



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en ingeniería biomédica

**OPTIMIZACIÓN DEL USO Y EL FUNCIONAMIENTO DE  
VENTILADORES MECÁNICOS NO INVASIVOS EN UN  
HOSPITAL**



**Memoria y Anexos**

**Autor:** Ekatherina Garzón Jirón  
**Director:** Dr. Beatriz F. Giraldo Giraldo  
**Convocatoria:** Junio 2020



## Resumen

Parte de la asistencia sanitaria que se presta en un entorno hospitalario está relacionada con enfermedades asociadas a la insuficiencia respiratoria. Dentro de estas intervenciones algunas necesitan ventilación mecánica. Su objetivo, consiste en sustituir parcial o totalmente el trabajo respiratorio, por un sistema de ventilación mecánica, manteniendo el intercambio gaseoso ( $O_2$  y  $CO_2$ ) necesarios en el proceso de la respiración. Para ello, se tienen dos tipos de soporte ventilatorio: invasivo y no invasivo. La ventilación mecánica no invasiva (VMNI) evita realizar intubación endotraqueal, sedación profunda y da al paciente mayor comodidad con la interfase de uso.

En este proyecto, se ha analizado el funcionamiento de 11 ventiladores mecánicos para áreas hospitalarias como UCI, neumología, semicríticos y urgencias. Considerando los criterios relacionados con las características tecnológicas, se ha desarrollado un sistema de ponderación para valorar la idoneidad de un equipo según el área hospitalaria de uso. Además, se ha propuesto un sistema de optimización para la redistribución de estos equipos, según las necesidades de su utilización. Para ello, se ha propuesto un sistema de clasificación mediante arboles de decisión, para definir la mejor configuración en cuanto al uso de los equipos y a los requerimientos de las áreas clínicas.

## Resumen

Part de l'assistència sanitària que es presta en un entorn hospitalari està relacionada amb malalties associades a la insuficiència respiratòria. Dins d'aquestes intervencions algunes necessiten ventilació mecànica. L'objectiu de la ventilació mecànica consisteix EN substituir parcialment o totalment el treball respiratori per un sistema de ventilació mecànica, com el seu nom indica, mantenint l'intercanvi gasós ( $O_2$  i  $CO_2$ ) necessaris en el procés de la respiració. ES tenen dos tipus de suport ventilatori: invasiu i no invasiu. La ventilació mecànica no invasiva (VMNI) evita realitzar intubació endotraqueal i sedació profunda i dóna AL pacient major comoditat amb el trencament.

En aquest projecte, s'ha analitzat el funcionament d'11 ventiladors mecànics per a àrees hospitalàries com UCI, pneumologia, semicrítics i urgències, considerant els criteris relacionats amb les característiques tecnològiques. Amb aquest anàlisi, S'ha desenvolupat un sistema de ponderació per valorar la idoneïtat d'un equip segons l'àrea hospitalària d'ús. A més A MÉS, s'ha proposat un sistema d'optimització per a la redistribució d'aquests equips segons les necessitats de la seva utilització I PER a això, s'ha proposat un sistema de classificació, mitjançant arbres de decisió, per definir la millor configuració POSSIBLE pel que fa a l'ús dels equips i als requeriments de les àrees clíniques.

## Abstract

Part of the healthcare provided in a hospital environment is related to diseases associated to respiratory failure. Among these medical interventions carried out in hospitals, some of them require mechanical respiratory ventilation. Its objective consists of replacing the respiratory work partially or totally by means of a mechanical ventilation system, maintaining the gas exchange ( $O_2$  and  $CO_2$ ) necessary for the respiratory process. To bring this out, there are two types of ventilation support: invasive and non-invasive. Non-invasive mechanical ventilation (NIMV) avoids performing endotracheal intubation, deep sedation and contributes to a greater comfort with the interface usage.

In this project, the operation of 11 mechanical ventilators has been analyzed for hospitable areas such as ICU, pneumology, intermediate care and emergency (ER). Considering the criteria associated to technological characteristics, a weighted system has been developed to value the suitability of a medical device in relation with the hospitable areas that uses it. Furthermore, according to the needs of every single area, a redistribution system of this equipment has been suggested to contribute with the optimization of its use. For this reason, a classification system has been offered through decision trees as a way to define the best setting in terms of the use of devices and the requirements of the clinical areas.

## Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutora Dr. Beatriz F. Giraldo por su apoyo durante toda la elaboración de este proyecto, aportando sus conocimientos y consejos ante cualquier tipo de duda, además de la disponibilidad durante todo el periodo que se trabajó. De igual manera me gustaría agradecer a Marc Alameda Pineda jefe del departamento de electromedicina del Hospital del Mar y a los técnicos Ramón, Miquel y Sara de electromedicina por su constante apoyo no solo en la resolución de dudas si no por su disposición en todo momento para la resolución de problemas presentados durante la elaboración del presente proyecto.

En segundo lugar, agradezco a mi madre Mirna por su apoyo incondicional durante toda mi carrera y por estar junto a mí en todas las decisiones que tuve que tomar a lo largo de ella; además le agradezco a ella y a mi padre Pablo Emilio por el esfuerzo realizado que me permitió obtener esta formación académica. Finalmente, agradezco a todas las personas que me acompañaron en este proceso y especialmente a mis hermanas Gabriela y Alejandrina, mi abuela Natalia y mi tía Yaroslava por estar a mi lado.

# Índex

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>3. FISIOLÓGÍA RESPIRATORIA</b>	<b>5</b>
3.1 Sistema respiratorio.....	5
3.2 Mecánica respiratoria.....	6
3.3 Clasificación de pacientes.....	8
3.4 Patologías respiratorias.....	10
<b>4. VENTILACIÓN MECÁNICA</b>	<b>15</b>
4.1 Historia del ventilador mecánico.....	15
4.2 Modos de ventilación.....	16
4.3 Ventilación mecánica no invasiva.....	19
4.4 Oxigenoterapia de alto flujo.....	21
<b>5. USO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN EL HOSPITAL</b>	<b>23</b>
5.1 Necesidades de las áreas hospitalarias.....	23
5.1.1 Cuidados intensivos.....	23
5.1.2 Urgencias.....	24
5.1.3 Neumología.....	26
5.1.4 Cuidados intermedio o semicríticos.....	26
5.2 Adecuación de la ventilación mecánica.....	28
5.2.1 Equipos y fabricantes.....	28
5.2.2 Criterios de evaluación.....	29
5.2.3 Niveles de ventilación mecánica de los equipos.....	33
5.3 Proceso de decisión.....	39
<b>6. OPTIMIZACIÓN Y REDISTRIBUCIÓN</b>	<b>47</b>
6.1 Optimización según las necesidades hospitalarias.....	47
6.2 Modelo matemático de redistribución.....	55
<b>7. PROTOCOLOS Y NORMATIVA</b>	<b>60</b>
7.1 Árboles de decisión.....	60
7.2 Normativa.....	71
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS A</b>	<b>80</b>

---

A1.	Inventario de equipos en el hospital .....	80
A2.	Evaluación de equipos seleccionados del mercado.....	85
A3.	Código proceso de decisión.....	91
A4.	Datos modelo matemático situación real .....	93
A5.	Datos modelo matemático situación ideal .....	94
A6.	Modelo matemático .....	95

## 1. Prefacio

La alta diversidad tecnológica de los equipos médicos incita a que deban pasar por un estado de observación para determinar si se encuentran en la posición de seguir prestando el servicio, si es necesario su reemplazo o si cumplen con su función correctamente dentro de centros específicos de asistencia sanitaria. Un ventilador mecánico, es un equipo de soporte respiratorios para el tratamiento de pacientes con insuficiencia respiratoria y, consiste en uno de los recursos terapéuticos más importantes utilizados en la asistencia al paciente crítico [1].

Un hospital es un centro que hace parte de una organización sanitaria y tiene como objetivo proporcionar a las personas asistencia médica [2]. Sus funciones se centran en la prevención, tratamiento, rehabilitación e investigación clínica. Cada hospital presta atención médica mediante el uso de recursos (personal médico, equipos médicos, instalaciones, etc.), el estado de ellos afectará la eficacia con la que el centro de salud presta sus servicios.

Mediante el análisis de criterios sobre características tecnológicas relevantes de cada equipo, creados a partir de las necesidades de cada área hospitalaria, se pretende mejorar el rendimiento de las áreas que hacen uso de este recurso tecnológico aplicando distintas herramientas. Así pues, a partir de este estudio nace la idea del proyecto de final de grado: Optimización del uso y el funcionamiento de ventiladores mecánicos no invasivos en un hospital. En este caso, se hará un análisis de los ventiladores mecánicos en colaboración con el Hospital del Mar que, de ahora en adelante se denotará con la etiqueta: “el hospital”.



## 2. Introducción

La asistencia sanitaria es una prestación de los servicios médicos, farmacéuticos y complementarios, que se relaciona con la prevención, intervención, diagnóstico, terapia y rehabilitación para el restablecimiento de la salud de las personas [3]. La asistencia sanitaria la llevan a cabo profesionales de la salud en distintos centros, tales como: Clínicas, centros de cuidados ambulatorios, centros de cuidados especializados y hospitales. En un hospital, se presta asistencia médica de todo tipo de procesos, como operaciones quirúrgicas, hospitalización, rehabilitación, etc., y su función se centra en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades [4]. Para efectuar estas funciones, el hospital posee diversas áreas relacionadas a la asistencia directa de los pacientes, entre ellas se encuentran las áreas de: cuidados intensivos generales, cuidados intermedios o semicríticos, urgencias y neumología.

Para el caso de enfermedades relacionadas con insuficiencia respiratoria, los hospitales realizan intervenciones médicas mediante el uso de ventilación mecánica. Un ventilador, es un dispositivo que permite generar respiración artificial para suplir total o parcialmente la función respiratoria del paciente, convirtiéndose en una de las estrategias terapéuticas más comunes en el tratamiento de enfermedades respiratorias dentro de la práctica clínica. Estos equipos pueden ser utilizados tanto en medidas a corto plazo, como es el caso de cirugías o tratamiento de enfermedades críticas en unidades de cuidados intensivos o en medidas a largo plazo, como terapias domiciliarias y rehabilitación en enfermedades crónicas [5].

El objetivo de la ventilación mecánica es asistir o sustituir el trabajo respiratorio de ser necesario, manteniendo el intercambio gaseoso, mediante el uso de dos tipos de soporte ventilatorio: invasivo y no invasivo. La ventilación mecánica no invasiva (VMNI), no requiere aplicar intubación endotraqueal, evita la sedación profunda, ofreciendo al paciente mayor comodidad y la posibilidad de hablar y comer por medio del uso de interfaces. Sus objetivos se centran en mejorar el intercambio gaseoso, disminuir el trabajo respiratorio, aumentar el volumen corriente y evitar la fatiga [6], [7].

Para prestar la mejor calidad del servicio en el cuidado, atención y tratamiento de los pacientes, los ventiladores se apoyan en la tecnología que poseen mediante herramientas incorporadas para mejorar la eficiencia de cada servicio. Para asegurar lo anterior, es necesario verificar si los equipos cumplen con este objetivo, determinando los requerimientos de ventilación mecánica en las áreas hospitalarias y, en caso de no cumplir, realizar la correspondiente evaluación tecnológica, desarrollando un plan de valoración de los equipos médicos, basado en criterios de evaluación que permitan detallar todas las características tecnológicas relevantes de los ventiladores.

Las herramientas para verificar la idoneidad de los equipos en función de cada área hospitalaria se desarrollan a partir de la implementación de un proceso de decisión que permite expresar numéricamente los requerimientos de las áreas y las características de los equipos, asimismo, la elaboración de un modelo matemático para optimizar el uso de un recurso tecnológico hospitalario representado a partir de datos, variables y restricciones, mediante ecuaciones matemáticas. Además, con el objetivo de complementar estas herramientas, los árboles de decisión permiten representar gráficamente distintas alternativas gracias a una detallada descripción de las particularidades de cada equipo y, facilitar la toma de decisiones más apropiadas según las características deseadas. De esa manera, el presente proyecto pretende evaluar el uso y el funcionamiento de los ventiladores mecánicos en un hospital y de esa manera optimizar su uso para que la prestación del servicio de salud sea mejor.

El objetivo principal de este proyecto consiste en diseñar herramientas para la optimización del uso de la ventilación mecánica en un entorno hospitalario, teniendo en cuenta las necesidades de cada área hospitalaria. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las necesidades de ventilación mecánica para cada una de las áreas hospitalarias.
- Estudiar y diseñar un proceso de selección, adquisición y valoración de nuevas tecnologías en ventilación mecánica para el hospital.
- Definir las condiciones necesarias para una redistribución óptima de equipos de ventilación mecánica en un entorno hospitalario.
- Diseñar una herramienta de clasificación mediante arboles de decisión para el uso de estos equipos en un entorno hospitalario.

### 3. Fisiología respiratoria

La ventilación mecánica se aplica cuando se requiere mantener los parámetros fisiológicos de un paciente bajo estándares normales. Para ello, es necesario entender el comportamiento del cuerpo humano, analizando las funciones de los seres humanos y sus elementos fisiológicos, especialmente del sistema respiratorio y la forma en que efectúa la respiración.

#### 3.1 Sistema respiratorio

El sistema respiratorio permite realizar el intercambio gaseoso entre el oxígeno ( $O_2$ ) captado del aire, y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) que se produce durante la respiración mitocondrial; además, ejecuta y regula la ventilación pulmonar (entrada y salida de aire). Se conforma por las fosas nasales y la boca, seguido de la faringe y la tráquea, que se bifurca en los bronquios hasta llegar a los pulmones donde se encuentran los alvéolos pulmonares, que efectúan el intercambio gaseoso [8].

Por otro lado, los músculos intercostales<sup>1</sup>, músculos de la pared abdominal<sup>2</sup> y el diafragma, hacen parte de la mecánica de la ventilación pulmonar, participando en el ciclo respiratorio compuesto por dos fases: la inspiración y la espiración. La inspiración, consiste en el momento en que el diafragma se contrae hacia abajo, a la vez que los intercostales externos, levantan las costillas y el esternón incrementando el espacio de la caja, permitiendo el ingreso de aire a los pulmones. Por el contrario, la espiración, es un proceso pasivo donde los músculos que actuaron en la inspiración se relajan, volviendo a su posición original; los músculos de la pared abdominal se contraen y los intercostales internos empujan hacia abajo las costillas, forzando fuerzas elásticas que permiten expulsar el  $CO_2$  fuera del cuerpo. Los músculos que permiten que se aumente el espacio de la caja torácica serán llamados músculos inspiratorios y, los que reducen el espacio, músculos espiratorios [9].

El pulmón, al ser un órgano elástico, trabaja por efecto de varias presiones que permiten que se mantenga bajo las condiciones óptimas en todo el ciclo respiratorio [10], dichas presiones se mencionan a continuación (figura 3.1).

---

<sup>1</sup> Escalenos, esternocleidomastoideo, pectorales, extensores de la columna vertebral, serratos mayores, intercostales internos, subclavios y espinales.

<sup>2</sup> Transverso del abdomen, los oblicuos, piramidal y el recto mayor del abdomen.

- Presión pleural

Presión negativa entre la pleura pulmonar (membrana delgada) y la pleura de la pared torácica, con un valor aproximado de  $-5 \text{ cmH}_2\text{O}$ . Hace referencia al grado de succión para mantener los pulmones abiertos durante la posición de reposo [9].

- Presión alveolar

Presión de aire contenido en los alvéolos igual a la presión atmosférica, pero, disminuye en la inspiración para permitir la entrada de aire hacia los alvéolos ( $1 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

- Presión transpulmonar

Presión que corresponde a la diferencia entre la presión alveolar y la presión pleural.

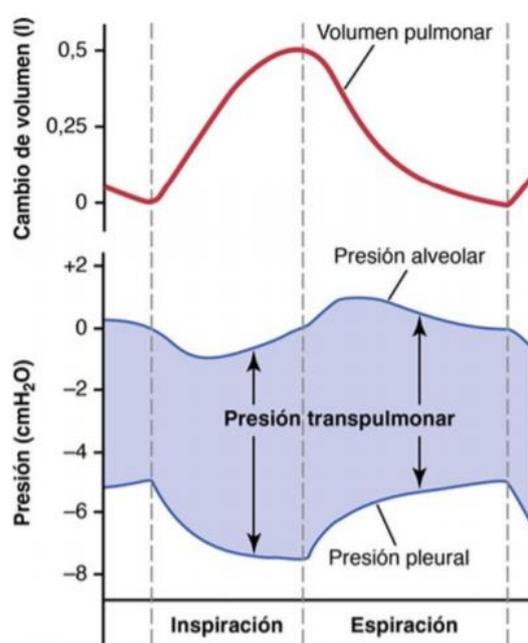


Figura 3.1 Presión alveolar, pleural y transpulmonar durante todo el ciclo respiratorio [9].

## 3.2 Mecánica respiratoria

El proceso de la respiración se puede definir en función de volúmenes y capacidades pulmonares, responsables de su proceso mecánico [9], [11].

### **Volúmenes pulmonares**

- Volumen corriente (VC):

Volumen corriente o volumen tidal (VT) es el volumen total entre la inspiración y espiración en una respiración normal ocasionada por el paciente. Los valores normales son aproximadamente de 500 ml para un adulto hombre.

- Volumen de reserva inspiratorio (VRI):

Volumen adicional al volumen corriente que se genera al realizar una fuerza adicional de inspiración, obteniendo un volumen de aire por encima del normal. Por lo general este valor se encuentra alrededor de los 3000 ml.

- Volumen de reserva espiratorio (VRE):

Hace referencia al volumen máximo de aire que puede exhalar un paciente al realizar un esfuerzo extra de exhalación; dicho valor se establece alrededor de los 1100 ml.

- Volumen residual (VR):

Porcentaje o el valor del volumen de aire que permanece en los pulmones una vez se ha finalizado la espiración, este volumen tiene un valor aproximado de 1200 ml.

### **Capacidades Pulmonares**

- Capacidad inspiratoria (CI):

Cantidad de aire total que puede inspirar una persona. Se establece un rango desde la capacidad normal de inspiración (determinada por el volumen corriente), hasta la capacidad de inspiración máxima (volumen de reserva inspiratoria); su valor es aproximadamente 3500 ml.

$$\text{Volumen corriente} + \text{Volumen de reserva inspiratoria}$$

- Capacidad residual funcional (CRF):

Porcentaje de volumen que corresponde a la cantidad de aire en los pulmones al finalizar la espiración. Esta capacidad se establece con un volumen promedio de 2300 ml.

$$\text{Volumen de reserva espiratorio} + \text{volumen corriente}$$

- Capacidad vital (CV):

Cantidad máxima de aire que puede ser expulsada por el paciente en el momento en que finaliza toda la etapa de inspiración; sus valores se mantienen alrededor de los 4600 ml.

$$\text{Volumen de reserva inspiratoria} + \text{Volumen corriente}$$

- Capacidad pulmonar total (CPT):

Capacidad máxima de los pulmones para expandirse mediante el esfuerzo máximo generado por una persona, esta capacidad es de alrededor de 5800 ml.

*Volumen corriente + Volumen de reserva inspiratoria + volumen residual*

A continuación (figura 3.2), se presenta una gráfica con todos los volúmenes y capacidades pulmonares.

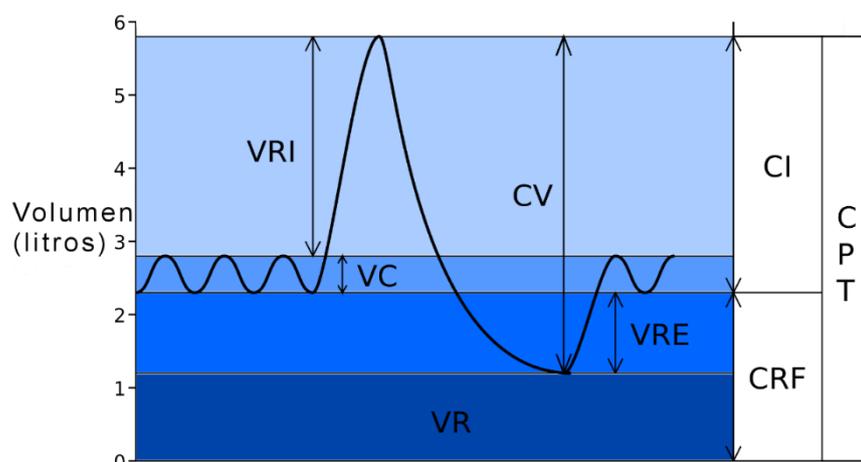


Figura 3.2 Volúmenes y capacidades pulmonares estáticas [11].

### 3.3 Clasificación de pacientes

En un sistema de salud, la categorización de los pacientes a pesar de ser amplia es realmente útil, permite diferenciarlos según los fallos fisiológicos que presentan y orientan el modo en que se tratará al paciente. En este caso, se tomaron en cuenta dos grupos, pacientes respiratorios y pacientes cardíacos. Los pacientes respiratorios, son pacientes que presentan síntomas en función a una enfermedad respiratoria, puede incluso llegar a afectar músculos u órganos por presencia de hipoxia (insuficiencia de oxígeno en sangre), hipercapnia (elevación de la concentración de  $\text{CO}_2$ ) o ambos [12]. Los pacientes con afectaciones cardíacas se caracterizan por la dificultad para bombear la sangre por todo el cuerpo, obstaculizando el transporte de oxígeno, provocando acumulaciones de sangre y daño de tejidos u órganos. Estos pacientes pueden presentar insuficiencia cardíaca crónica (constante) o aguda (repentina) debilitando el corazón. La figura 3.3 representa la clasificación de pacientes con enfermedades respiratorias o cardíacas [12].

