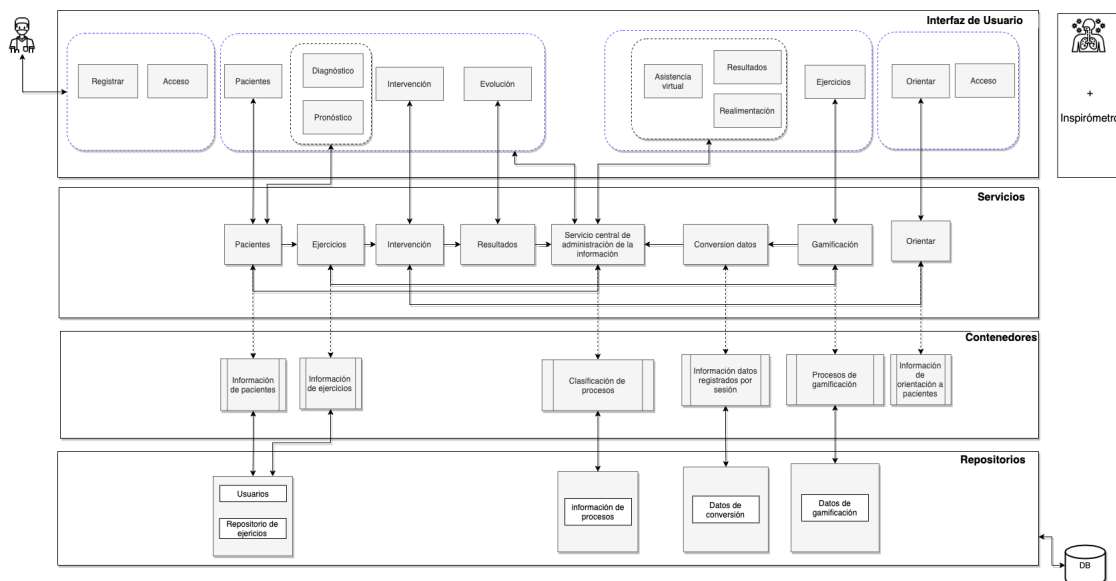


Figura 6: Arquitectura de segundo nivel del sistema de terapia respiratoria

- 7. Desarrollo del Sistema
- 8. Análisis de Resultados
  - 8.1. Análisis estadístico de datos
- 9. Conclusiones y recomendaciones
- 10. Trabajos Futuros

## Referencias

- [1] Normalbreathing.com, “Normal respiratory frequency and ideal breathing,” <https://www.normalbreathing.com/rate/>.
- [2] TeachPE.com, “Respiratory volumes,” <https://www.teachpe.com/anatomy-physiology/respiratory-volumes>.
- [3] B. Dictionary, “Oxygen saturation,” <https://biologydictionary.net/oxygen-saturation/>.
- [4] M. Dictionary, “Medical diagnosis,” <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/medical+diagnosis>.
- [5] A. A. para la terapia Física, “Guía para la practica fisioterapéutica,” introducción a la guía para la practica fisioterapéutica, 2014.
- [6] M. F. Lutfi, “Mthe physiological basis and clinical significance of lung volume measurements (2017),” BMC, BMC Medicine.
- [7] Semana, “Se registran mas de 62,4 millones de casos de covid-19 en el mundo, noviembre, 2020,” <https://www.semana.com/internacional/articulo/casos-de-coronavirus-en-el-mundo-hoy-domingo-29-de-noviembre-de-2020/308359/>.
- [8] www.statista.com, “Distribution of coronavirus (covid-19) cases in select countries worldwide as of november 9, 2020,” <https://www.statista.com/statistics/1111696/covid19-cases-percentage-by-country/>.
- [9] P. U. J. Cali, “Sistema incentivo respiratorio para expansión pulmonar en pacientes con covid-19,” Informe de ejecución del proyecto.
- [10] OMS, “Marco de implementación de un servicio de telemedicina,” <http://www.codajic.org/sites/www.codajic.org>.
- [11] M. de tecnologías de la información, “Agenda estratégica de innovación, tic 2018 - 2019,” [https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-6118\\_recurso\\_2.pdf/](https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-6118_recurso_2.pdf/).
- [12] D. C. A. Rodríguez, “Sobre la importancia de las aplicaciones móviles o de dispositivos móviles en fisioterapia. (2017),” Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud.
- [13] K. W. Aly Rafea, “Flow-oriented incentive spirometer versus volume-oriented spirometer training on pulmonary ventilation after upper abdominal surgery (2009).” Egyptian Journal of Bronchology. 3(2):110-118.
- [14] Y.-A. M. Goni-Viguria, “Fisioterapia respiratoria en la unidad de cuidados intensivos: Revisión bibliográfica. (2018),” Enfermería Intensiva.
- [15] M. H. Ricardo Chavarriaga and J. Aguilar, “Multidisciplinary design of suitable assistive technologies for motor disabilities in colombia (2014),” IEEE, Global Humanitarian Technology Conference, 386-390.

- [16] A. S. L. Licursi, “User-centered design of a customized assistive device to support feeding. *procedia cirp* 84 (2019) 743-748.”
- [17] J.-P. N. Ricardo Duarte, Michel Mesnard, “An innovative design approach to develop external articular medical devices,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* (2017) 11:375–383.
- [18] M. H. Ricardo Chavarriaga and J. Aguilar, “Multidisciplinary design of suitable assistive technologies for motor disabilities in colombia (2014),” *IEEE, Global Humanitarian Technology Conference*, 386-390.

## **11. Anexos**