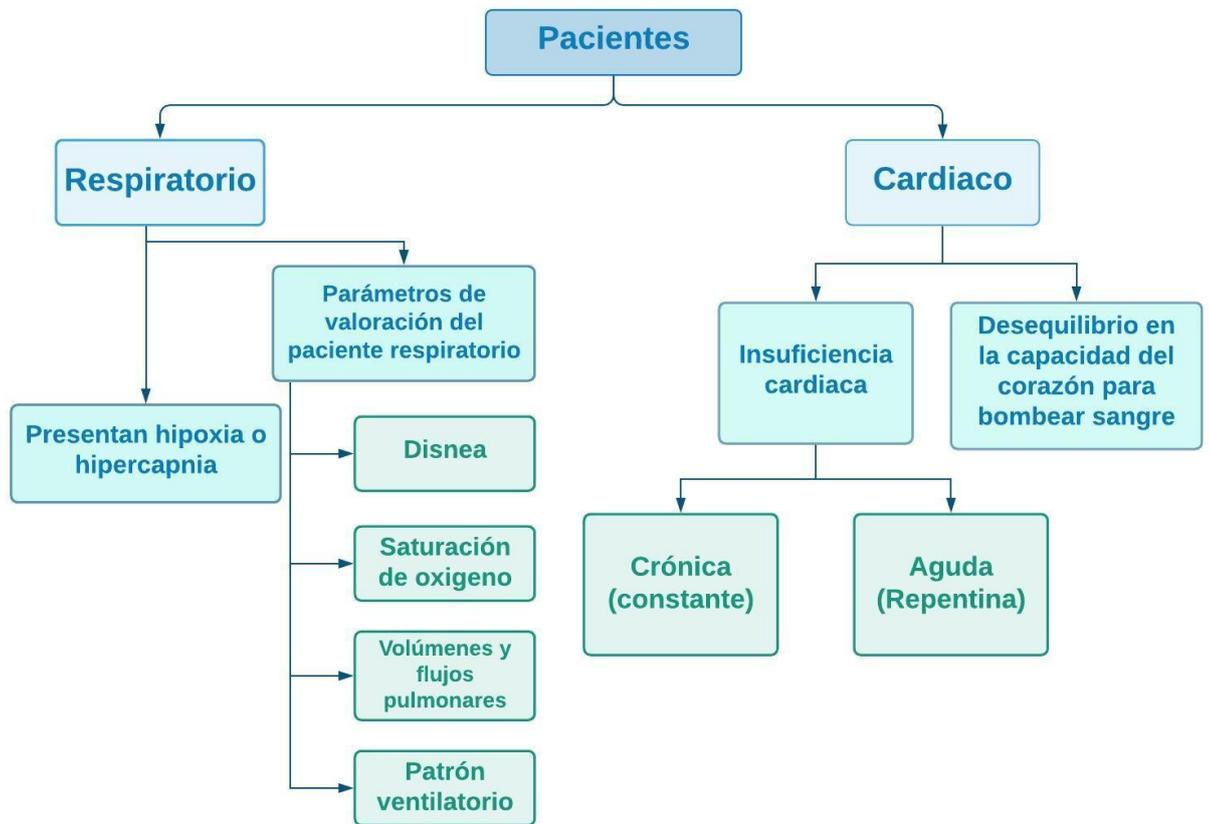


Figura 3.3 Tipos de pacientes y sus características.

La *European Respiratory Society* (ERS) conformada por especialistas en el área de la salud, adaptan distintos niveles de gravedad o grados de atención al paciente crítico, para así, realizar una adecuada monitorización cardiorrespiratoria, facilitando la identificación de procedimientos a seguir para el tratamiento de los pacientes cuando presentan insuficiencias respiratorias (figura 3.4)[13].



Figura 3.4 Niveles de gravedad de los pacientes que ingresan en un hospital con dificultades respiratorias.

### 3.4 Patologías respiratorias

Las enfermedades respiratorias poseen tres causantes principales, estas son: mal uso de la ventilación, alteraciones en la difusión de la respiración en la membrana pulmonar y el transporte sanguíneo anormal de los gases desde el pulmón hasta los tejidos. Se pretende mencionar las principales patologías causadas por insuficiencias respiratorias.

- Enfisema pulmonar crónico:

Esta enfermedad progresiva, no permite que el sistema respiratorio realice la espiración de forma normal. Un porcentaje excesivo de aire permanece dentro del pulmón y, a largo plazo, promueve efectos de disnea grave (dificultad para respirar). El enfisema pulmonar, se forma por una infección crónica ocasionada por la inhalación de humo, específicamente nicotina, dañando gravemente los mecanismos protectores de las vías aéreas, formando lo que se conoce como obstrucción crónica. Por efecto de lo anterior, dentro del pulmón, cuando se genera una respiración, algunas zonas del pulmón respiran con normalidad, mientras que otras, lo realizan con mayor dificultad [14].

- Neumonía:

La neumonía se define como una afección respiratoria donde el pulmón presenta una infección agresiva. Se genera por bacterias, virus u hongos, provocando que las paredes alveolares aumenten su porosidad y permitan el paso de líquidos, eritrocitos y leucocitos hacia el alveolo, llenándolo de líquido, sin la posibilidad de alcanzar su capacidad normal de intercambio gaseoso y dificultando la respiración.

Si la infección es muy avanzada, el pulmón se llena en su totalidad de líquidos y desechos celulares, imposibilitando aún más la ventilación; en algunos casos, puede llegar a provocar hipoxia (disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre) [14].

- HAP (Neumonía adquirida en el hospital):

Neumonía o infección en los pulmones que se presenta en el momento en que un paciente es ingresado al hospital o se encuentra hospitalizado, es causada por microbios y ocurre con mayor frecuencia en pacientes que se encuentran en tratamientos respiratorios o soporte ventilatorio.

- Atelectasia:

La atelectasia, consiste en el colapso de uno de los pulmones o al menos una parte de ellos, obstruye las vías aéreas por aumentos de presión en las zonas externas del pulmón y disminuye su volumen provocando que los vasos pulmonares aumenten su resistencia y por consecuencia, aumente la resistencia al flujo sanguíneo, ingresando a un estado de hipoxia. A pesar de este colapso pulmonar, el cuerpo contrarresta la deficiencia bombeando el 83.3% de la sangre hacia el pulmón menos colapsado y solo el 16.6% hacia el pulmón con reducción del flujo. Las causas de atelectasia son: anestesia, uso de tubo de respiración, objetos extraños en la vía respiratoria, entre otras [14].

- Asma:

El asma, es una enfermedad que se caracteriza por provocar que las vías respiratorias se estrechen y se inflame el músculo liso de los bronquiolos, provocando dificultad respiratoria. Esta enfermedad, es causada por la hipersensibilidad a polen, plantas, caspa animal, etc. Una vez ingresan al cuerpo, se generan un reconocimiento de anticuerpos, provocando una disminución en el diámetro bronquiolar, haciendo mucho más difícil la espiración; además, provoca que la capacidad pulmonar residual funcional y el volumen residual aumenten su valor, al no permitir que la cantidad de volumen normal salga por el estrechamiento de las vías respiratorias [14].

- Tuberculosis:

Infección bacteriana que ataca directamente a los pulmones, lesionando el tejido pulmonar y provocando fibrosis. Además, un porcentaje del pulmón pierde tejido pulmonar funcional, como consecuencia de esto, se genera un aumento del trabajo muscular por el esfuerzo extra que se presenta, reduciendo la capacidad que tiene una persona de inhalar aire (capacidad vital) y aumenta el grosor de la membrana respiratoria por el daño del tejido [14].

- Apnea del sueño:

La apnea del sueño es un trastorno respiratorio en el cual la respiración es muy leve o superficial, es decir, es interrumpida en varios casos, la duración de esta interrupción depende del paciente. La apnea, obstruye o colapsa las vías respiratorias durante el periodo de sueño y, por lo general, se trata mediante el uso de terapias respiratorias [15].

- COPD o EPOC (Enfermedad pulmonar obstructiva crónica):

Enfermedad pulmonar que dificulta la respiración por la presencia de una bronquitis crónica, provocada por exposición prolongada a sustancias que dañan los pulmones como el tabaco, la contaminación, etc. Los primeros síntomas ocurren cuando se presenta un aumento de mucosidad he inflamación en las vías respiratorias, haciendo que se estrechen y no permitan respirar correctamente [16].

- CPE (Edema pulmonar cardiogénico):

Es una enfermedad causada por la presencia de líquido en los pulmones dificultando la respiración. La presión en los vasos sanguíneos aumenta por la cantidad de líquido en las bolsas de aire; si aumenta de manera constante, el líquido reduce el movimiento normal de oxígeno provocando la dificultad para respirar; así mismo, esta enfermedad es causada en la mayoría de los casos por la insuficiencia cardiaca [17].

- AHRF (Insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda):

La hipoxemia, es el estado en el cual se presenta una disminución de la presión parcial de oxígeno. La insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda, se presenta cuando un porcentaje del espacio aéreo ha sido ocupado, generando una hipoxemia arterial, dificultando la circulación de oxígeno en la sangre.

- Infecciones nosocomiales:

Una infección es la “Invasión y multiplicación de agentes patógenos en los tejidos de un organismo” [18]. Una infección nosocomial, es una infección respiratoria adquirida durante la estancia en el hospital, y se manifiesta después del ingreso del paciente. Según un estudio llamado *Point Prevalence Study* del EPINE (Estudio de Prevalencia de las Infecciones Nosocomiales en España) se estableció en el 2018 que 10858 pacientes presentaban infecciones nosocomiales (Tabla 3.1).

TABLA 3.1 PACIENTES CON INFECCIONES SEGÚN EL ORIGEN DE LA INFECCIÓN [18]

Pacientes	Prevalencia			
	N	%	IC 95%	
<b>Número total de pacientes con infecciones nosocomial</b>	4324	7,15	6,95	7,36
<b>Pacientes con infección nosocomial adq. propio centro</b>	3728	6,17	5,98	6,36
<b>Pacientes con infección adquirida en el presente ingreso</b>	2928	4,84	4,67	5,02
<b>Pacientes con infección existente al ingreso</b>	815	1,35	1,26	1,44
<b>Pacientes con infección nosocomial adq. otro hospital</b>	377	0,62	0,56	0,69
<b>Pacientes con infección nosocomial de origen desconocido</b>	248	0,41	0,36	0,46
<b>Número total de pacientes con infección comunitaria</b>	10858	17,97	17,66	18,27

**N:** número de pacientes infectados  
**Prevalencia %:** número de pacientes infectados multiplicado por 100 y dividido por el total de pacientes  
**Prevalencia IC 95%:** Intervalo de confianza al 95%

- IRA o ARF (Insuficiencia respiratoria aguda):

La insuficiencia respiratoria aguda, es una enfermedad donde el paciente no tiene la capacidad de mantener niveles arteriales suficientes de oxígeno O<sub>2</sub> y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, para poder realizar una adecuada respiración celular, sin la posibilidad de adaptarse. En situaciones de IRA, la presión O<sub>2</sub> de es menor a 60 mmHg y la presión CO<sub>2</sub> es mayor de 45 mmHg [19].

En un hospital, ciertas áreas se especializan en el tratamiento de algunas patologías y dependerán del estado de gravedad del paciente; en la figura 3.5, se presentan las patologías más comunes tratadas en las áreas hospitalarias de UCI, semicríticos, urgencias y neumología.

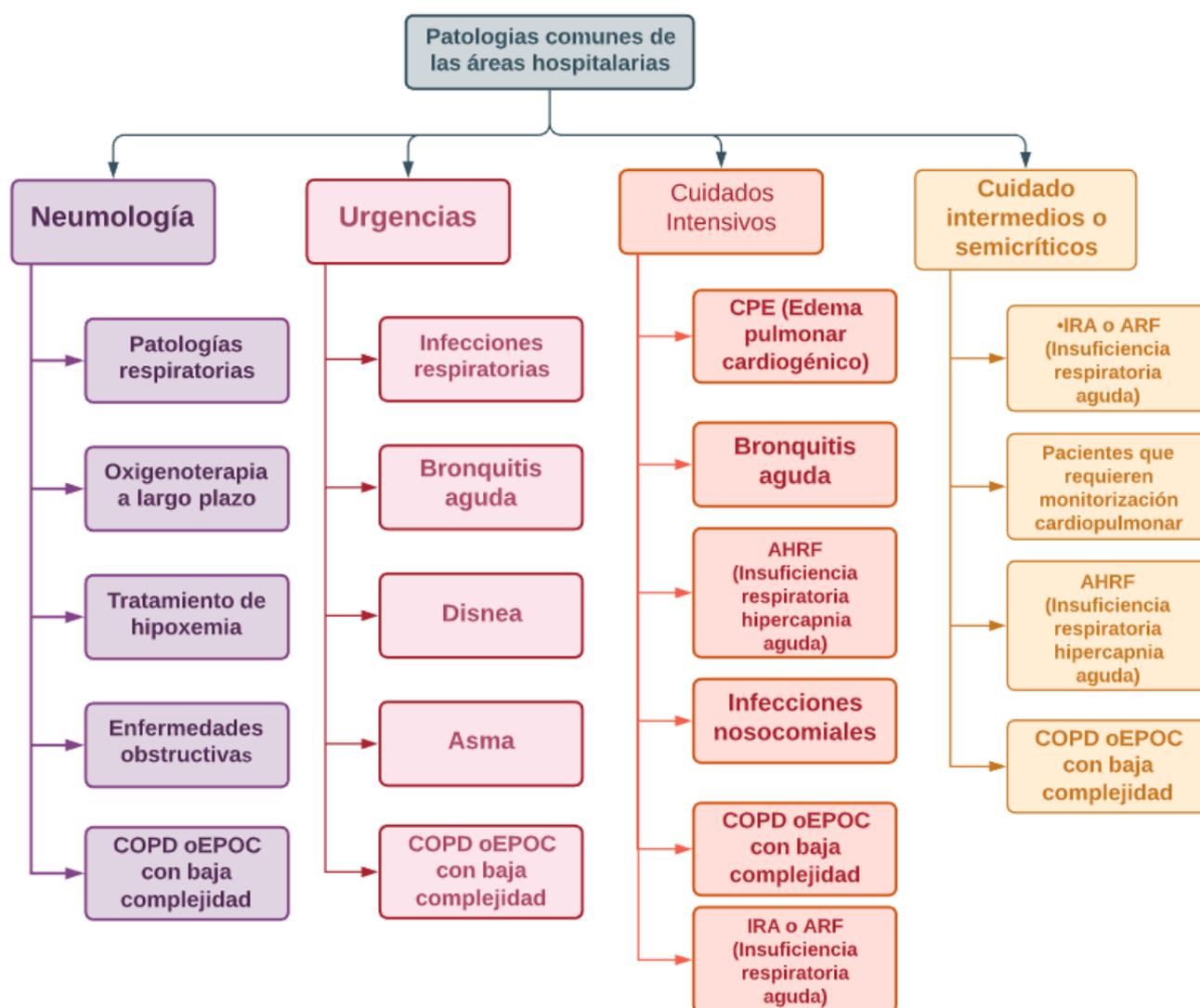


Figura 3.5 Principales patologías presentadas en cada una de las áreas hospitalarias.

## 4. Ventilación mecánica

Un ventilador mecánico, es un dispositivo médico que reemplaza parcial o totalmente la función respiratoria cuando el paciente no es capaz de hacerlo por sí solo. Consiste en introducir aire hacia los pulmones, mejorando el intercambio gaseoso a través de parámetros esenciales para insuflar los pulmones como volumen, presión y frecuencia respiratoria; asimismo, modifica gradientes fisiológicos para ejecutar la inspiración y la espiración. Para que la ventilación mecánica se haga efectiva, debe cumplir o superar limitantes fisiológicas como la resistencia aérea, que depende del diámetro de la vía, flujo y volumen pulmonar, y la resistencia elástica que depende de las variaciones presentadas durante todo el ciclo respiratorio [20]. Los objetivos de la ventilación mecánica incluyen mejorar el intercambio gaseoso, mantener y restaurar el volumen pulmonar y reducir el trabajo respiratorio [21].

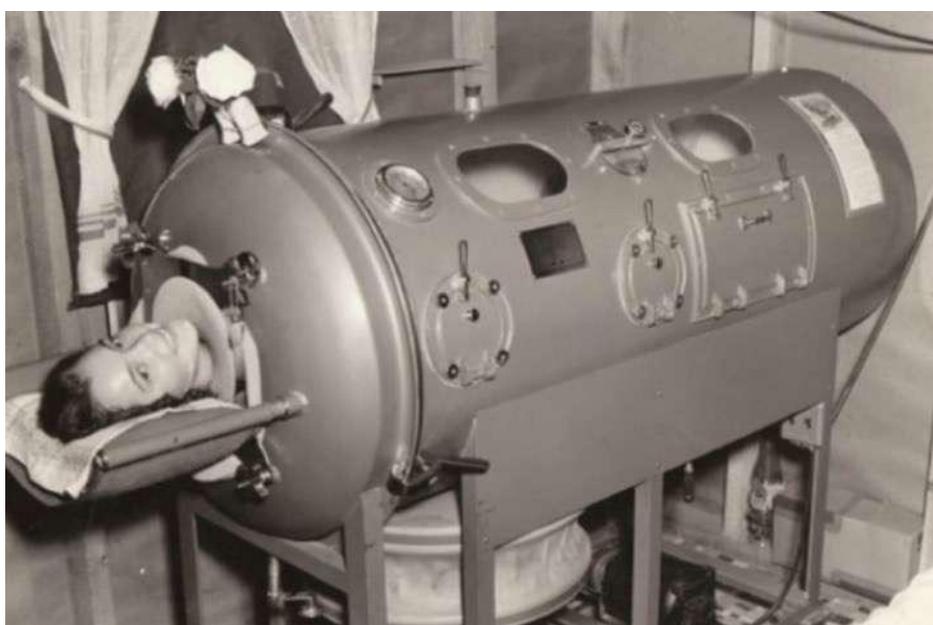
Los ventiladores mecánicos, poseen dos tipos de soporte vital, invasivo y no invasivo capaces de ventilar mediante tres tipos de ventilación, mandatorio, asistido o espontáneo. El tipo mandatorio, entrega un volumen preestablecido sin analizar o sin tener en cuenta los esfuerzos realizados por el paciente, es decir, la respiración es disparada, limitada y ciclada por el ventilador. El tipo asistido, toma en cuenta las respiraciones disparadas por el paciente, pero, son limitadas y cicladas por el ventilador y, en el tipo espontáneo, el control de la respiración depende del paciente. Existen tres requerimientos principales para que el equipo logre su función; adquirir un patrón preestablecido que depende del tipo de respiración, determinar la variable de control, que puede ser volumen, presión o flujo y determinar las variables de fase. Las variables de fase se conforman por, disparo o *Trigger*, el cual da inicio al ciclo respiratorio; límite de control, que no permite superar el valor de la variable de control, controlando la entrega de gas; ciclado, el cual finaliza toda la fase inspiratoria y finalmente la variable de fase *base*, permite controlar el periodo de espiración [6].

### 4.1 Historia del ventilador mecánico

A través de la historia, el ventilador mecánico ha ido evolucionando, comenzando por insertar un tubo en la boca de un paciente he insuflar aire a través de él utilizando el propio aire de una persona para simular los movimientos respiratorios, hasta lo que hoy en día se conoce como ventiladores mecánicos. Liberan volúmenes de una fuente de suministro de oxígeno y aire a una presión establecida, dando paso, a nuevas generaciones de respiradores y nuevos modos de soporte ventilatorio. El punto más importante que dio comienzo al diseño de los ventiladores mecánicos fue gracias a Philip Dinker Y Louis Agassiz Shaw creadores del pulmón de acero [22].

El pulmón de acero (figura 4.1) fue una de las primeras terapias no invasiva ya que permitía imitar la respiración. Se conformaba por una estructura cilíndrica metálica capaz de albergar completamente

un cuerpo excepto por su cabeza. El funcionamiento del pulmón consta de suministrar un flujo de aire que progresivamente aumenta o disminuye la presión dentro de la cámara (ventilación por presión negativa); de esa manera, los cambios de presión permiten que el paciente expanda o contraiga los pulmones inhalando o exhalando el aire que ha entrado por la nariz y gracias a la presión dentro de la cámara, mantener los pulmones llenos mientras se genera el intercambio gaseoso. Tiempo después de su gran invención, el pulmón de acero fue disminuyendo su uso ya que se fueron creando otras modalidades como ventiladores de presión positiva, creados por Ray Bennett, el cual desarrolló una válvula de oxígeno que permitía elevar o disminuir la presión para que el paciente pudiera exhalar o inhalar [23].



*Figura 4.1 Pulmón de acero [24].*

## 4.2 Modos de ventilación

El ventilador mecánico da un soporte en la respiración de un paciente utilizando distintos modos de ventilación que dependen de las necesidades del paciente y si es necesario, suplir parcial o totalmente la función ventilatoria. Los modos se clasifican en dos tipos, los de soporte ventilatorio total, que le otorga al paciente el volumen, presión y frecuencia respiratoria requeridos y, los modos de soporte ventilatorio parcial, donde el ventilador se acopla al paciente sincronizándose con las respiraciones del paciente [6], [25].

**Soporte ventilatorio total:**

Modalidades que sustituyen totalmente la ventilación. Se aplican a pacientes que poseen un elevado grado de demanda ventilatoria.

- Control por volumen (VC):

Este modo trabaja como ventilación asistida y controlada, ajustando un flujo y volumen, sus valores de presión son variables y tiene la ventaja de permite alterar el valor de volumen tidal correspondiente a la cantidad de aire que entra a los pulmones.

- Control por presión (CP):

Modo ventilatorio que vence la impedancia del sistema respiratorio manejado o controlando la presión en cada respiración. Los valores de volumen y flujo varían.

**Soporte ventilatorio parcial:**

Modalidades que permiten al paciente generar respiraciones espontáneas, pero, en caso de que no se realicen esfuerzos inspiratorios, el ventilador asiste la respiración mediante valores prefijados [25].

- Ventilación mandataria intermitente sincronizada (SIMV):

Este modo trabaja mediante la combinación entre dos tipos de ventilaciones, controlada y espontánea, permitiendo que se intercalen ciclos espontáneos del paciente mientras proporciona ciclos ventilatorios a una frecuencia respiratoria constante. A su vez, en el instante en que un paciente realiza una respiración espontánea, el sistema da una ayuda complementaria, variando la presión de tal manera que al respirar el ventilador completa el ciclo respiratorio.

- Ventilación con presión soporte (PS):

Este modo se utiliza cuando el paciente se encuentra en la capacidad de respirar por si solo; pero, cada vez que se realiza una inspiración, el ventilador aplica un valor determinado de presión para ayudar al paciente sin la necesidad de realizar ventilaciones controladas, es decir, permite asistir mecánicamente todos los ciclos respiratorios cuando se estén generando respiraciones espontáneas. Una ventaja en comparación con otros modos es que solo necesita ajustar un único valor (presión).

- Presión positiva continua en la vía aérea (CPAP):

CPAP no es considerado del todo como un modo de soporte ventilatorio, a pesar de ello, se encarga de proteger de un colapso alveolar al utilizar la PEEP (presión positiva al final de la espiración). A pesar de ser un soporte ventilatorio netamente espontáneo, mantiene una presión constante en la vía aérea durante todo el tiempo que se necesite el uso de un ventilador, generando un gradiente de presión

positiva con valores habituales de 5 y 10 cmH<sub>2</sub>O (mayor a la presión atmosférica). Una gran ventaja es que permite aumentar la capacidad residual funcional de paciente [7].

- Presión positiva de vía aérea de doble nivel (BIPAP):

En este modo, el paciente genera respiraciones espontáneas. El equipo aplica dos niveles de vía aérea, uno inspiratorio (IPAP) y otro espiratorio (EPAP); la variación de estos niveles permite trabajar con tres sub-modos, estos son: modo S (*Spontaneous*), modo ST(*Spontaneous-Timed*) y modo T (*Timed*). El modo S, utiliza los valores de IPAP y EPAP como limitantes, tomando como guía las respiraciones espontáneas del paciente; el modo ST, trabaja bajo los mismos parámetros que el modo S con la diferencia de que si el paciente no realiza la respiración después de un tiempo determinado, el equipo automáticamente inicia la respiración teniendo en cuenta el valor de IPAP, finalmente, el modo T, trabaja según el valor de frecuencia respiratoria y el tiempo inspiratorio establecido. Una ventaja alta del uso de la BIPAP es que mejora la sincronización del paciente, al no suprimir alguna respiración espontánea generada por este (como ocurre en los modos mandatorios) [7].

Para presentar de una forma más clara los distintos modos ventilatorios mencionados, en la tabla 4.1 se presenta un breve resumen de los modos junto con los ajustes los requerimientos de *trigger*, ciclado y límite de control.

TABLA 4.1 MODOS DE VENTILACIÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS [6].

Modalidad	Ajustes	Trigger	Objetivo	Ciclado
CMR	Vc, FR	Ventilador	Volumen	Volumen/Tiempo
ACV	Vc, FR, Trigger	Ventilador/Enfermo	Volumen	Volumen/Tiempo
SIMV	Vc, FR, FR-SIMV	Ventilador/Enfermo	Volumen	Volumen/Tiempo
VS	Vc	Enfermo	Volumen	Volumen
CMP	Presión, FR	Ventilador	Presión	Tiempo
ACP	Presión, FR, Tr.	Ventilador/Enfermo	Presión	Tiempo
PS	Presión	Enfermo	Presión	Tiempo
CPAP	Presión	Enfermo	Presión	Flujo
BPAP	Presión, FR	Enfermo	Presión	Flujo
APRV	Presión, FR	Ventilador/Enfermo	Presión	Tiempo
PAV	Presión	Enfermo	Presión	Flujo

Para realizar un apropiado uso de los modos de ventilación, es necesario conocer las fases que atraviesa un paciente desde su entrada al hospital hasta la dada de alta (figura 4.2). En el momento de su ingreso, se determina el número de respiraciones espontáneas y si requiere de sedación para verificar si necesita de una ventilación mandataria o controlada. Después, se determina el grado de conciencia del paciente para que, a partir de ese punto, los modos semicontrolados o mixtos (entre respiraciones espontáneas y mandatorias) permitan aumentar paulatinamente el grado de conciencia. Finalmente, si el paciente se encuentra totalmente recuperado y es capaz de respirar de manera casi autónoma, la función de la ventilación mecánica es la prevención, asistiendo las respiraciones espontaneas del paciente. Los cambios entre modos de ventilación deben darse progresivamente para prevenir lesiones graves, teniendo presente las variables de control [26].

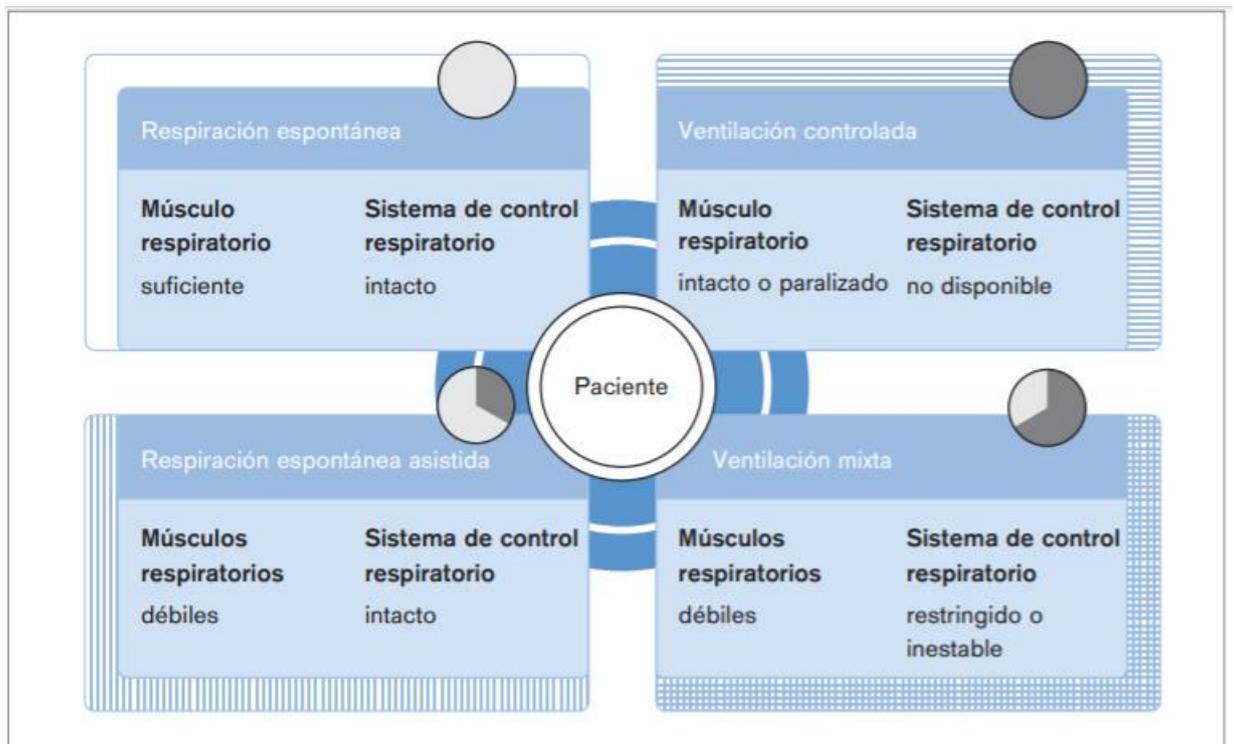


Figura 4.2 Formas de ventilación en cada fase de tratamiento [26].

### 4.3 Ventilación mecánica no invasiva

La ventilación no invasiva es un tipo de soporte ventilatorio que mejora el intercambio gaseoso y el trabajo respiratorio sin provocar alta fatiga muscular. La VMNI (Ventilación mecánica no invasiva) no emplea la intubación endotraqueal para ventilar al paciente, previniendo posibles lesiones y sedación, a la vez que aumenta la comodidad del paciente [27]. El uso de ventilación mecánica no invasiva provee ciertas ventajas, entre ellas está permitir el descanso muscular durante la inspiración y contrarrestar

el Auto-PEEP, que hace referencia a un aumento de la presión alveolar, superando los límites normales (10 cmH<sub>2</sub>O) [28]. Para la aplicación de la ventilación, se utilizan interfaces para conectar el ventilador con el paciente, estos se colocan alrededor o dentro de orificios naturales de la cara como la nariz o la boca; en la tabla 4.2 se muestran las principales interfaces [29].

TABLA 4.2 TIPOS DE INTERFACES EN VMNI



Las interfaces constituyen un elemento fundamental para la aplicación de la VMNI, la elección de cada una dependerá de la necesidad del paciente para asegurar el mayor confort y tolerancia posible, además, dependerá de la disponibilidad de recursos y la capacitación del personal. Las características de una interfase ideal son: ligera, fácil de usar, desechable (de ser necesario), económica, fácil de limpiar, sellada a presión, baja resistencia al aire y minimizar fugas lo mayor posible. A pesar de que ninguna de las interfaces ha demostrado tener mayor beneficio que las demás, cada una de ellas, ofrece una ventaja hacia el paciente, en la tabla 4.3 se mencionan las principales ventajas y desventajas de cada una de ellas [29].

TABLA 4.3 VENTAJAS E INCOVENIENTES DE LAS PRINCIPALES INTERFACES EN LA VMNI [29]

Interfase/mascarilla	Ventajas	Inconvenientes
<b>Nasal</b>	Permite hablar y comer Expectoración Expectoración más fácil Menor claustrofobia Fácil colocación y fijación Menor riesgo de aspiración	Fugas bucales Mayor resistencia al flujo aéreo Menos efectiva si obstrucción nasal Irritación nasal y rinorrea Producen sequedad de boca
<b>Oronasal</b>	Mejor control de fugas bucales Más efectivas en agudos	Mayor riesgo aspiración Imposibilidad de comer o expectorar Mayor espacio muerto

<b>Pieza bucal</b>	Poco espacio muerto Puede no requerir arnés	Hipersalivación y deformidad dental Fugas nasales Menos efectiva en pacientes agudos
<b>Facial completa</b>	Menor riesgo lesión cutánea Fácil colocación Más cómoda para algunos pacientes	Mayor espacio muerto Sequedad ocular Imposibilidad para aerosol terapia
<b>Helmet</b>	Más cómoda para algunos pacientes Tamaño único Menor riesgo lesión cutánea	Reinhala $\text{CO}_2$ Asincronías paciente-respirador Menor descarga muscular respiratoria

Durante la respiración normal, las vías respiratorias superiores en la nasofaringe son las encargadas de calentar y humidificar los gases inspirados gracias a la mucosa vascularizada, alcanzando la temperatura y humedad óptimas para que el sistema permite saturar el  $\text{O}_2$  en su totalidad y realizar la respiración. Los humidificadores ayudan a la VMNI al facilitar la expectoración y mejorar la comodidad del paciente, sobre todo en pacientes con secreciones; además, son de gran utilidad ya que genera un flujo de aire nasal inspiratorio unidireccional, permitiendo la filtración, humidificación y calentamiento del aire inspirado cuando el cuerpo no es capaz de hacerlo por sí solo. El humidificador permite disminuir la resistencia nasal inducida por el gas seco y reduce el trabajo metabólico necesario para calentar y humidificar el aire que ingresa, previniendo la disminución de la compliancia y la conductancia del sistema respiratorio [30].

#### 4.4 Oxigenoterapia de alto flujo

El alto flujo u oxigenoterapia de alto flujo (OAF) es una terapia que consiste en aplicar un flujo de oxígeno, aire o una mezcla de ambos, teniendo en cuenta el valor de flujo pico inspiratorio del paciente. El gas, es calentado y humidificado hasta llegar a un valor igual o similar a la temperatura corporal, mejorando el rendimiento y la tolerancia respiratoria del paciente. El método de aplicación de esta terapia se realiza mediante el uso de una interfase, una fuente de gas para poder variar la cantidad de flujo y un humidificador para mantener el gas a la temperatura necesaria ( $37^\circ$ ) [31].

La oxigenoterapia, posee varias ventajas, una de ellas, consiste en mejorar la ventilación alveolar, eliminar  $\text{CO}_2$  con mayor facilidad y reducir la resistencia respiratoria proveniente de la distensibilidad de la nasofaringe, aplicando un flujo mayor al flujo pico del paciente; a su vez, mejora la resistencia y complianza pulmonar, gracias al llenado del espacio muerto, reduciendo el trabajo metabólico por la

humidificación del aire. Otra ventaja es promover el reclutamiento alveolar, al aplicar una presión positiva, evitando el uso de la ventilación invasiva, y, al utilizar una interfase nasal, permite eliminar la sensación de incomodidad, claustrofobia e imposibilidad de comer o hablar [31].

La OAF, ha sido aplicada con varios fines a través de la historia (Figura 4.3). Su aplicación en el área de la medicina como tratamiento respiratorio es relativamente reciente, a pesar de ello, es efectiva para pacientes que presentan deficiencia respiratoria aguda o fallo respiratorio hipoxémico moderado, apoyo de broncoscopia, edema pulmonar cardiogénico y, en algunos casos, pacientes postquirúrgicos. Una diferencia entre la OAF y la ventilación no invasiva es que, la OAF mantiene un flujo constante para obtener variar presiones, útil en casos de insuficiencias respiratorias moderadas.

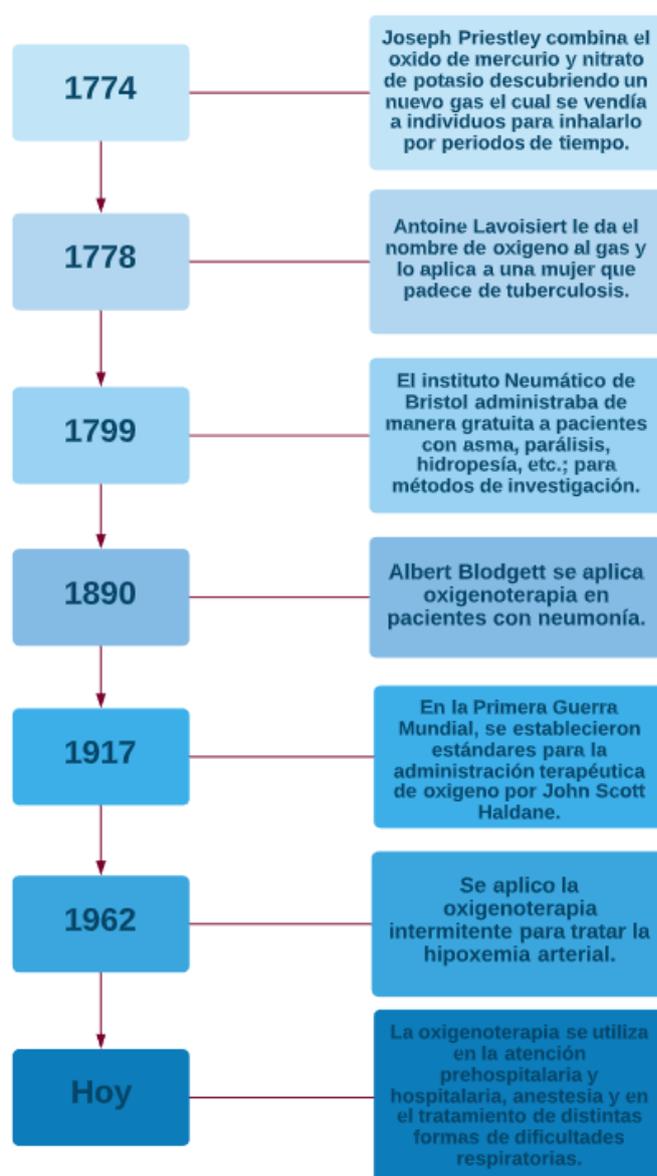


Figura 4.3 Línea de tiempo de la oxigenoterapia [32], [33].

## 5. Uso de la ventilación mecánica en el hospital

La investigación y observación de la situación hospitalaria, permitió establecer las necesidades de ventilación mecánica de las áreas de UCI, semicríticos, urgencias y neumología. En el hospital estudiado, hay actualmente una cantidad de ventiladores con la modalidad única de ventilación no invasiva y otros con ambas modalidades (invasiva y no invasiva); el porcentaje de uso de estos y sus características deben ser adecuadas para que las necesidades de cada área se cumplan óptimamente, además, gracias a los avances tecnológicos, es imprescindible estudiar la tecnología biomédica en la actualidad para verificar si estas se acoplan mejor a los requerimientos de las áreas.

### 5.1 Necesidades de las áreas hospitalarias

#### 5.1.1 Cuidados intensivos

La unidad de cuidados intensivos es un área, departamento o instalación especial dentro de un hospital, el cual se encarga de tratar pacientes que ingresan bajo condiciones graves de salud y que, por lo tanto, necesitan que se les proporcione medicina intensiva junto con una continua monitorización de sus signos vitales. Dependiendo de la razón de su ingreso (fallo renal, hipertensión, etc.), los pacientes que requieren de soportes complementario, para el caso de fallos respiratorios, el soporte suministrado principal es la ventilación mecánica.

Así pues, la ventilación mecánica no invasiva en el área de UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) se utiliza sobre todo en enfermedades pulmonares crónicas obstructivas (COPD o EPOC), casos de hipercapnia aguda o crónica, edemas pulmonares, pacientes inmunocomprometidos, trasplantes de medula ósea u otros órganos, etc. En el caso de pacientes que ingresan con COPD, la ventilación no invasiva se hace de gran utilidad ya que, permite reducir la hiperinflación dinámica en la resistencia del paso del aire debido a la aplicación de una presión intratorácica, pero, en casos de neumonía, la ventilación no invasiva no es muy utilizada [34].

Ahora bien, cuando se aplican terapias respiratorias no invasiva o invasiva, existen modos o soportes ventilatorios que se aplican más que otros, la elección depende tanto del médico como del estado de gravedad del paciente. Para el caso de la UCI, los modos de ventilación más utilizados son: CPAP, ya que, permite disminuir el uso de entubación endotraqueal además de permitirle hablar y disminuir la tos; además, si el paciente presenta dificultad para reducir la frecuencia respiratoria y aumentar su volumen tidal, este modo posee la capacidad de controlar esta incidencia al ejercer un valor de PEEP preestablecido, previniendo el colapso alveolar y mejorando de manera progresiva las respiraciones espontáneas [35].

Otro modo de ventilación es presión soporte (PS), es efectivo puesto que, mantiene un valor de volumen corriente adecuado y al mismo tiempo conserva una buena ventilación alveolar. Al ser un modo de ventilación espontáneo, en cada respiración se sostiene un valor de presión constante, permitiendo que el paciente respire la cantidad necesaria, manteniendo la eficiencia de los músculos respiratorios (sin sobre esfuerzo o ausencia del uso del músculo) y generar un trabajo respiratorio.

El modo de ventilación BiPAP, es el modo más utilizado en esta unidad, incrementa la ventilación alveolar sin la necesidad de un acceso artificial (intubación), aumentando no solo la velocidad de recuperación del paciente si no que reduce el trabajo respiratorio [36]. Para la UCI, es indispensable tener los modos BIPAP y CPAP para el tratamiento de pacientes de tipo cardio-respiratorio, aunque, al tratarse de modos no invasivos, el seguimiento de la tolerancia de un paciente frente al equipo, el uso del modo adecuado, la aplicación de la interfase apropiada, posibilitan el éxito de la VMNI evitando generar fugas innecesarias e incomodidad hacia el paciente.

Para prevenir aspectos como las fugas, los equipos dispuestos en esta área deben poder detectarlas cuando se encuentran fuera de los parámetros normales y compensarlas correctamente, manteniendo el mayor grado de sincronización con el paciente. Además, los equipos deben realizar una monitorización continua, permitiendo visualizar aspectos como: frecuencia respiratoria, volumen corriente espirado, saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca, entre otros parámetros y herramientas que facilitan la vigilancia y el control de la situación clínica del paciente.

La ventilación mecánica invasiva en esta área juega también un papel importante, es utilizada para tratar casos como, hipercapnia aguda o neumonía. Los ventiladores, deben ser aptos para MRI (Imágenes de Resonancia Magnética) ya que son imágenes necesarias en la ejecución del procedimiento de intubación. Es así como la UCI, es el área que más requerimientos en cuanto a la ventilación mecánica tiene, además de hacer uso de varios soportes y terapias (VMNI, VMI y OAF), requiere una correcta monitorización, sincronización del equipo-paciente, facilidad de transporte, alto rendimiento de baterías, entre otros.

### 5.1.2 Urgencias

El área de urgencias tiene como función valorar al paciente ingresado para posteriormente diagnosticar, observar, tratar o de ser necesario, trasladar a otras áreas hospitalarias según el estado de gravedad del paciente. El uso de la ventilación mecánica no invasiva en el área de urgencias es de vital importancia para aquellos pacientes que ingresan con insuficiencia respiratoria, como infecciones respiratorias, EPOC, bronquitis aguda, disnea, asma, etc. [37].

La aplicación temprana de las terapias de VMNI juega un papel importante, puesto que, permite disminuir la estancia hospitalaria y las complicaciones durante ella y a su vez mejorar la frecuencia

respiratoria. Esto conduce a hacer uso de modos de ventilación que contribuyan al éxito de la aplicación de este soporte; los modos más utilizados son CPAP y BIPAP, ya que permiten mejorar edemas de pulmonares, agudizaciones hipercapnias de EPOC, deficiencia respiratoria, acidosis respiratoria, entre otros. Para el caso de la BIPAP, el modo espontaneo temporalizado (S/T) es de especial uso [38].

Un aspecto importante en esta área en relación con la monitorización del paciente es el hecho de utilizar herramientas tales como: gasometría, gráficas de flujo y presión y pulsioximetría para determinar que protocolo seguir para el paciente, por ejemplo, trasladarlos hacia otras áreas especializadas. Ciertamente, urgencias, es un área transitoria y efectúa un alto número de traslados de pacientes a través del hospital, por ello, los equipos en esta área deben tener la capacidad de trasladarse versátil y cómodamente. A modo de ejemplo, el neumólogo y coordinador del Servicio de Urgencias del Complejo Asistencial Universitario de Burgos, Adolfo Simón Rodríguez, expone el procedimiento a seguir para pacientes que presentan exacerbaciones de EPOC [37], este consta de: realizar la medición de coeficientes edad, peso, Ph, gasometría, entre otros (figura 5.1), en conjunto con una intervención temprana para prevenir que los pacientes no desarrollen un mayor grado de insuficiencia respiratoria y, que la VMNI sea más beneficiosa acelerando el proceso de recuperación.

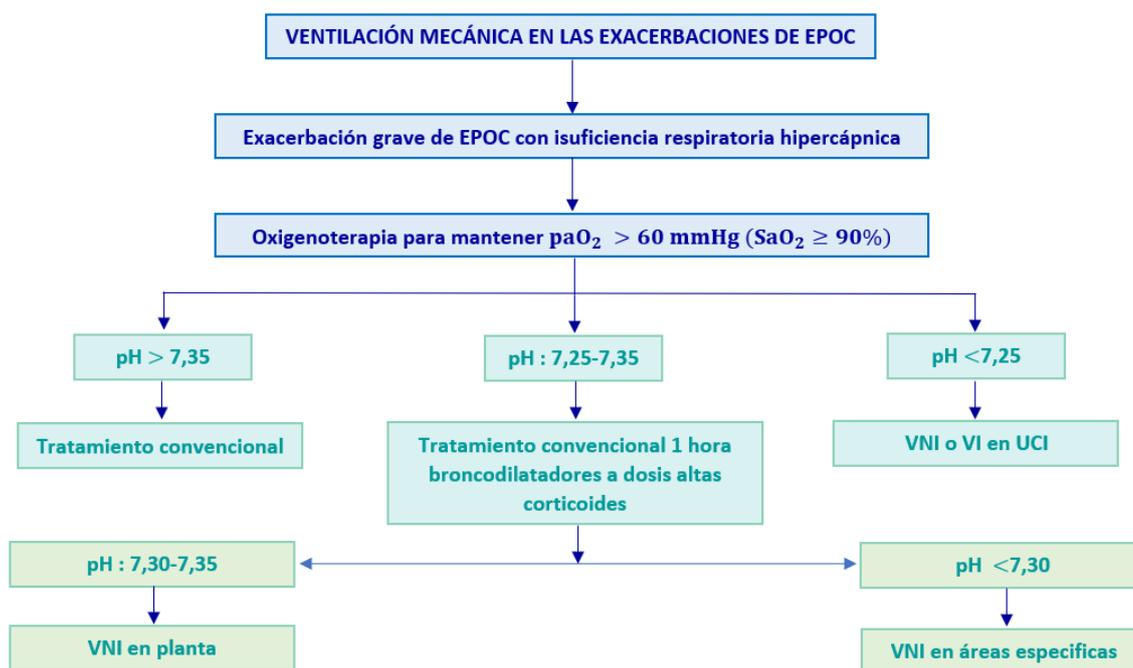


Figura 5.1 Ventilación mecánica no invasiva en las exacerbaciones de EPOC [37]

Para situaciones donde el nivel de gravedad del paciente es elevado, la VMNI no suele ser la mejor opción; otros soportes ventilatorios o terapias como la ventilación mecánica invasiva y la terapia de

alto flujo, benefician al paciente y estabilizarían su situación clínica mientras otras áreas que tratan pacientes en este estado comienzan sus procedimientos. Por lo anterior, urgencias debe tener ciertos equipos que tengan estos soportes para prevenir situaciones de esa índole.

### 5.1.3 Neumología

El servicio de neumología es un área hospitalaria especializada en el tratamiento de patologías respiratorias o lesiones en las vías respiratorias mediante una exploración física y la ejecución de pruebas complementarias. Las enfermedades que más se presentan, son aquellas que abarcan una deficiencia dentro del aparato respiratorio a largo plazo [39]. La ventilación mecánica no invasiva, es el tipo de soporte más utilizado por esta área para tratar estas enfermedades gracias a la alta aplicabilidad que tiene, como es el caso de pacientes en estado de hipoxemia como COPD o EPOC. De igual manera, el área de neumología trata pacientes que presentan insuficiencias cardíacas y que, en la mayoría de los casos, son pacientes relativamente estables o que no corren un alto riesgo ante una repentina insuficiencia respiratoria.

Para atenuar los costos, disminuir la probabilidad de sobrepoblación en el servicio de neumología y teniendo en cuenta las condiciones de cada paciente, esta área utiliza la ventilación domiciliaria como ayuda complementaria. Se define, como una medida terapéutica de apoyo para el tratamiento de cuadros de insuficiencia respiratoria aguda grave desde el hogar de cada paciente [40]; permitiendo mejorar la calidad de vida, aumentando la duración de las medidas de soporte ventilatorias aplicadas para el tratamiento respiratorio, sin alargar la incomodidad de largas estancias en el hospital. Por tal motivo, utiliza ciertos equipos dispuestos por el hospital y otros que le pertenecen al paciente.

En cuanto a los modos de ventilación más utilizados y aspectos de la monitorización del paciente, en esta área hospitalaria, la BiPAP, CPAP, el modo espontáneo y asistido controlado son los modos más usados. La capnografía y oximetría ofrecen una gran ayuda en la vigilancia del paciente [41]. Finalmente, la clave del uso de la VMNI en esta área va ligado a la disponibilidad y el uso de las interfaces adecuadas, puesto que, dependiendo de si se tiene interfaces controladas por volumen o presión y el tipo de tubuladura, su aplicabilidad varía, a la vez que previene ulceraciones.

### 5.1.4 Cuidados intermedio o semicríticos

La unidad de cuidados intermedios o semicríticos, se encarga del tratamiento y atención de aquellos pacientes relativamente estables, pero que, debido a varias causas necesitan continuar bajo monitorización y de ser necesario utilizar distintas medidas terapéuticas de soporte vital en caso de presentar una repentina insuficiencia. Por ello, existen criterios que permiten identificar si el paciente pertenece o no a esta área como se muestra en la figura 5.2 [13].



Figura 5.2 Criterios de ingreso en una unidad de semicríticos.

El área de semicríticos está diseñada para atender aquellos pacientes respiratorios con niveles de gravedad intermedia o que no se encuentran en estado crítico y su estancia en áreas como la UCI no se hace del todo necesario. Esta área requiere de un buen nivel de monitorización y tratamiento no invasivo en sus equipos, además, recientemente se ha añadido en un porcentaje considerable, la combinación de periodos de oxigenoterapia de alto flujo y periodos de VMNI [42].

Para el caso de la ventilación mecánica invasiva, esta área trata en lo menor posible de tener pacientes intubados, con la excepción de pacientes que se encuentran en el proceso de destete o postoperatorios. Lo anterior significa una ventaja, en especial para los pacientes que presentan EPOC entre otras enfermedades similares, ya que, se aplica tratamientos mediante la ventilación no invasiva,

disminuyendo el riesgo de adquirir alguna infección al albergar un pequeño número de pacientes. En cuanto a modos de ventilación más usados, se encuentran, el PS (Presión soporte), seguido de BiPAP y CPAP.

## 5.2 Adecuación de la ventilación mecánica

Uno de los objetivos principales en el sistema de salud es prestar la mejor calidad del servicio en el cuidado, atención y tratamiento de los pacientes, apoyándose en todas las herramientas posibles y dependerá de la tecnología que posea para mejorar la eficiencia de cada servicio. Para ello, es necesario verificar si los equipos cumplen con este objetivo y, en caso de no cumplir, realizar la correspondiente evaluación tecnológica del mercado, desarrollando un plan de valoración de los equipos médicos. lo anterior, beneficia no solo al servicio médico si no a los pacientes. Para este proyecto, se plantearon una serie de etapas a seguir en el proceso de evaluación tecnológica, estas son [43] [44]:

1. Determinar las necesidades básicas y reales del hospital.
2. Evaluar los recursos ya existentes en el hospital y en el mercado actual.
3. Crear criterios de evaluación basados en aspectos técnicos.
4. Identificar aquellas tecnologías que cubren las necesidades.
5. Distribución de los equipos según las demandas ventilatorias.

### 5.2.1 Equipos y fabricantes

Para centrar este proyecto en un análisis tecnológico, se destinará para cada equipo y fabricantes una etiqueta para denominarlas de esta manera de ahora en adelante. En las tablas 5.1 y 5.2 se muestran estas denominaciones.

TABLA 5.1 ETIQUETAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

EQUIPO	ETIQUETA
<b>Respironics V60</b>	Eq1
<b>Respironics V60 plus</b>	Eq2
<b>Respironics Trilogy 200</b>	Eq3
<b>Respironics V680</b>	Eq4
<b>Draeger Carina</b>	Eq5
<b>Dräger Evita Infinity® V500</b>	Eq6
<b>Hamilton S1</b>	Eq7
<b>sv600</b>	Eq8
<b>Servo-air</b>	Eq9
<b>Stellar 150</b>	Eq10

Puritan Bennet 840+

Eq11

TABLA 5.2 ETIQUETAS DE LOS FABRICANTES SELECCIONADOS

FABRICANTE	ETIQUETA
<b>Phillis Healthcare</b>	Em1
<b>Draeger Medical AG</b>	Em2
<b>Hamilton Medical</b>	Em3
<b>Mindray</b>	Em4
<b>GETINGE</b>	Em5
<b>RESMED</b>	Em6
<b>Covidien Puritan Bennett</b>	Em7

## 5.2.2 Criterios de evaluación

Cuando se analizan tecnológicamente los equipos médicos es necesario determinar si estos se adecuan o no a las necesidades de las áreas hospitalarias, para ello, se deben plantear criterios o características que permitan enfocar la búsqueda tecnológica hacia lo que realmente se requiere, detallando todas las características técnicas del equipo indispensables para cada una de las áreas hospitalarias, y de esa manera, evaluar todos equipos bajo los mismos parámetros. A continuación, se mencionarán los criterios utilizados seguido de una breve descripción de cada uno.

- Ventilación mecánica
  - Ventilación mecánica invasiva
  - Ventilación mecánica no invasiva
  - Modos de ventilación mecánica
- Monitorización del paciente
- Ajustes de control
- Oxigenoterapia de Alto flujo
- Bipap y CPAP
- Compensación de fugas
- Baterías
- Configuración flexible del equipo

### **Ventilación mecánica invasiva**

La ventilación mecánica invasiva (VMI) es un procedimiento que suporta u otorga soporte a la función respiratoria del paciente en estado crítico cuando presentan insuficiencia respiratoria aguda, a diferencia de la ventilación mecánica no invasiva, se emplea haciendo uso de un tubo endotraqueal, colocando una sonda para abrir las vías respiratorias y suministrar oxígeno. A pesar de que este documento se centra en la ventilación mecánica no invasiva, es necesario tener en cuenta este tipo de soporte invasivo ya que, algunas áreas del hospital hacen uso de este soporte, es por eso, que se tomara como criterio de evaluación [45].

### **Ventilación mecánica no invasiva**

La ventilación mecánica no invasiva es un tipo de soporte ventilatorio que evita hacer uso de la intubación endotraqueal, permite mejorar las complicaciones generadas por la insuficiencia respiratoria aguda (IRA) reduciendo el trabajo respiratorio, aliviando la disnea y mejorando el intercambio gaseoso. Por la facilidad de su uso en áreas además de la UCI y las ventajas que tiene al reducir las complicaciones derivadas de la ventilación mecánica invasiva, los modos y ajustes que posee este soporte son fundamentales y deben ser tomados a consideración.

### **Modos de ventilación mecánica**

La función de los modos de ventilación consiste en acoplarse a las necesidades del paciente para lograr su recuperación; los modos, varían según estas necesidades y pueden ser clasificados. Según Bazan y Subirana en el artículo de "Modalidades de ventilación mecánica" categorizan las modalidades ventilatorias disponibles en tres grupos, estos son: Modos de ventilación convencionales, que corresponden a aquellos que se utilizan más; modos de ventilación alternativos, que se describen como modos que a pesar de que su uso es menos habitual, dan un soporte ventilatorio adicional y, los modos de ventilación complementarios, aquellos que se han introducido en ventiladores mecánicos más recientes o que se encuentran en desarrollo. A continuación, se describirán los modos de ventilación invasiva y no invasiva que pertenecen a cada uno de los grupos mencionados [46].

- Modos de ventilación convencionales
  - Ventilación Asistida-Controlada. ACV.
  - Ventilación Mandatoria Intermitente Sincronizada. SIMV.
  - Ventilación con Presión de Soporte. PSV.
  
- Modos de ventilación alternativos
  - Ventilación Controlada a Presión. PCV.
  - Ventilación con relación I: E invertida.

- Hipercapnia permisiva.
  - Ventilación mandatorio minuto. VMM.
  - Ventilación con liberación de presión. APRV.
  - Ventilación de alta frecuencia. HFV.
  - Presión de soporte con volumen promedio. AVAPS.
  - Volumen soporte. VS.
  - Modo espontaneo. S.
  - Modo espontaneo-tiempo. S/T.
  - Ventilación proporcional asistida. PAV.
- Modos de ventilación complementarios:
    - Ventilación controlada por volumen y regulada por presión. PRVC.
    - Ventilación con soporte adaptativo. ASV.

### **Monitorización del paciente**

La monitorización tiene dos objetivos, proporcionar vigilancia y control de la situación clínica del paciente, aportando seguridad y sirviendo como guía para ajustar o corregir parámetros fisiológicos que no se encuentran dentro de los valores normales. La ventilación mecánica debe someterse a una estrecha vigilancia que incluye aspectos relacionados con el paciente, el ventilador y con el intercambio gaseoso, estos son [47]:

- Sincronía paciente-respirador.
- Frecuencia respiratoria.
- Nivel de consciencia.
- Hemodinámica/diuresis.
- Nivel de fugas.
- Frecuencia cardíaca y saturación de O<sub>2</sub>
- Pulsioximetría continua.
- Gasometría arterial.
- Datos de volumen espirado y fugas.
- Curvas de flujo y presión.
- Alarmas: del respirador (desconexión, volumen mínimo, presión máxima...) y de los monitores empleados (desaturación, bradicardia-taquicardia...).
- Medidas no invasivas de CO<sub>2</sub>: PCO<sub>2</sub> transcutánea o PCO<sub>2</sub> espirado.
- Datos de la mecánica respiratoria (Volumen corriente, volumen tidal. Etc.).

### **Ajustes de control**



Los ajustes de control surgen con la finalidad de responder de forma efectiva a los cambios que se producen durante la asistencia ventilatoria del paciente, para mejorar la interacción entre el paciente y el ventilador, algunas de las funciones de los ajustes de control son: modificar el soporte durante el ciclo respiratorio, modificar parámetros del ventilador dentro del mismo ciclo, mejorar la sincronización del paciente, evaluar los datos ingresados, entre otros. A continuación, se mencionarán algunos ajustes de control junto con una breve descripción:

- Ventilación en apnea: Para conmutar automáticamente a control de volumen, respiración obligatoria en caso de producirse una apnea.
- *AutoFlow*: Autorregula el flujo y la presión mínima necesaria en cada respiración, para obtener el volumen deseado.
- Rampa: Reduce la presión y después la aumenta (rampa) gradualmente hasta alcanzar el valor prescrito de la presión para que los pacientes puedan dormirse más cómodamente.
- *C-flex*: Mejora la CPAP tradicional reduciendo la presión al comienzo de la exhalación y volviendo a la presión CPAP establecida antes de que finalice la exhalación.

De manera complementaria, algunos ajustes de control permiten mejorar la sincronización con el paciente, entre esos se encuentran los siguientes: Auto Mode, compensación automática del tubo endotraqueal (ATC), flujo continuo (*Flow-by*), patrón espontaneo amplificado (PEA), ventilación asistida proporcional (PAV), *AutoTrack sensibility*, entre otros.

### **Oxigenoterapia de Alto flujo**

La oxigenoterapia de alto flujo, como se mencionó en apartados anteriores, consiste en aplicar un flujo de oxígeno a una temperatura y concentración de oxígeno constante permitiendo mejorar el rendimiento y la tolerancia respiratoria del paciente. Actualmente el uso del alto flujo ha ido incrementando con el paso de los años por su efectividad en la recuperación del paciente, por esta razón, se ha optado por alternar su uso con la ventilación mecánica no invasiva y considerarse como criterio de evaluación.

### **BiPAP y CPAP**

Dentro de lo que conlleva la VMNI, se destacan dos modos de ventilación más aplicados, estos son, la CPAP y la BiPAP. La CPAP o presión continua en la vía aérea es un modo de ventilación de carácter espontaneo, consta de aplicar una presión continua en la vía aérea (PEEP) para reducir el colapso alveolar y de esa manera mejorar el intercambio gaseoso al disminuir el trabajo respiratorio.

La BiPAP, es otra modalidad de carácter espontaneo/asistido la cual suministra dos niveles de presión: IPAP (Nivel de presión durante la inspiración) y EPAP (Nivel de presión durante la espiración),

otorgando un grado de descanso muscular, aumento del volumen corriente, corrección de la hipercapnia, entre otras ventajas. Por sus características que benefician al paciente y su alto uso, la BiPAP y CPAP se toman como un criterio de evaluación individual.

### **Compensación de fugas**

Uno de los problemas que presenta la VMNI es el problema de las fugas. El equipo debe permitir un nivel mínimo de fugas; la capacidad de los equipos de generar un flujo continuo, tener turbina integrada o poseer una válvula de solenoi, permiten que los equipos compensen fugas. Existen distintas formas de compensar fugas, entre ellas se encuentran: equipos capaces de tolerar fugas intencionadas que se dan a través de la interfase, aquellos que compensan las fugas no intencionadas sin necesidad de un puerto exhalatorio al trabajar con dos tubuladuras, equipos que poseen válvulas espiratorias integrada, entre otros. Por tal motivo la compensación de fugas es un criterio vital para el éxito en la VMNI [48] [49].

### **Baterías**

La función de las baterías internas consta de dar autonomía al equipo al suministrar una alimentación continua en caso de que se genere una interrupción de la corriente alterna o en los casos en que sea necesario trasladar al paciente a través del hospital; para aquellas situaciones, la duración de la batería es de gran importancia para prevenir alguna incidencia. Dependiendo del área en las que se encuentre el paciente, la relevancia en la duración de las baterías internas varía.

### **Configuración flexible del equipo**

Para algunas áreas, durante un día laboral, el traslado de los equipos a través de ellas es algo que se presenta constantemente, esto incluye, no solo a lo largo de toda la unidad hospitalaria, si no dentro de los mismos boxes (donde se dispone al paciente). Lo anterior es importante puesto que la versatilidad de disposición del equipo facilita su uso por parte del personal médico sin generar un límite de movilidad representativo cuando estos se encuentran atendiendo al paciente.

## **5.2.3 Niveles de ventilación mecánica de los equipos**

Una vez los criterios han sido establecidos, se elaboraron dos tablas, una para los equipos (tabla 5.3) y otra para las áreas hospitalarias (tabla 5.4), en ellas, se establecieron tres niveles de ventilación para cada criterio de evaluación descrito, donde el nivel bajo hace referencia a los mínimos requerimientos, el nivel básico a los requerimientos básicos y el nivel alto, los requerimientos ideales para cada área hospitalaria.

TABLA 5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE VENTILACIÓN MECÁNICA DESTINADA A LOS EQUIPOS

Criterios / Nivel de Ventilación Mecánica	Nivel I	Nivel II	Nivel III
<b>Ventilación mecánica no invasiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modos de ventilación de carácter no invasivo con algunas o todas las modalidades ventilatorias convencionales; en caso de falta de modalidades convencionales, se complementan con algunas modalidades alternativas.</li> <li>• Tiene interfaces básicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modos de ventilación de carácter no invasivo con todas las modalidades ventilatorias convencionales y algunas de modalidades alternativas o complementarias.</li> <li>• Posee varias interfaces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modos de ventilación de carácter no invasivo con todas las modalidades ventilatorias convencionales, un gran número de modalidades ventilatorias alternativas y algunas modalidades complementarias.</li> <li>• Posee una gran variedad de interfaces.</li> </ul>
<b>Monitorización del paciente</b>	Permite monitorizar y/o visualizar pocos o algunos parámetros especificados en la sección 5.2.2	Permite monitorizar y/o visualizar gran parte de los parámetros especificados en la sección 5.2.2, mostrando gráficos informativos	Permite monitorizar y/o visualizar todos los parámetros especificados en la sección 5.2.2, mostrando gráficos informativos y pulsioximetría.
<b>Ajustes de control de los modos de ventilación</b>	Tiene pocos ajustes de control que mejoran la interacción paciente-ventilador para complementar de una manera más eficiente la ventilación mecánica.	Posee ajustes de control que permiten mejorar la interacción paciente-ventilador, especialmente la sincronización.	Tiene varios ajustes de control que mejoran la interacción paciente-ventilador (incluye sincronización del paciente) para complementar de una manera más eficiente la ventilación mecánica.
<b>Alto flujo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo no posee la modalidad de alto flujo.</li> <li>• Posibilidad de añadir un humidificador externo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo tiene modalidad de alto flujo con la capacidad de otorgar máximo 60 L/minuto.</li> <li>• Posibilidad de añadir un humidificador externo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo tiene modalidad de alto flujo con la capacidad de otorgar más de 60 L/minuto.</li> <li>• El equipo incluye humidificador.</li> </ul>
<b>BIPAP y CPAP</b>	Tiene el modo de ventilación CPAP o BIPAP.	Tiene el modo de ventilación CPAP y BIPAP tradicionales con algunos ajustes de control que mejoran estos modos.	Tiene el modo de ventilación CPAP y BIPAP completos, además de una gran cantidad de algoritmos o ajustes de control que permiten complementar los modos CPAP o BIPAP tradicional.

<b>Ventilación invasiva</b>	El equipo no posee la capacidad de ventilación invasiva o, sus modos de ventilación de carácter invasivo con algunas o todas las modalidades ventilatorias convencionales; en caso de falta de modalidades convencionales, se complementan con algunas modalidades alternativas.	Modos de ventilación de carácter invasivo con todas las modalidades ventilatorias convencionales y algunas de modalidades alternativas o complementarias.	Modos de ventilación de carácter invasivo con todas las modalidades ventilatorias convencionales, un gran número de modalidades ventilatorias alternativas y algunas modalidades complementarias.
<b>Compensación de fugas</b>	El equipo no tiene la capacidad de compensar fugas.	El equipo tiene la capacidad de compensar las fugas (menor a 100 L/min) en algunos modos de ventilación y una alta velocidad de respuesta de las fugas.	El equipo tiene la capacidad de reconocer y compensa (mayor a 100 L/min) automáticamente las fugas accidentales intencionadas y no intencionadas fluctuantes de forma dinámica.
<b>Batería</b>	Batería de respaldo, con una duración entre 1 y 2 horas de batería externa.	Batería de respaldo, con una duración entre 3 y 4 horas de batería externa.	Batería de reserva intercambiable en funcionamiento con una duración de más de 4 horas de batería.
<b>Configuración flexible del dispositivo</b>	Sin posibilidad de configurar le ventilador de diferentes formas o únicamente un modo de configuración (carro, repisa, etc.).	Posibilidad de configurar el equipo de formas diferentes para personalizar el dispositivo a su entorno, pero de manera limitada (una o dos maneras).	Posibilidad de configurar el equipo de formas diferentes para personalizar el dispositivo a su entorno, mediante el uso de carro, montaje en la parte superior como la frontal de la unidad de ventilación, repisas, montaje lateral, ajuste de orientación y ángulo del monitor.

TABLA 5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE VENTILACIÓN MECÁNICA DESTINADA A LAS ÁREAS HOSPITALARIAS

Criterios / Nivel de Ventilación Mecánica	Nivel Bajo	Nivel Medio	Nivel Alto
<b>Ventilación mecánica no invasiva</b>	Área hospitalaria donde la necesidad del área requiere de una VMNI suficiente para suplir las condiciones básicas del área y tratar al paciente sin necesidad de equipos de alta gama en VMNI.	Área hospitalaria que utiliza en un porcentaje considerable la VMNI, pero, también requiere de otros tipos de soporte ventilatorio por lo que los equipos deben tener un buen nivel de VMNI, sin necesidad de un alto grado tecnológico.	Área hospitalaria en la cual, según sus necesidades, deben tener equipos de carácter fuerte o alto en VMNI ya que es el tipo de soporte más utilizado, permitiendo variar y trabajar a través de distintas modalidades ventilatorias y ajustarse sin problema a las condiciones del paciente para su correcta asistencia.
<b>Monitorización del paciente</b>	Área hospitalaria que no necesita de una monitorización del paciente completa, pero que sus equipos permitan visualizar distintos parámetros básicos para poder suplir las necesidades de cada área.	Área hospitalaria que no necesita de un alto grado de vigilancia, pero que si requiere obtener algunos parámetros relacionados con el paciente de manera rápida y eficiente mediante herramientas para representar gráficamente la interacción entre el paciente y el ventilador.	Área hospitalaria que necesita de un alto grado de vigilancia, en la cual el personal debe tener como soporte equipos que permitan obtener aspectos relacionados con el paciente y el ventilador, de una manera rápida y efectiva.
<b>Ajustes de control de los modos de ventilación</b>	Área hospitalaria en la que los ajustes de control son básicos de tal manera que permitan favorecer los cambios que se producen durante la asistencia ventilatoria del paciente.	Área hospitalaria que requiere de equipos con ajustes de control que favorecen a los cambios producidos durante la asistencia ventilatoria del paciente y mejoren la sincronización paciente-ventilador.	Área hospitalaria que necesita de un alto número de ajustes de control en sus equipos, permitiendo mejorar y asistir los modos de ventilación durante todo el ciclo respiratorio, manteniendo una sincronización paciente-ventilador.
<b>Alto flujo</b>	Área hospitalaria que no hace un gran uso de la terapia de alto flujo, por lo que no necesita que los equipos tengan este tipo de soporte ventilatorio.	Área hospitalaria que requiere que ciertos equipos posean la modalidad de alto flujo o que tengan la capacidad de configurarse de tal manera que sea posible aplicar oxigenoterapia.	Área hospitalaria que utiliza en un gran porcentaje la modalidad de alto flujo en el tratamiento de pacientes con insuficiencia respiratoria aguda mediante equipos incorporados con esta terapia.

<b>BIPAP y CPAP</b>	Área hospitalaria que solo requiere o bien el modo de ventilación CPAP o el modo de ventilación BIPAP.	Área hospitalaria que requiere tener los modos de ventilación CPAP y BIPAP pero que, con tener uno de los tres tipos de BIPAP, es suficiente.	Área hospitalaria que requiere de los modos de ventilación CPAP y BIPAP completos.
<b>Ventilación mecánica invasiva</b>	Área hospitalaria que requiere de una VMI suficiente para suplir las condiciones básicas del área y tratar al paciente sin necesidad de equipos de alta gama en VMI.	Área hospitalaria que utiliza en un porcentaje considerable la VMI, pero, también requiere de otros tipos de soporte ventilatorio por lo que los equipos deben tener un buen nivel de VMI.	Área hospitalaria en la cual debe trabajar con equipos de carácter fuerte en VMI, permitiendo variar y trabajar a través de distintas modalidades ventilatorias y ajustarse sin problema a las condiciones del paciente.
<b>Compensación de fugas</b>	Área hospitalaria que sus equipos no requieren compensar fugas.	Área hospitalaria que necesita de equipos que compensen las fugas rápidamente.	Área hospitalaria que requiere de equipos capaces de reconocer y compensar las fugas rápida y automáticamente.
<b>Batería</b>	Área hospitalaria que no requiere que sus equipos tengan una alta duración en sus baterías alternas (entre 1 y 2 horas).	Área hospitalaria que requiere que los equipos tengan una duración de batería alterna entre 3 y 4 horas.	Área hospitalaria que requiere de equipos que tengan la capacidad de durar más de 4 horas sin estar conectados a la corriente alterna.
<b>Configuración flexible del dispositivo</b>	Área hospitalaria que no necesita de un alto número de formas de disposición del equipo al entorno, es decir que debe permitir moverse, pero que con su disposición estándar sea suficiente.	Área hospitalaria que requiere que el equipo tenga fácil movilidad a través del espacio de trabajo, pero, no necesita de altas configuraciones o formas de adecuación del equipo.	Área hospitalaria que necesita que el equipo se adecue de distintas formas para personalizar el dispositivo a su entorno dentro del área para dar comodidad espacial y fácil manejo del equipo.

A partir de las tablas elaboradas anteriormente, se realizó una ponderación para cada uno de los equipos y áreas hospitalarias en cada criterio de evaluación, en las tablas 5.5 y 5.6 se muestran los resultados obtenidos.

TABLA 5.5 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS SEGÚN LA TABLA DE NIVELES DE VENTILACIÓN MECÁNICA

Características / Área hospitalaria	EQUIPOS										
	Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5	Eq6	Eq7	Eq8	Eq9	Eq10	Eq11
Ventilación mecánica no invasiva	M	M	B	A	B	M	M	M	M	B	B
Monitorización del paciente	M	M	B	A	M	A	A	M	M	A	M
Ajustes de control	M	M	M	M	B	M	M	M	B	M	B
Alto flujo	B	A	B	B	B	M	M	M	M	B	B
BIPAP y CPAP	M	M	A	M	M	A	B	M	B	A	M
Ventilación mecánica invasiva	B	B	B	M	B	A	M	A	M	B	M
Compensación de fugas	A	A	A	M	M	A	M	A	A	A	B
Batería	A	A	M	M	B	M	B	M	M	B	B
Configuración flexible del dispositivo	B	B	B	B	B	B	A	B	M	B	B

**B = Bajo, M = Medio/Básico y A = Alto**

TABLA 5.6 CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS HOSPITALARIAS SEGÚN LA TABLA DE NIVELES DE VENTILACIÓN MECÁNICA

Características / Área hospitalaria	ÁREAS HOSPITALARIAS			
	Neumología	UCI	Semicríticos	Urgencias
Ventilación mecánica no invasiva	A	M	A	M
Monitorización del paciente	M	A	A	B
Ajustes de control	M	M	M	B
Alto flujo	B	A	A	B
BIPAP y CPAP	A	M	A	M

<b>Ventilación mecánica invasiva</b>	B	M	M	B
<b>Compensación de fugas</b>	M	M	M	M
<b>Batería</b>	M	M	A	B
<b>Configuración flexible del dispositivo</b>	B	A	M	B
<b>B = Bajo, M = Medio/Básico y A = Alto</b>				

### 5.3 Proceso de decisión

El proceso de decisión está compuesto por tres etapas denotadas como *Input*, *Body* y *Output*. El código que elabora este proceso de decisión se desarrolló en lenguaje *Python* mediante *Project Jupyter* (Anexo A3).

#### ***Input:***

Esta etapa concierne a la entrada y lectura de los datos necesarios para realizar el proceso de decisión, corresponden a las valoraciones otorgadas a los equipos y las áreas hospitalarias en cada criterio de evaluación (Figuras 5.3 y 5.4); representados en forma numérica, es decir, las ponderaciones de: Bajo, Básico/Medio y Alto, tendrán un valor de 1,2 y 3 respectivamente. En la figura 5.5 se muestra un diagrama de flujo que explica esta etapa.

	NEUMO	UCI	SC	URG	weights
<b>Características / Área hospitalaria</b>					
Ventilación mecánica no invasiva	3	2	3	2	2
Monitorización del paciente	2	3	3	1	1
Ajustes de control	2	2	2	1	1
Alto flujo	1	3	3	1	2
BIPAP y CPAP	3	2	3	2	2
Ventilación mecánica invasiva	1	2	1	1	2
Compensación de fugas	2	2	2	2	1
Batería	2	2	3	1	1
Configuración flexible del dispositivo	1	3	2	1	1

Figura 5.3 Calificación de las áreas de forma numérica y con sus correspondientes pesos. Donde NEUMO: neumología, UCI: unidad cuidados intensivos, UCRI: unidad cuidados intermedios y URG: urgencias.

	Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5	Eq6	Eq7	Eq8	Eq9	Eq10	Eq11
Ventilación mecánica no invasiva	2	2	1	3	1	2	2	2	2	1	1
Monitorización del paciente	2	2	1	3	2	3	3	2	2	3	2
Ajustes de control	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1
Alto flujo	1	3	1	1	1	2	2	2	2	1	1
BIPAP y CPAP	2	2	3	2	2	3	1	2	1	3	2
Ventilación mecánica invasiva	1	1	1	2	1	3	2	3	2	1	2
Compensación de fugas	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1
Batería	3	3	2	2	1	2	1	2	2	1	1
Configuración flexible del dispositivo	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1

Figura 5.4 Calificación de los equipos de forma numérica para cada uno de los criterios de evaluación.

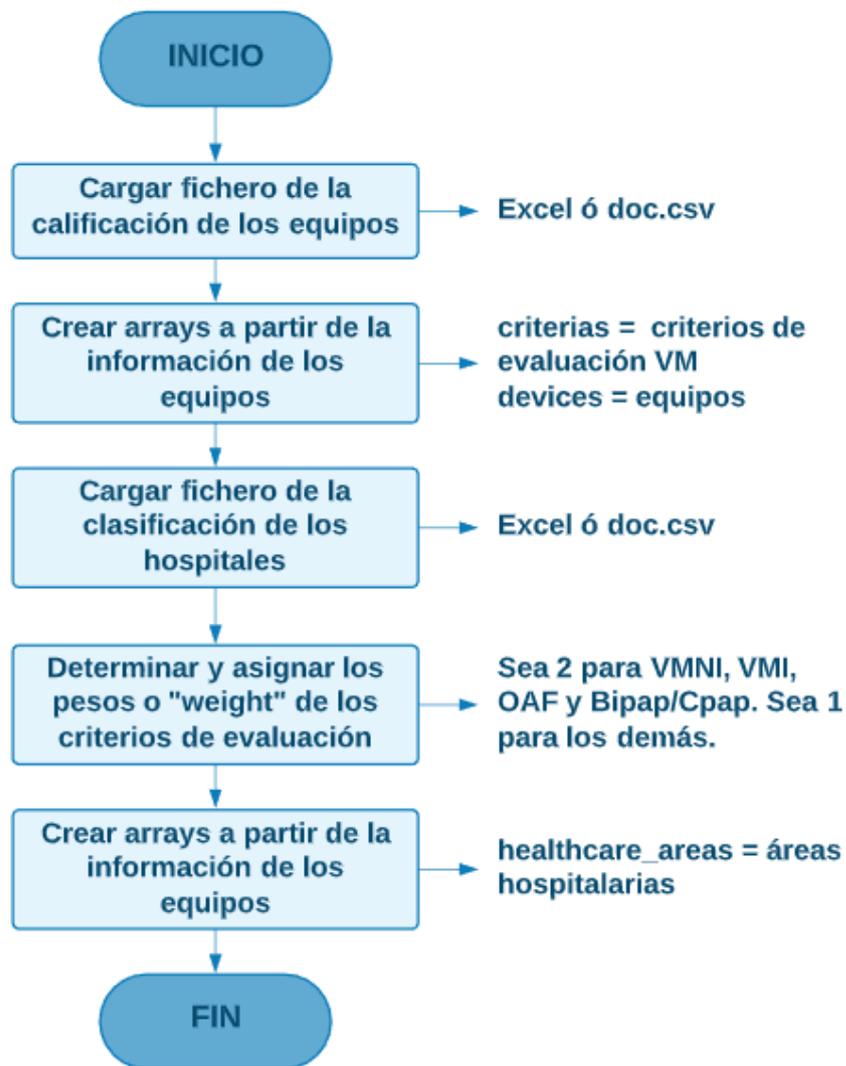


Figura 5.5 Diagrama de flujo de la etapa *Input* (Entrada/lectura de datos).

Los “*weights*” o pesos, corresponden al valor asociado a un número para cada uno de los criterios de evaluación. En este caso, los criterios ventilación mecánica no invasiva, invasiva, alto flujo y BIPAP/CPAP se expresarán con un peso de 2 (*weight* = 2), mientras que, para los demás criterios, tendrán un peso de 1 (*weight* = 1). Lo anterior se debe a que no todos los criterios seleccionados tienen la misma relevancia, lo que conlleva a distinguirlos mediante pesos.

**Body:**

Esta etapa corresponde a la puntuación de los equipos para cada área hospitalaria, donde según la calificación que se le dé, mostrara la idoneidad de los equipos frente a las necesidades básicas en cada una de las áreas. El proceso de calificación consta de las siguientes indicaciones:

- Caso A: Peso donde el criterio de evaluación es 2:
  - Si la calificación del equipo a comparar en el criterio que se encuentra es igual o mayor a la calificación del área que se está evaluando en el mismo criterio, este tendrá una valoración de un 3.
  - Si la calificación del equipo a comparar en el criterio que se encuentra es mayor a 1, pero menor al requerimiento de cada área en el mismo criterio, este tendrá una valoración de un 2.
- Caso B: Peso donde el criterio de evaluación es 1:
  - Si la calificación del equipo a comparar en el criterio que se encuentra es igual o mayor a la calificación del área que se está evaluando en el mismo criterio, este tendrá una valoración de un 2.
  - Si la calificación del equipo a comparar en el criterio que se encuentra es mayor a 1, pero menor al requerimiento de cada área en el mismo criterio, este tendrá una valoración de un 1.

A partir de las indicaciones anteriores, el procedimiento para puntuar los equipos en cada área hospitalaria se muestra en la figura 5.6.



A continuación (figura 5.7), se mostrará la puntuación final para cada uno de los equipos en función de las necesidades de cada una de las áreas hospitalarias.

	Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5	Eq6	Eq7	Eq8	Eq9	Eq10	Eq11
NEUMO	19	19	15	19	14	19	15	18	15	14	12
UCI	13	16	9	17	6	19	16	18	14	7	7
UCRI	11	14	8	15	5	17	15	15	13	7	6
URG	22	22	19	22	19	22	19	22	19	17	17

Figura 5.7 Calificación de los equipos de forma numérica para cada uno de los criterios de evaluación. Donde NEUMO: neumología, UCI: unidad cuidados intensivos, UCRI: unidad cuidados intermedios y URG: urgencias.

### **Output:**

En esta etapa los resultados obtenidos, en este caso, las puntuaciones de los equipos en cada una de las áreas hospitalarias se mostraron gráficamente para su análisis, el proceso se describe a continuación en la figura 5.8.

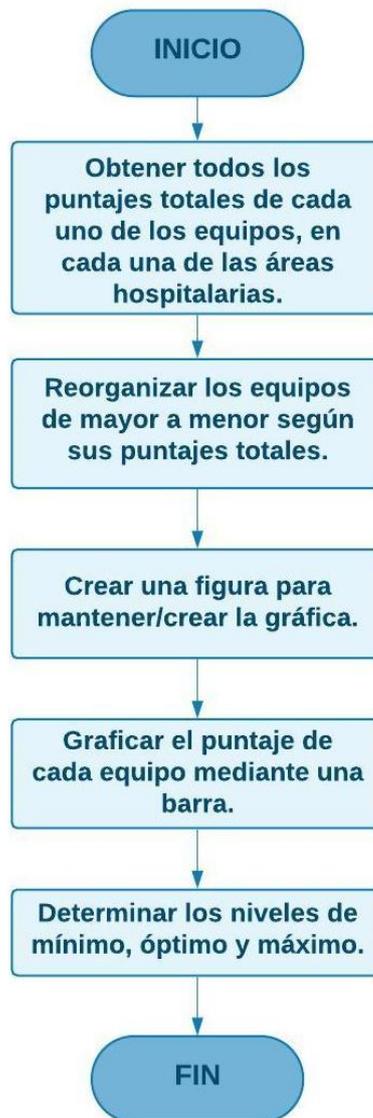


Figura 5.8 Diagrama de flujo de las fases del proceso *Output* (Obtención de los datos).

Para clasificar la idoneidad de los equipos en función del área hospitalaria de uso, se etiquetaron en tres grupos, definidos como: mínimo, óptimo e ideal. En la tabla 5.7 se muestran los valores de referencia de cada etiqueta.

- Etiqueta ideal: se obtiene mediante la sumatoria de las ponderaciones máximas que se le puede asignar a cada equipo en cada criterio, es decir, para los criterios con peso 2, la ponderación máxima es un 3 mientras que para los criterios con peso 1, la ponderación

máxima corresponde a un 2. Al sumar dichos valores para todos los criterios de evaluación, se obtendrá la franja ideal.

- Etiqueta óptima: se obtiene mediante la sumatoria de las ponderaciones mínimas que se le puede dar a cada equipo en cada criterio, es decir, para los criterios con peso 2, la ponderación mínima es un 2 mientras que para los criterios con peso 1, la ponderación mínima corresponde a un 1. Al sumar dichos valores para todos los criterios de evaluación, se obtendrá la franja óptima.
- Etiqueta mínima: Consta de la sumatoria de todos los criterios de evaluación con un valor en todos de 1 (ponderación que expresa los requerimientos mínimos). De esa manera, se obtendrá la franja mínima.

TABLA 5.7 VALOR DE LAS ETIQUETAS DE IDONEIDAD DE LOS EQUIPOS

<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>9</b>	<b>13</b>	<b>22</b>

## 6. Optimización y redistribución

### 6.1 Optimización según las necesidades hospitalarias

Los equipos estudiados han pasado por un proceso de decisión, donde para cada una de las áreas se obtuvieron distintas ponderaciones que representaban el grado de adecuación a sus requerimientos. De ese modo, se mostrará a continuación las gráficas correspondientes a cada área hospitalaria con la valoración obtenida para cada uno de los equipos y, para facilitar el análisis de los resultados se delimitaron tres etiquetas: mínimo (rojo), óptimo (azul) e ideal (verde).

La UCI presenta un panorama ambiguo en la idoneidad de los equipos; para comprender esto, se explicarán los aspectos más importantes detectados a partir de la figura 6.1 que corresponde a los resultados de esta área. Comenzaremos por desarrollar las razones de que ciertos equipos no se ajustaran a los requerimientos al no alcanzar la franja mínima. Los criterios de evaluación de alto flujo, compensación de fugas, batería y VMI fueron decisivos para ello. Sea a modo de ejemplo, el requerimiento de las baterías; además de ser útiles en el transporte de pacientes, dan autonomía a los equipos cuando se genera una interrupción de la corriente alterna; en áreas como la UCI que trata pacientes en estado crítico, cualquier interrupción puede ocasionar graves consecuencias, por lo que exige que los equipos en esta área posean una alta durabilidad en sus baterías. Los equipos Eq5, Eq7, Eq10 y Eq11 no desempeñaban correctamente esta característica.

Se otro ejemplo: El uso de la VMI; la UCI, es el área que mayor uso le da, los modos de ventilación y la cantidad de ventiladores con este tipo de soporte ventilatorio, son claves para la recuperación de pacientes en estado crítico, asimismo, esta área aplica terapia de alto flujo combinado con periodos de VMNI por lo que precisa trabajar con equipos de esta índole. Los equipos que no tienen estas características y que, además, no cumplen debidamente con el resto de los criterios, no son admitidos por esta área como es el caso de los equipos Eq5, Eq10 y Eq11.

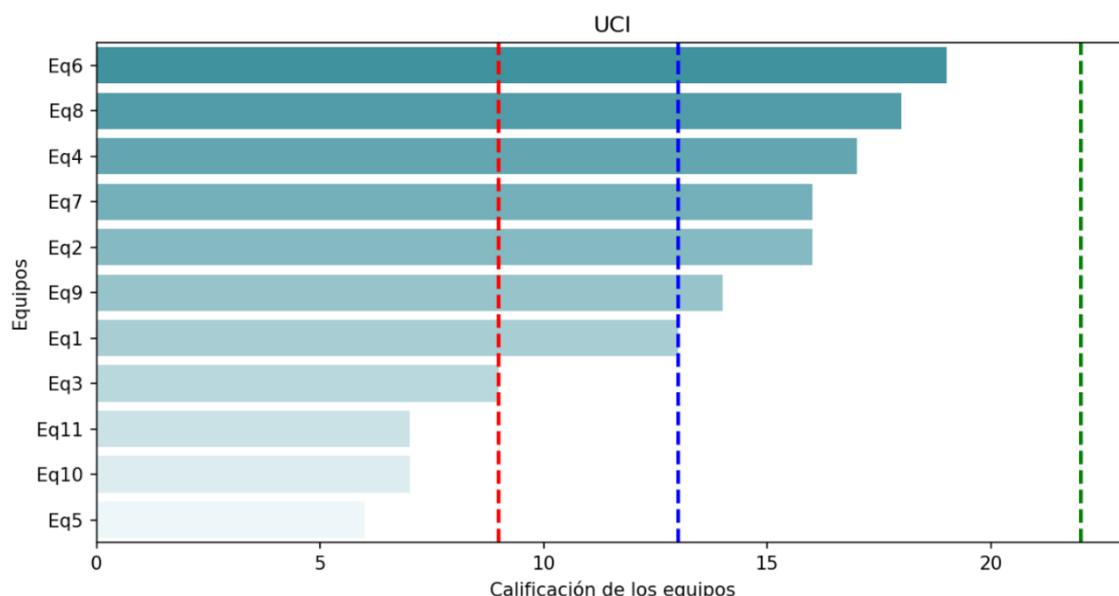


Figura 6.1 Idoneidad de los equipos según las ponderaciones obtenidas del proceso de decisión para la unidad de cuidados intensivos donde la línea roja: franja mínima, la línea azul: franja óptima y la línea verde: franja ideal.

La VMNI y BiPAP/CPAP a pesar de no ser criterios representativos para diferenciar los puntajes entre los equipos, son criterios indispensables para que estos se ajusten correctamente a las necesidades óptimas o ideales; en este caso, la gran mayoría cumplía idealmente con estos requerimientos (véase figura 6.2). Igualmente, el criterio de ajustes de control tampoco significó una gran diferencia entre los equipos; pero, para aquellos que cumplían con la exigencia del área (todos excepto los equipos Eq5, Eq9 y Eq11), tenían la característica de tener ajustes de control que permitían atenuar las modificaciones repentinas y realizarlas progresivamente, otorgando un valor agregado a estos equipos en la idoneidad con el área.

	Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5	Eq6	Eq7	Eq8	Eq9	Eq10	Eq11
NEUMOLOGÍA	2	2	0	3	0	2	2	2	2	0	0
UCI	3	3	0	3	0	3	3	3	3	0	0
SEMICRÍTICOS	2	2	0	3	0	2	2	2	2	0	0
URGENCIAS	3	3	0	3	0	3	3	3	3	0	0

Figura 6.2 Resultado de la ponderación de cada equipo para el criterio de evaluación VMNI para las cuatro áreas hospitalarias.

Finalmente, la configuración flexible del dispositivo presentaba una peculiaridad; recordemos que la configuración flexible corresponde a la versatilidad del equipo a través del área de trabajo. En la UCI, el grado de versatilidad no es un criterio fundamental, pero, beneficia al personal médico por la facilidad de disposición del equipo por todo el “box” donde se ubica el paciente. Como resultado y a partir de sus ponderaciones, únicamente los equipos Eq7 y Eq9 cumplieron con el requerimiento de esta área, lo anterior, nos lleva a pensar que gran parte de los equipos, no consideran esta característica en su diseño a pesar de ser beneficiosa para esta área.

En el área de neumología, a diferencia de la UCI, todos los equipos cumplen con los requerimientos mínimos (franja roja) y, exceptuando por el Eq11, todos cumplen con los requerimientos óptimos del área (franja azul) como se muestra en la figura 6.3. Lo anterior puede deberse a que todos presentan un buen nivel en los criterios de ventilación mecánica no invasiva y en especial el criterio BiPAP/CPAP; en este caso, ambos resultan ser de los criterios más importantes en esta área por el alto uso que se les da. Un claro ejemplo de esto es el caso de los equipos Eq6 y Eq4, sus ponderaciones en estos criterios permiten que sean los equipos que más se acercan a la franja ideal.

La función de los criterios compensación de fugas, monitorización del paciente, batería y ajustes de control, consistieron en determinar que tanto el equipo se aproximaba a los requerimientos ideales para el área, es decir, se comportaban como características complementarias para alcanzar la franja ideal. En cambio, criterios como la ventilación mecánica invasiva, configuración flexible del dispositivo y el alto flujo, no fueron criterios representativos en términos de los resultados obtenidos, ya que, su incidencia en el comportamiento del área es despreciable.

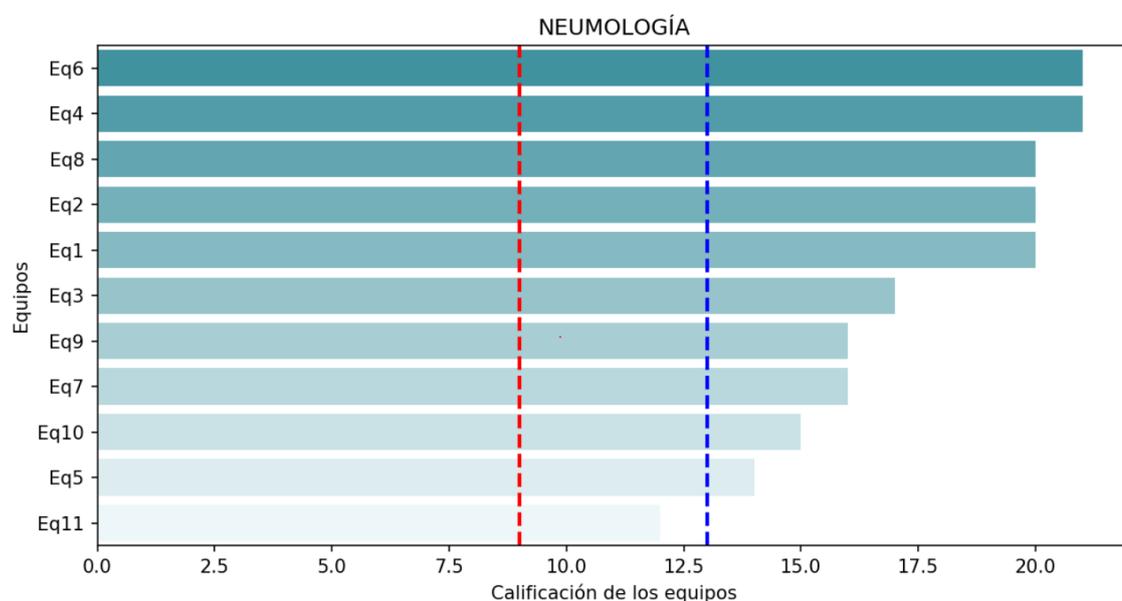


Figura 6.3 Idoneidad de los equipos según las ponderaciones obtenidas del proceso de decisión para el área de neumología, donde la línea roja: franja mínima, la línea azul: franja óptima y la línea verde: franja ideal.

Ahora veamos el área de semicríticos, en ella, los equipos a excepción de Eq5 y Eq11, pasaban la franja de requerimientos mínimos (franja roja). Una razón de ello es que, en esta área, priman los criterios de VMNI y la terapia de alto fujo. Al ser el tipo de soporte y la terapia más utilizadas en esta área y según los resultados obtenidos, para aquellos equipos con las valoraciones altas en ambos criterios, es decir, los equipos Eq1, Eq2, Eq4, Eq6, Eq7, Eq8 y Eq9; atravesaban la franja de requerimientos óptimos ( figura 6.4).

Anotare, sin embargo, que el criterio de evaluación de BiPAP/CPAP, específicamente el modo de ventilación BiPAP, es el modo más empleado. Al observar los resultados, la gran mayoría de los equipos cumplía con las necesidades de este. Así pues, este criterio actuaba de manera complementaria para los criterios fundamentales ya mencionados y, además, permitía diferenciar a los equipos entre sí. Al contrario de la compensación de fugas, la ventilación mecánica invasiva y la configuración flexible del dispositivo que, a pesar de obtener altos puntajes para casi todos los equipos, no dan resultados representativos y por ende se despreciaban como criterios primordiales.

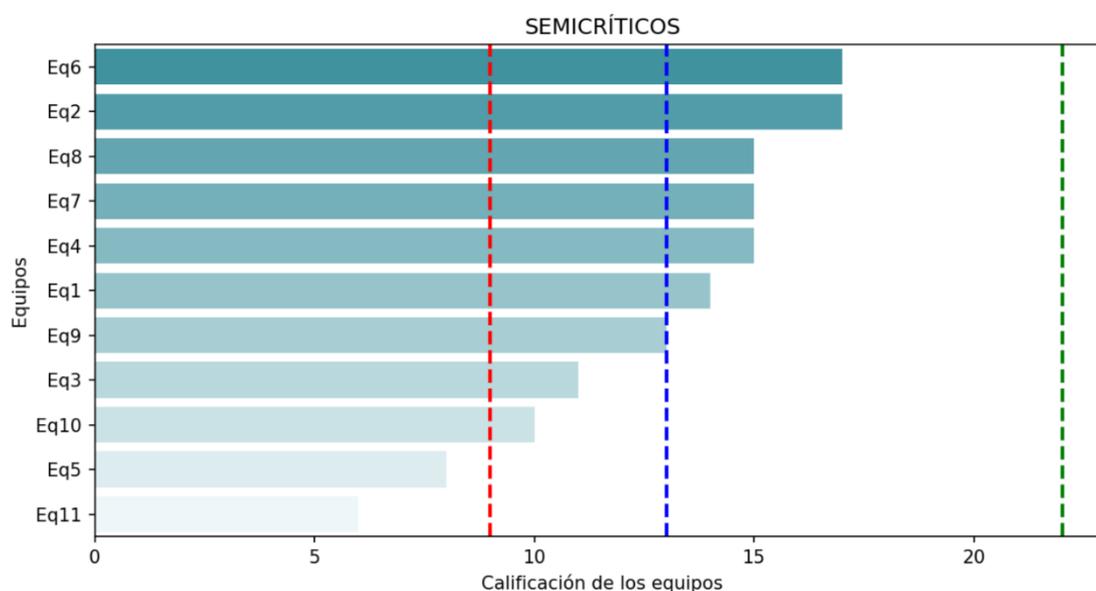


Figura 6.4 Idoneidad de los equipos según las ponderaciones obtenidas del proceso de decisión para el área de semicríticos donde la línea roja: franja mínima, la línea azul: franja óptima y la línea verde: franja ideal.

Para cerrar este análisis, la función del área de urgencias es iniciar la recepción del paciente para evaluar su nivel de gravedad, asignar la prioridad de este y de ser requerido, transportar a los pacientes a las áreas donde requieran atención según su estado. Con eso, el área debe estar preparada para recibir cualquier tipo de paciente y los recursos que dispongan deben estar adecuados para ello. Tal es

el caso de la ventilación mecánica, este recurso debe cumplir lo anterior a pesar de no requerir altos niveles de ventilación, por el contrario, requiere de niveles básicos con todas las características ventilatorias completas, para así, cumplir con las franjas óptimas de esta área.

Con estas indicaciones y observando los resultados de la figura 6.5, el 100% de los equipos atraviesa tanto la franja mínima como la óptima, he incluso, los equipos Eq1, Eq2, Eq4, Eq6 y Eq8 alcanzan la franja ideal. Lo afirmado, significa que, para aquellos equipos que se caracterizan por tener incluidos todos los tipos de soporte, terapias, modos, ajustes y demás criterios por lo menos en un nivel básico o superior, permitía que se cumplieran con los requerimientos ideales. Además, para el caso de los equipos Eq1, Eq2 y Eq4, estos corresponden a equipos que ya se encuentran actualmente en funcionamiento en el hospital y demuestran que, para el caso de esta área, cumplen los requerimientos ideales.

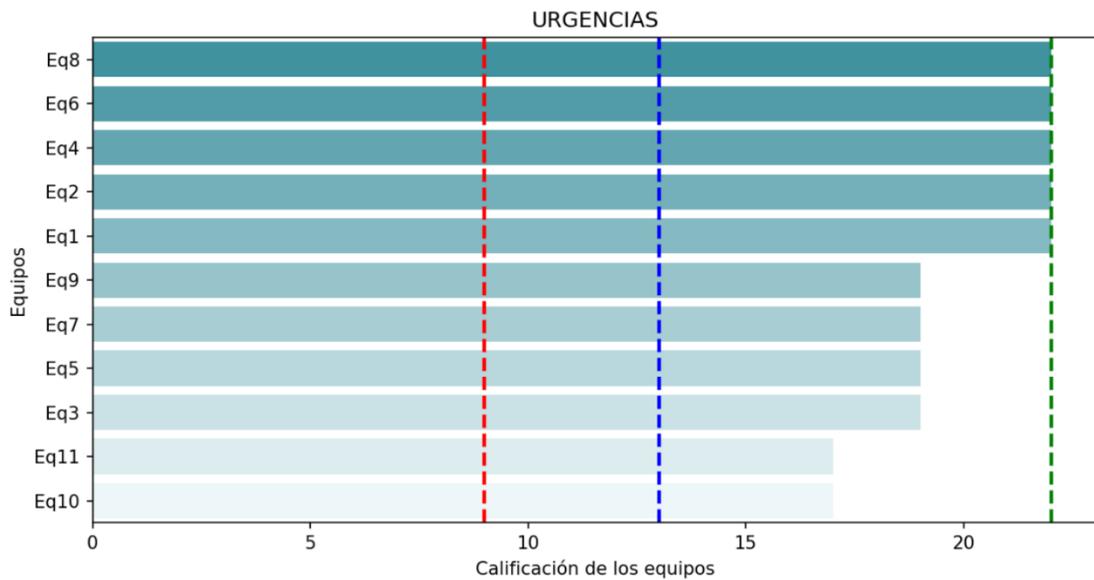


Figura 6.5 Idoneidad de los equipos según las ponderaciones obtenidas del proceso de decisión para el área de urgencias donde la línea roja: franja mínima, la línea azul: franja óptima y la línea verde: franja ideal.

A partir de lo anterior, se observó que los criterios de evaluación más representativos en la adecuación de los equipos dependían de cada área, lo que permite establecer las características de ventilación mecánica óptimas para cada una de ellas. Ahora bien, una vez decretado lo anterior, se determinaron las demandas ventilatorias para cada una de las áreas, tanto en una situación real como en una situación deseada (ideal), permitiendo estimar la cantidad de ventiladores necesarios para satisfacer la demanda de atención sanitaria, teniendo en cuenta aspectos como: cuantificación de puestos existentes o “boxes”, disponibilidad, nivel de actividad, cantidad de equipos disponibles y porcentaje

de uso de terapias y soportes ventilatorios. La metodología, consistió en realizar una breve encuesta al personal médico, seguido de cuantificar los datos necesarios para determinar la demanda.

Las áreas de semicríticos y UCI se concentran en el tratamiento de un gran número de pacientes en estado crítico y, por ende, son las áreas de mayor demanda ventilatoria; una de las diferencias entre estas áreas y, que se hace necesario recalcar para determinar las demandas de cada una, es el uso de la VMI. El porcentaje de uso de este soporte en comparación con otras áreas equivale a un 86% en la UCI y un 10% en semicríticos; asimismo, semicríticos, hace un mayor uso de la VMNI y terapia de alto flujo que la UCI. A diferencia de estas, las demandas ventilatorias de las áreas de neumología y urgencias son menores, ya que, el flujo de pacientes y los espacios en donde se necesita disponer un equipo es más reducido.

Para el desarrollo de la situación ideal, además de tener cierta cantidad de equipos para su uso diario, un número específico debe ser destinados como stock. El stock, hace referencia a las existencias, en este caso los equipos, que se guardan en un almacén para su empleo cuando se presenta averías o recambios de algún equipo en uso [50]. Para las unidades de mayor demanda (UCI y semicríticos), se les asignó un número total de stock entre 2 y 3 ventiladores aproximadamente y, para el caso de las áreas de urgencias y neumología se destinó un valor de stock de un ventilador. Tras examinar lo anterior, las demandas ventilatorias son las siguientes:

- UCI: Número de ventiladores totales: 18 + stock
  - Ventiladores de carácter invasivo:
    - 18 ventiladores (1 por cada box) + stock que equivale al 10% de número total de ventiladores (2 ventiladores)
  - Ventiladores de carácter no invasivo:
    - 18 ventiladores (1 por cada box) + stock que equivale al 10% de número total de ventiladores (2 ventiladores)
    - $\geq 70\%$  de los equipos deben tener alto flujo
    - $\geq 70\%$  de los equipos deben tener la modalidad ventilatoria BIPAP
    - 100% de los equipos deben compensar fugas
  - Ventilador destinado para transporte: 2 ventiladores (compartidos con semicríticos)
- Semicríticos: Número de ventiladores totales: 11 + stock
  - Ventiladores de carácter invasivo: 1 ventilador.
  - Ventiladores de carácter no invasivo:

- 10 ventiladores (1 por cada box) + stock que equivale al 10% de número total de ventiladores (1 ventilador).
  - $\geq 70\%$  de los equipos deben tener alto flujo
  - $\geq 70\%$  de los equipos deben tener la modalidad ventilatoria BIPAP
  - 100% de los equipos deben compensar fugas
  - Ventilador destinado para transporte: 1 ventilador (compartidos con UCI)
- Urgencias: Número de ventiladores totales: 4 + stock de un ventilador
    - Ventiladores de carácter invasivo: 2
    - Ventiladores de carácter no invasivo: 4 (100% de los ventiladores)
      - 4 ventiladores en total
      - 50% de los ventiladores debe tener alto flujo
      - 100% de los equipos deben tener la modalidad ventilatoria BIPAP
    - Ventilador destinado para transporte: 2-3 ventilador
- Neumología: Número de ventiladores totales: entre 5 y 6 ventiladores + stock de un ventilador
    - 100% de los ventiladores son de carácter no invasivo
    - 50% de los equipos deben tener alto flujo
    - $\geq 70\%$  de los equipos deben tener la modalidad ventilatoria BIPAP
    - $\geq 30\%$  de los equipos deben tener la modalidad ventilatoria AVAPS
    - Ventilador destinado para transporte: 2-3 ventilador o el 100% de los ventiladores dispuestos para la unidad

Para el caso de una situación real de demanda ventilatoria, el número de equipos es limitado. Determinar la demanda exacta se presenta como un problema ya que, el registro que se lleva a cabo únicamente anota el número de pacientes a los que se les aplica un tipo de terapia, mas no el número de veces que se usa. A manera de ejemplo, si se quisiera determinar cuántas veces se le aplica a un paciente la oxigenoterapia de alto flujo y la ventilación mecánica no invasiva en un día, sabiendo que, en ese periodo de tiempo la aplicación de estas terapias es intermitentemente y no se lleva un registro, dificulta la obtención de este valor.

Para resolver este problema, se utilizaron las distribuciones por áreas (tabla 6.1) ya estipuladas por el hospital y, se le añadió un margen de 1 a 3 ventiladores según la demanda ventilatoria ideal para cada área. En la tabla 6.2 se presenta la demanda ventilatoria real para cada una de las áreas.

TABLA 6.1 DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LOS VENTILADORES EN EL HOSPITAL

<b>Ventiladores Mecánicos</b>		
<b>Modelo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Eq11</b>	UCI	17
<b>Eq2</b>	UCI	5
<b>Eq3</b>	URG	3
	UCI	2
<b>Eq1</b>	SC	2
	URG	4
	NEU	2
	UCI	3
<b>Eq4</b>	URG	2
<b>UCI= Área Cuidados intensivos; SC = Área de semicríticos; URG= Área de urgencias y NEU= Área de neumología</b>		

TABLA 6.2 DEMANDA VENTILATORIA POR ÁREAS PARA LA SITUACIÓN REAL

<b>UCI</b>	<b>Semicríticos</b>	<b>Urgencias</b>	<b>Neumología</b>
29	5	8	3

A partir de las demandas ventilatorias de cada área hospitalaria, se determinó la demanda ventilatoria específica para cada uno de los criterios de evaluación. Lo anterior, permitió obtener un panorama más claro respecto a las características tecnológicas del equipo en cada área y más adelante, facilitar la redistribución de los equipos (tabla 6.3).

TABLA 6.3 DEMANDA VENTILATORIA EN CADA CRITERIO DE EVALUACIÓN

<b>Características / Área hospitalaria</b>	<b>Neumología</b>	<b>UCI</b>	<b>Semicríticos</b>	<b>Urgencias</b>
<b>Demanda Total</b>	3	29	5	8
<b>Monitorización del paciente</b>	3	29	5	2
<b>Ajustes de control</b>	3	11	5	4
<b>Alto flujo</b>	1	20	5	1
<b>BIPAP y CPAP</b>	4	20	3	4
<b>Ventilación mecánica invasiva</b>	0	18	1	2
<b>Compensación de fugas</b>	3	29	5	6
<b>Batería</b>	3	29	4	6
<b>Configuración flexible del dispositivo</b>	2	11	3	3

## 6.2 Modelo matemático de redistribución

Un modelo matemático es una representación de la relación entre datos, variables y restricciones, mediante ecuaciones matemáticas. Los datos conciernen a la información conocida de un problema, y necesarios para dar la solución. Las variables son los elementos que permiten analizar el problema, para tomar decisiones. La función objetivo corresponde a la ecuación que expresa el problema en forma matemática y las restricciones, son las limitaciones de los valores de las variables de decisión. En este proyecto, el modelo se utilizó para optimizar el uso de un recurso tecnológico hospitalario; en este caso de ventiladores mecánicos [51]. El modelo se desarrolló en el software Optimization Studio OPL, de la IBM ILOG CPLEX.

La construcción del modelo se lleva a cabo en cuatro etapas que consisten en: establecer los datos, declarar variables, plantear la función objetivo y definir las restricciones. En la primera, los datos de entrada del modelo matemático son:

- Áreas hospitalarias:  $I$  ( $i = \text{Nemología}, \dots, I$ ).
- Ventiladores mecánicos:  $K$  ( $k = \text{Eq1}, \dots, K$ ).
- Criterios de evaluación de las características ventilatorias:  $J$  ( $j = \text{VMNI}, \dots, J$ ).
- Demanda ventilatoria de cada área en cada criterio de evaluación:  $D_{ij}$  ( $i = \text{Nemología}, \dots, I; j = \text{VMNI}, \dots, J$ ).
- Calificación de las áreas hospitalarias en cada criterio de evaluación:  $C_{ij}$  ( $i = \text{Nemología}, \dots, I; j = \text{VMNI}, \dots, J$ ).
- Calificación de los equipos en cada criterio de evaluación:  $\Delta_{kj}$  ( $i = \text{Nemología}, \dots, I; k = \text{Eq1}, \dots, K$ ).
- Pesos que diferencian los criterios de evaluación:  $w_j$  ( $j = \text{VMNI}, \dots, J$ ).
- Cantidad de equipos disponibles:  $T_k$  ( $k = \text{Eq1}, \dots, K$ ).

En la segunda etapa, se establecen dos variables de decisión.  $X_{ik} \in \mathbb{Z}$  que corresponde a la asignación de los equipos en cada una de las áreas hospitalarias. La otra variable,  $d_{ij} \in \mathbb{Z}$  descrita como la diferencia entre lo que se necesita en cada una de las unidades hospitalaria (lo deseado) y lo que se tiene (lo real). La tercera etapa, plantea la función objetivo que permitirá optimizar la minimización de  $d_{ij}$ , priorizando los criterios de evaluación considerados más importantes  $w_j$ .

$$[\text{Min}] \text{Diferencia} = \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} d_{ij} * w_j$$

Finalmente, se plantean las restricciones para limitar la solución del modelo. La que expresa la relación entre la demanda ventilatoria ( $D_{ij}$ ), teniendo en cuenta los requerimientos de ventilación de cada área ( $C_{ij}$ ) y las características ventilatorias ( $\Delta_{kj}$ ) de cada uno de los equipos a redistribuir ( $X_{ik}$ ). Y, la que limita la variable de diferencia ( $d_{ij}$ ), al grupo de enteros positivos.

$$d_{ij} \geq D_{ij} * C_{ij} - \sum_{\forall k} X_{ik} * \Delta_{kj} \quad \forall i \quad \forall j \quad \text{siendo } d_{ij} \geq 0$$

Una última restricción, relaciona la variable de asignación de los equipos disponibles en cada área ( $X_{ik}$ ) con la cantidad de los equipos disponibles ( $T_k$ ).

$$\sum_{\forall i} X_{ik} \leq T_k$$

Traslademos ahora el modelo matemático a un análisis experimental; para ello, se utilizaron los datos del hospital estudiando durante todo este proyecto y así, implementarlos en el modelo matemático. Los datos, variables, función objetivo y restricciones fueron reescritos en el lenguaje OPL para obtener su correspondiente solución. A continuación (figura 6.5), se muestra un ejemplo de los datos escritos en este lenguaje.

```
{string} Areas = ...;
{string} Equipos = ...;
{string} Criterios = ...;
int Demanda[Criterios][Areas] = ...;
int Cal_Equipos[Criterios][Equipos] = ...;
int Cal_Areas[Criterios][Areas]= ...;
int T[Equipos]= ...;
int W[Criterios]= ...;
```

Figura 6.5 Código de los datos del hospital en OPL

Según el modelo matemático, en la figura 6.6 se muestra la redistribución de los equipos.

Equipos (tamaño 5)	Areas (tamaño 4)			
	"NEUMO"	"UCI"	"SC"	"URG"
"Eq1"	0	11	0	0
"Eq2"	0	4	1	0
"Eq3"	2	0	0	3
"Eq4"	0	0	2	0
"Eq11"	2	12	3	0

Figura 6.6 Matriz de redistribución de los equipos expresada por la variable  $X_{ik}$ .

La variable  $X_{ik}$  arroja que, la UCI es la unidad de mayor demanda ventilatoria y, por tanto, el modelo prioriza esta unidad por requerir un mayor número de equipos. Por ello, asigna los ventiladores Eq1 y Eq2 (figura 6.1) que cumplen con los requerimientos óptimos. Agregando a lo anterior, la UCI, a diferencia de las otras áreas, es la de mayor demanda en ventilación mecánica invasiva, por consiguiente, se le asignan un número considerable de equipos con estas particularidades, tal es el caso del Eq11.

Consideremos ahora el área urgencias, al ser un área de estancia corta debe poder estar preparado ante cualquier situación. Por ello, los equipos deben tener todos los tipos de soporte ventilatorio y terapias necesarias; además, deben ser fáciles de movilizar a través de todo el hospital, para casos como el traslado de pacientes. El Eq3, además de cumplir con los requerimientos óptimos del área, posee dichas características, razón por la cual, es asignado a esta unidad.

En el área de semicríticos y neumología se presenta un panorama distinto a la UCI y a urgencia. A pesar de no requerir una demanda importante en VMI, por falta de recursos, el modelo se ve obligado a redistribuir equipos fuertes en este soporte ventilatorio, pero que, además, también gozan de modos de ventilación no invasivos, requeridos por estas áreas. De ello resulta que, se redistribuyan equipos del tipo Eq11 en estas dos áreas.

Además de esto, el área de neumología presenta otra situación particular, parte de sus requerimientos primordiales es un nivel alto de VMNI, especialmente modos de ventilación BiPAP y CPAP, que, por falta de recursos y por la prioridad que se les da a otras áreas, se le asigna el Eq3, característico por un nivel alto en el criterio de evaluación BiPAP/CPAP y por cumplir con los requerimientos óptimos del área.

Finalmente, para el área de semicríticos, se le asigno el equipo Eq4, que, a pesar de también cumplir con los requerimientos de la UCI, la cantidad de equipos disponibles y sus características ventilatorias, se ajustan mejor a otra área como es el caso de semicríticos que, como se ha especificado en apartados anteriores, sus necesidades requieren de un mayor uso de VMNI, pero, en casos específicos, debe poder aplicar VMI. Para complementar los requisitos de VMNI y añadir el criterio de la terapia de alto flujo, a esta área se le es asignado el equipo Eq2, que cumple con los requerimientos necesarios.

Continuaremos la explicación del funcionamiento del modelo matemático examinando brevemente una situación ideal hospitalaria, la diferencia consiste en evaluar el hospital con la cantidad de equipos suficiente y una alta diversidad de equipos (Eq1-Eq11). Para ello, ciertos datos como la demanda ventilatoria (propuesta en el apartado 6.1), los equipos, la cantidad disponible y la calificación de todos los equipos para cada criterio fueron ajustados.

Es de alta complejidad llegar a un estado ideal. A pesar de eso, analizarlo, permite observar de qué manera se asignan unos equipos a determinadas áreas teniendo en cuenta las restricciones, ampliando la diversidad de los equipos y mostrando cuales de estos se acoplan mejor a cada una de ellas. Trasladando el modelo matemático a la situación ideal, una dificultad encontrada fue determinar la cantidad de cada equipo, para ello, se buscó el punto de inflexión donde la variable de diferencia  $d_{ij}$  fuera lo más cercana a cero para todos los criterios de evaluación, reduciendo así la diferencia entre lo que se necesita en cada una de las unidades hospitalaria y lo que se tiene y, por tanto, aproximarse a una situación ideal.

A manera de ejemplo, en la figura 6.7 se muestran los datos utilizados para una situación ideal:

```

Areas = {NEUMO UCI SC URG};
Equipos = {Eq1 Eq2 Eq3 Eq4 Eq5 Eq6 Eq7 Eq8 Eq9 Eq10 Eq11};
Criterios = {VMNI MO AC OAF BC VMI CF BA CFD};
T = [6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
Demanda = [[6 18 10 4]
            [4 18 10 2]
            [4 18 10 2]
            [3 13 7 2]
            [6 13 7 4]
            [0 18 1 2]
            [6 18 10 2]
            [6 18 10 4]
            [3 18 10 1]];

```

Figura 6.7 Datos correspondientes a las áreas, los equipos por redistribuir, los criterios de evaluación, la cantidad de cada tipo de equipo (T) y la demanda ventilatoria de una situación ideal.

La distribución obtenida se muestra en la figura 6.8. A partir de ella, se observó que, al igual que en la situación real, el modelo priorizaba la UCI seguido del área de semicríticos, al destinarles el mayor número de equipos disponibles sin importar si la cantidad de equipos variaba. Para todas las áreas, el modelo continuaba anteponiendo a cada unidad los equipos que mejor se acoplaban a los requerimientos óptimos. Cabe pensar, sin embargo, una situación en donde la diferencia  $d_{ij}$  fuese cero en todos los criterios de evaluación a partir de un elevado número de equipos disponibles; en ese caso, el modelo continuaba reubicando los equipos, pero, generaba un sobre stock de la demanda, es decir, que se tenía más de lo que se necesitaba.

Equipos (tamaño 11)	Areas (tamaño 4)			
	"NEUMO"	"UCI"	"SC"	"URG"
"Eq1"	4	0	2	0
"Eq2"	0	0	6	0
"Eq3"	0	6	0	0
"Eq4"	2	0	2	2
"Eq5"	0	6	0	0
"Eq6"	2	2	0	2
"Eq7"	0	6	0	0
"Eq8"	0	6	0	0
"Eq9"	0	5	1	0
"Eq10"	0	6	0	0
"Eq11"	0	0	6	0

Figura 6.8 Matriz de redistribución de los equipos expresada por la variable  $X_{ik}$  en una situación ideal

## 7. Protocolos y normativa

### 7.1 Árboles de decisión

Debido a la alta variabilidad de los equipos en sus características ventilatorias ocasionadas por los avances tecnológicos, estos dificultan situaciones en las que se quiera determinar cuáles se acoplan mejor a las necesidades del hospital. Para simplificar esto, es necesario analizar detalladamente sus características tecnológicas, y a partir de ello, obtener información relevante que cooperara con la toma de decisiones. En el transcurso de este documento se han establecido herramientas que permiten reorganizar esta información, de tal manera, que brinden claridad sobre la tecnología necesaria y que equipos poseen esta tecnología. A pesar de eso, con el objetivo de complementar estas herramientas, se plantearon arboles de decisión que, permitieron representar gráficamente distintas alternativas gracias a una detallada descripción de las particularidades de cada equipo y, facilitar la toma de decisiones más apropiadas según las características deseadas.

Dicho de ese modo, se propusieron seis arboles de decisión a partir de los criterios de evaluación de VMNI, VMI, alto flujo, BiPAP/CPAP, monitorización del paciente, baterías y configuración flexible del dispositivo, donde se clasificaron de tal manera que, los cuatro primeros correspondieran a cuatro árboles, uno por cada área hospitalaria, la batería y configuración flexible a otro árbol, denotado como transporte y, finalmente, un último árbol correspondiente a la monitorización. Los criterios de evaluación de compensación de fugas y ajustes de control se omitieron, ya que, para el caso de la compensación de fugas, no hay suficientes datos para generar varios eventos y, para el caso de los ajustes de control, la alta diversidad entre los distintos ajustes pertenecientes a cada equipo y la poca similitud que se le podría dar, dificultan la elaboración de un árbol claro y conciso.

Para explicar cómo se estipulo un árbol de decisión en este proyecto, se muestra a continuación la figura 7.1, en ella, el nodo raíz hace referencia al atributo a partir del cual se inicia el proceso de clasificación, las cuatro áreas hospitalarias, transporte y monitorización. El nodo de cuestionamiento, como su nombre lo indica, corresponde a las preguntas acerca de las características ventilatorias; luego, el nodo de atributos atañe a la descripción detallada de la característica según el resultado del nodo de cuestionamiento y, el nodo de decisión corresponde a la resolución a la cual se ha llegado [52].

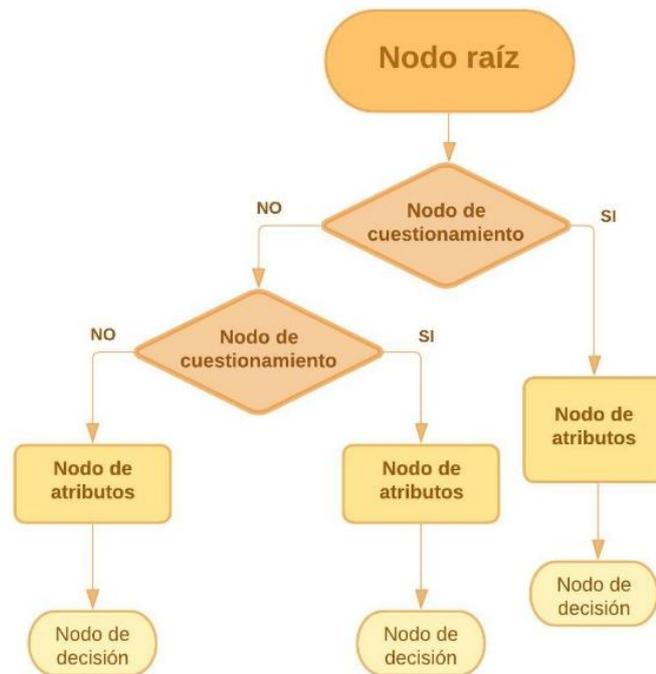


Figura 7.1 Estructura de un árbol de decisión

Las áreas de semicríticos y UCI presentan similitudes en sus árboles de decisión (figuras 7.2 y 7.3), esto se debe a que hacen uso de los tipos de soporte no invasivo, invasivo y terapia de alto flujo, criterios decisivos para la idoneidad de los equipos frente a estas áreas. A partir de ello, se utilizaron como dos primeros nodos de cuestionamiento, los criterios de alto flujo y ventilación mecánica invasiva para poder clasificar los equipos en varios grupos, para así, continuar con el siguiente nodo de cuestionamiento de ventilación mecánica no invasiva en conjunto con el criterio de BiPAP/CPAP. El área de semicríticos, a diferencia de la UCI, hace un mayor uso de la VMNI y un menor uso de la VMI, por lo que en complementación con los modos de BiPAP y CPAP, el modo de ventilación presión soporte se tomó en consideración como un nodo de cuestionamiento para esta área.



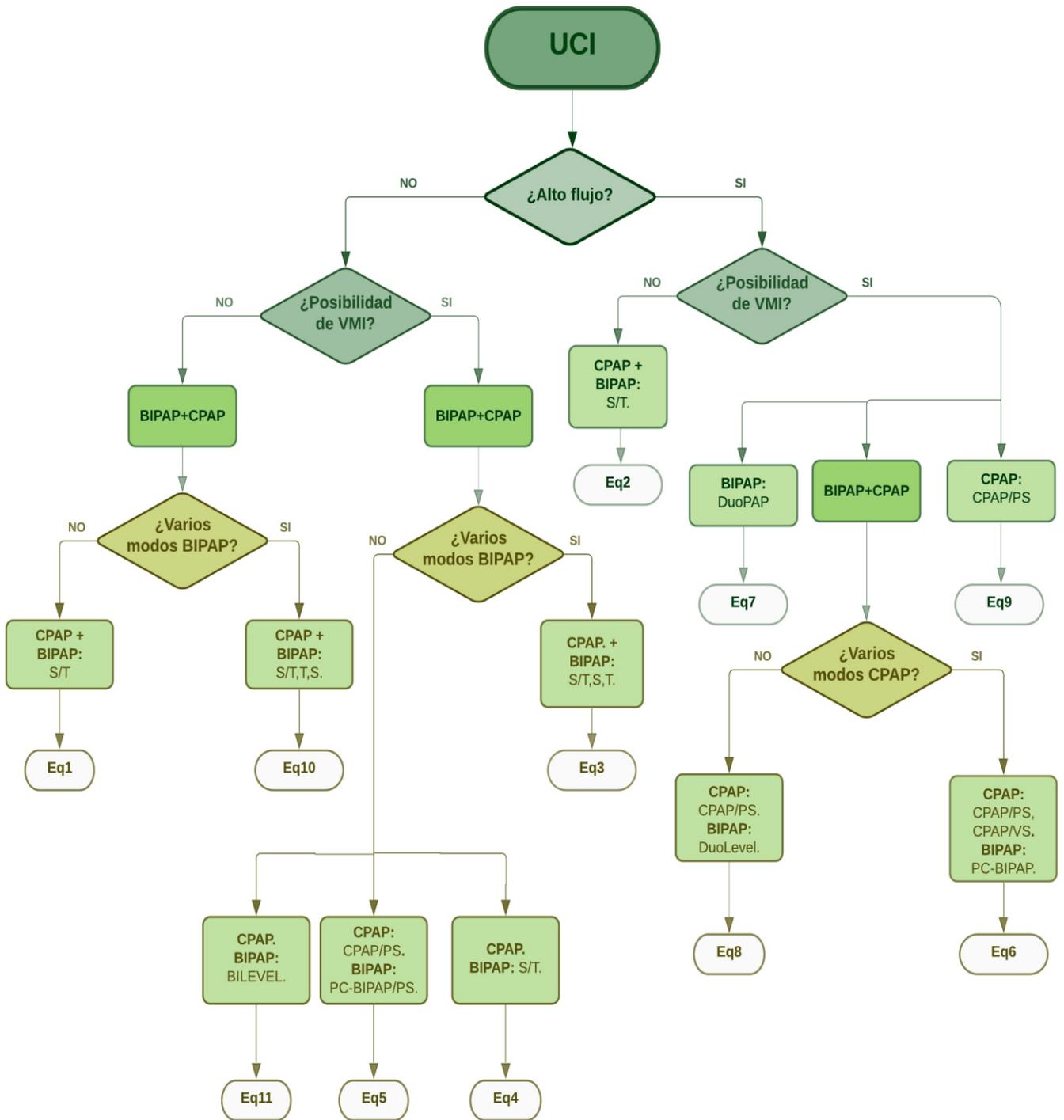


Figura 7.2 Árbol de decisión del área hospitalaria UCI

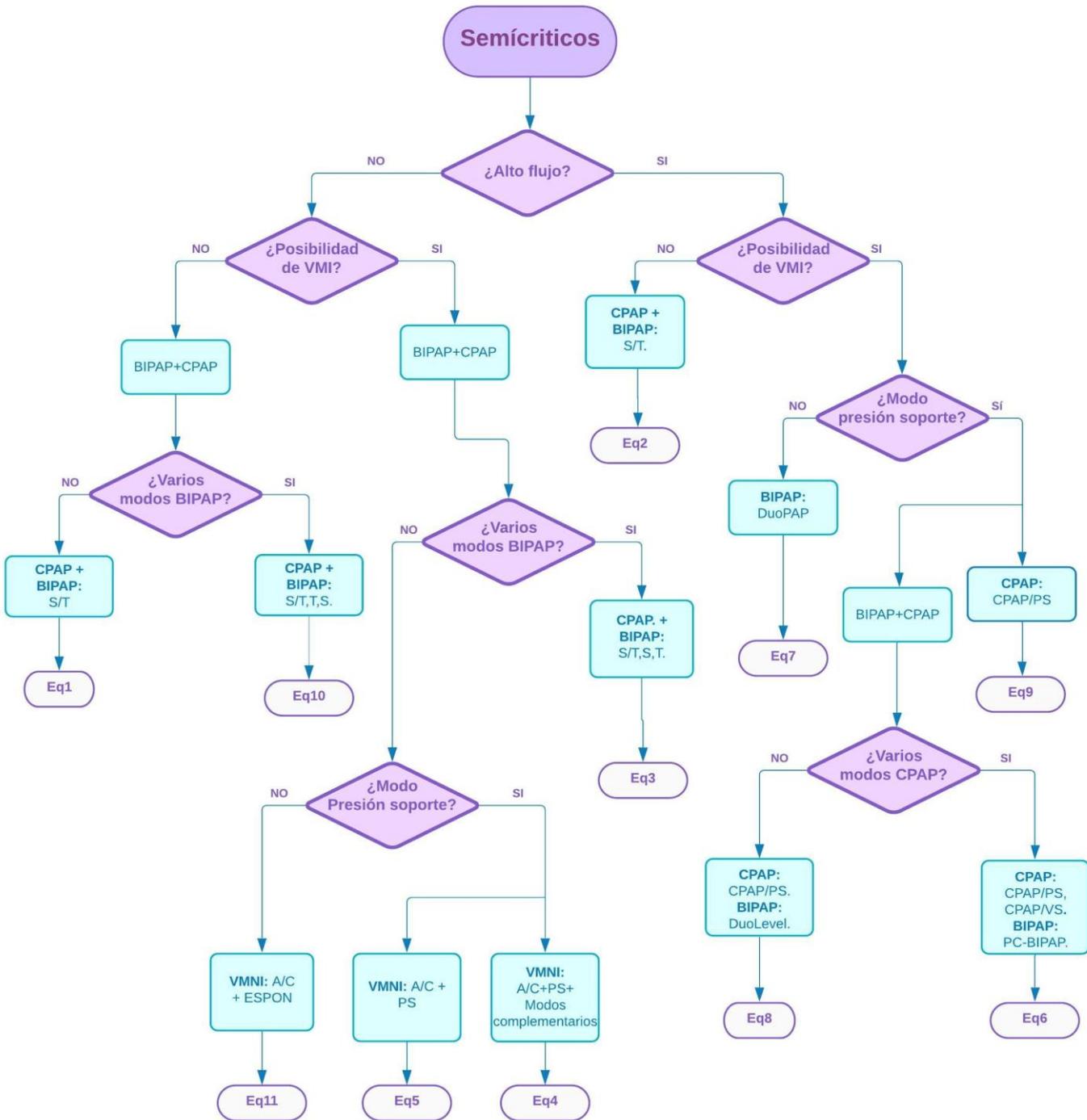


Figura 7.3 Árbol de decisión del área hospitalaria de semicríticos

El área de urgencias (figura 7.4), a pesar de no usar en gran medida la VMI, es una unidad que debe estar preparada ante cualquier situación, eso incluye, aplicar procedimientos invasivos. Esta área se centra en la aplicación de la VMNI mediante los modos de ventilación más eficientes para ella. Nuevamente, la CPAP, BiPAP y específicamente el modo de ventilación S/T (*Spontaneous/Timed*) priman frente a otros modos disponibles. Para clasificar la gran cantidad de datos referentes a las características de los equipos, se utilizó la VMI y los modos de VMNI mencionados, como nodos de decisión en el árbol de esta área. Caso distinto ocurre en el área de neumología donde al no aplicar el tipo de soporte invasivo (figura 7.5), los nodos para el árbol de decisión corresponderán a aquellos modos de ventilación no invasiva más utilizados en esta área, estos son: la BiPAP, CPAP, el modo espontáneo y asistido controlado.

Con ello, llegamos a los árboles de decisión de transporte y monitorización. Para el caso de transporte, la movilización de los equipos en el hospital se clasificará en dos grupos que se les indicará como: características internas y externas del equipo. Las internas, corresponderán a dos aspectos, primero, el cumplimiento de la normativa de seguridad y el rendimiento esencial que incluye la prevención de disturbios electromagnéticos, es decir, si es apto para IRM (Imágenes de Resonancia Magnética). Lo anterior se debe, a que áreas como la UCI, semicríticos e incluso urgencias de ser necesario, realizan la toma de estas imágenes y requieren que todos o parte de los equipos, sean aptos para soportar disturbios electromagnéticos. Segundo, las baterías, este criterio, permite distinguir los equipos según la durabilidad de sus baterías internas y el grado de autonomía requerido dependerá de cada área.

Las características externas, se describen como implementos que favorezcan el manejo del equipo en el rendimiento de sus funciones, como la incorporación de turbinas para impulsar aire a través del ventilador y la disposición del equipo mediante distintos modos de transporte (carro o maleta), versatilidad de movimientos, etc. En la figura 7.6 se muestra el árbol de decisión de transporte.

Para terminar, uno de los objetivos de la ventilación mecánica es la sincronía entre el paciente y la ventilación asistida. Parte de los objetivos para lograrlo, es examinar el impacto de la ventilación y el comportamiento de los pacientes frente a los ajustes de control. La monitorización, permite examinar esta relación entre el ventilador y el paciente, detectando cambios en el estado clínico y adquiriendo información continua y fiable del estado funcional respiratorio. Lo anterior corresponde a la función principal de la monitorización.

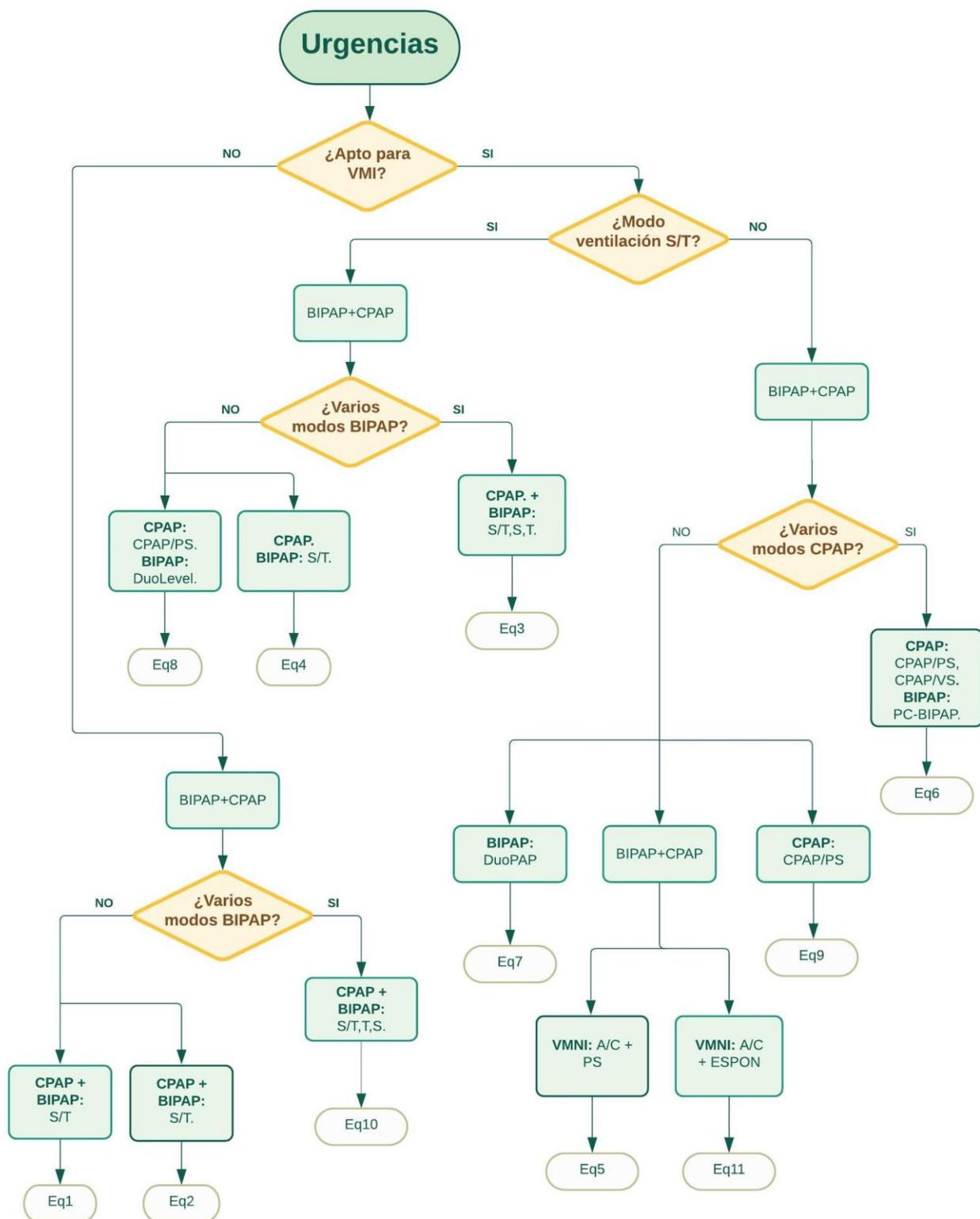


Figura 7.4 Árbol de decisión del área de urgencias

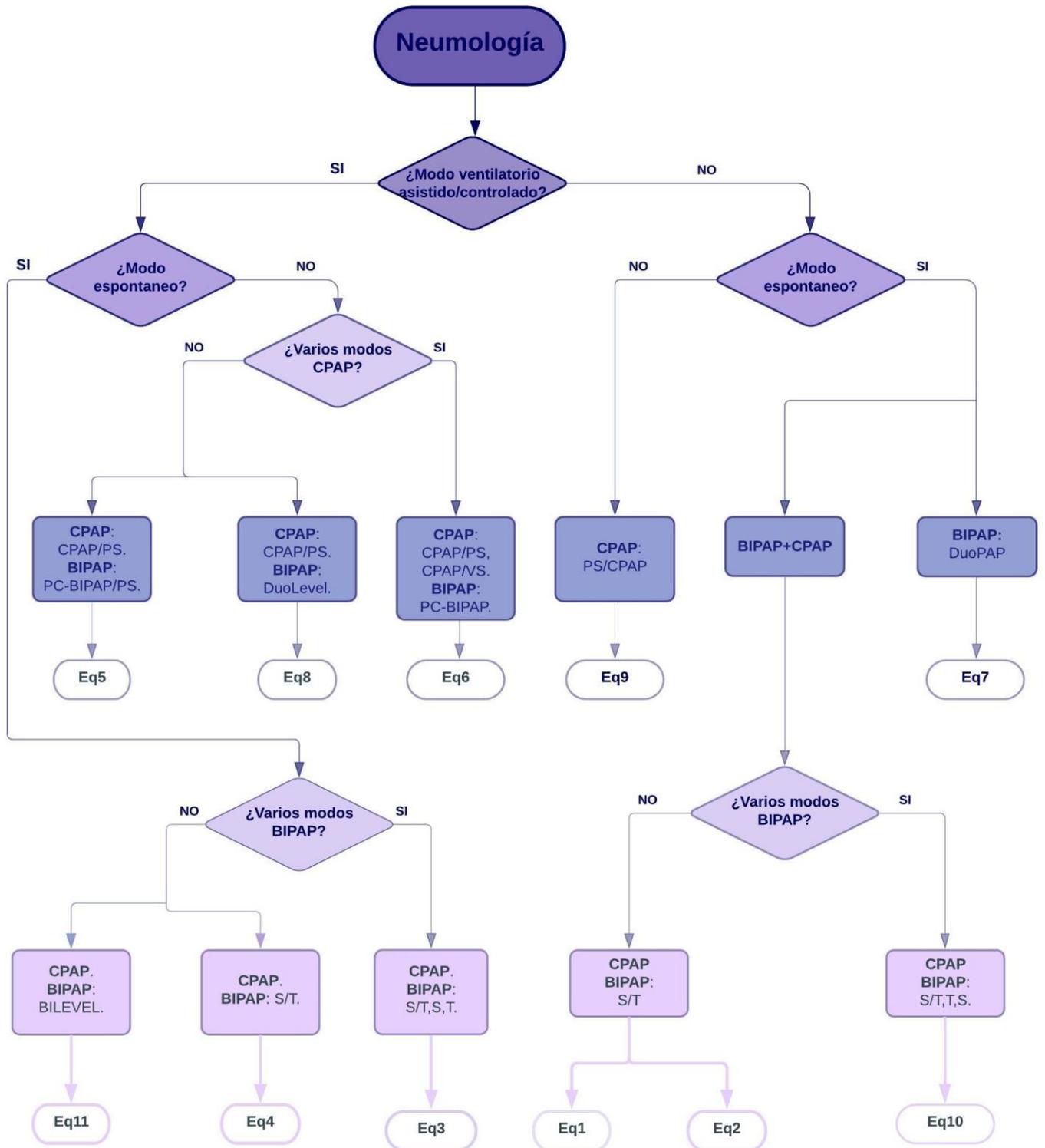


Figura 7.5 Árbol de decisión del área de neumología

Los parámetros y herramientas de monitorización útiles para cumplir con los objetivos en el tratamiento del paciente pueden categorizarse en tres grupos, básico, óptimo y complementario. La categoría básica, es aquella que registra datos fisiológicos del paciente y datos de la mecánica ventilatoria, entre ellos se encuentra: frecuencia respiratoria, volumen corriente, fracción inspirada de oxígeno, tiempo inspiratorio, etc. La disponibilidad de esta gran variedad de datos dependerá del equipo, pero, a pesar de esto, los datos mostrados deben ser suficientes para permitir al personal tomar las decisiones terapéuticas pertinentes [53].

Las mediciones que se realizan a través de la monitorización permiten que se mantenga la función pulmonar en condiciones ideales. Para el caso de la categoría óptima, además de mostrar datos de la mecánica ventilatoria y datos fisiológicos, debe poder mostrar las curvas de ventilación y bucles, para representar gráficamente los cambios que presenta una variable fisiológica en un ciclo respiratorio determinado. Es decir, disponer de datos, variables, curvas y bucles, brindando al personal la posibilidad de realizar estrategias ventilatorias, establecer un pronóstico en relación con la evolución del paciente y valorar la respuesta ante un determinado cambio. Finalmente, la categoría complementaria, surge con la finalidad perfeccionar la categoría óptima, determinando la eficiencia de la ventilación mecánica teniendo en cuenta la medición y el análisis de la presión parcial de oxígeno en la sangre para un mayor control en las variables fisiológicas. En este caso, herramientas como la capnografía y la pulsioximetría permiten evaluar parámetros relacionados con el intercambio gaseoso. En la figura 7.7 se muestra el árbol de decisión de monitorización.

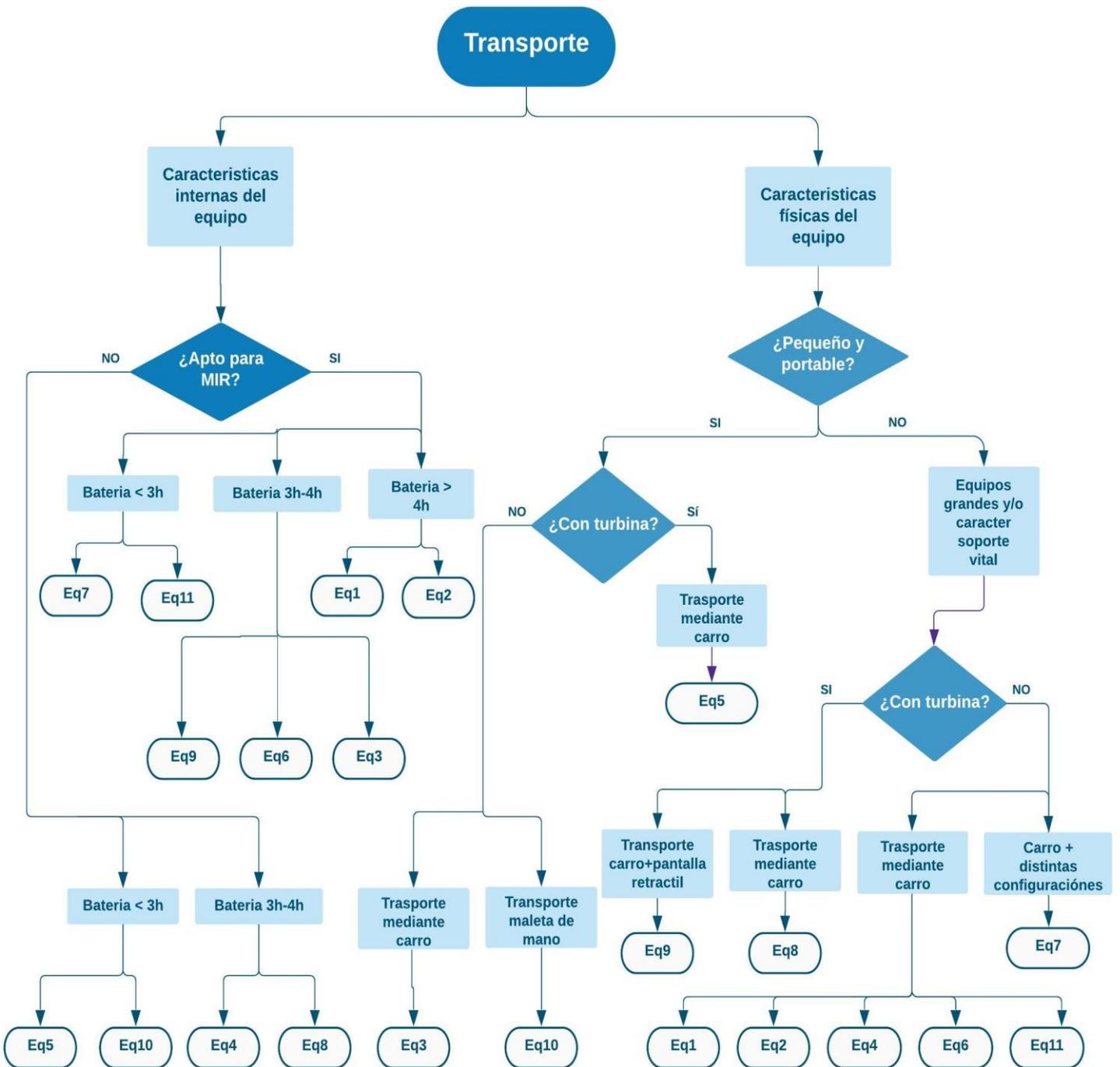


Figura 7.6 Árbol de decisión de transporte

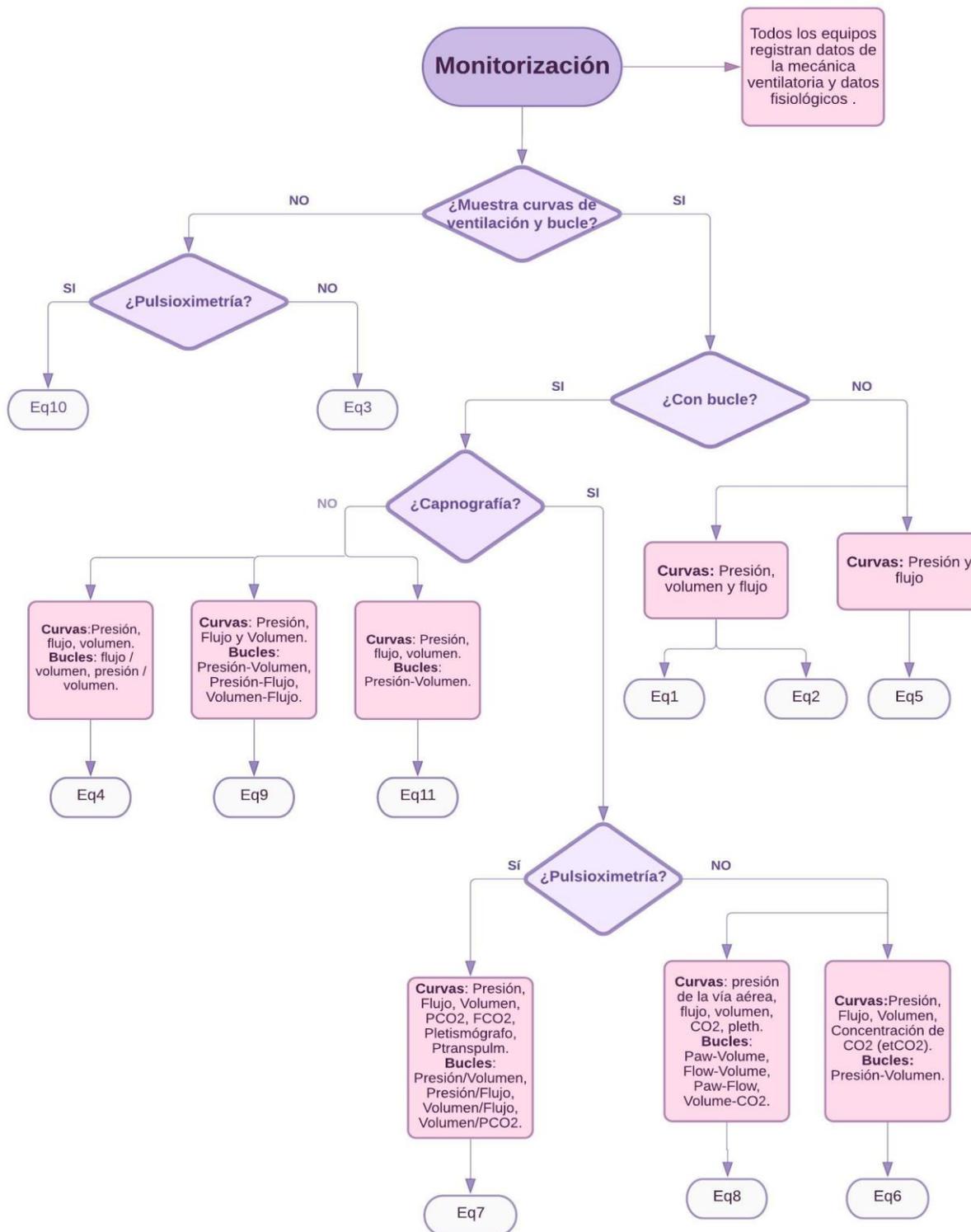


Figura 7.7 Árbol de decisión de monitorización

## 7.2 Normativa

Todo equipo electromédico dispuesto en el mercado debe ser seguro y cumplir con las correspondientes directivas europeas. En ellas, se exponen los requisitos indispensables para la seguridad eléctrica básica como: la prevención de micro y macro shocks, corrientes de fuga y conexión adecuada a tierra; además, estas directivas se centran en el funcionamiento esencial del equipo para así asegurar la seguridad del paciente [54], lo anterior, se rige bajo la norma IEC 60601-1 sobre los equipos electromédicos. Parte 1: Requisitos generales de seguridad. La norma UNE-EN 60601-1-2:2015 (Ratificada) del 11 de enero del 2015 abarca la seguridad básica y características del funcionamiento esencial, tomando como norma colateral, las perturbaciones electromagnéticas de los equipos y sistemas electromédicos [55]. Dentro de este grupo de normas, se encuentran los requisitos particulares para la seguridad de los ventiladores pulmonares para su uso en escenarios de cuidados críticos y, corresponden a la norma UNE-EN 60601-2-12 del 21 de febrero del 2007 [56].

La norma ISO 80601-2-12:2011/AC:2011 (Ratificada) del 1 de noviembre del 2011, es una equivalencia a la norma UNE-EN 60601-2-12. Esta normativa, se aplica a la seguridad básica y al rendimiento esencial de un ventilador para aquellos pacientes que requieran de este soporte, en un entorno de cuidados críticos de un centro de salud profesional, teniendo en cuenta el uso de sus accesorios y operado por un profesional de la salud [57]. Por otro lado, la norma IEC 60601-1-6:2010/AMD1:2013 del 28 de octubre del 2013 Parte 1-6, habla sobre los equipos electromédicos y sus requisitos generales para seguridad básica y rendimiento esencial, teniendo como norma colateral, la usabilidad [58]. Además, complementario a la norma anterior, la IEC 60601-1-8 especifica los requisitos generales, ensayos y guía para los sistemas de alarma en equipos electromédicos y sistemas electromédicos [59].

Los accesorios de los respiradores, también se rigen bajo normativas. La UNE-EN ISO 80601-2-74:2020 (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020) aplica la seguridad básica, el rendimiento esencial y el uso de un humidificador respiratorio, en conjunto con los accesorios destinados por el fabricante sin afectar la seguridad del paciente, además, especifica el uso de estos en la integración a los ventiladores invasivos, no invasivos y ventilación de atención domiciliaria [60]. La UNE-EN ISO 80601-2-55:2011 (Ratificada por AENOR en febrero de 2012) estipula los requisitos para la seguridad básica y el funcionamiento esencial de los monitores de gas respiratorio y expone los requisitos para monitoreo de gases anestésicos, dióxido de carbono y oxígeno [61]. Finalmente, la norma UNE-EN 13544-1:2007+A1:2010 habla sobre los equipos de terapia respiratoria que utilizan sistemas de nebulización y sus componentes [62].

Hay que considerar ahora, que cualquier equipo médico, en este caso los ventiladores, deben evitar o minimizar el peligro de descarga eléctrica tanto hacia el paciente como al personal médico. Lo anterior, incita a clasificar los equipos según la protección utilizada y el nivel de protección. La clasificación según

la protección utilizada se divide en tres clases I, II, III. La clase I, describe los equipos médicos que no tienen solo un aislamiento básico, sino que incluye precauciones adicionales de seguridad, por ejemplo, una conexión de partes conductoras accesibles al conductor de tierra; la clase II, son equipos que disponen de un doble aislamiento y no requieren de una provisión de puesta a tierra de seguridad, esta clase puede dividirse en equipos con cubiertas metálicas, aislantes o mixtos; la clase III, corresponde a los equipos que alimentan a tensiones muy bajas [63]. La clasificación según el nivel de protección corresponde a los niveles tipo B, BF y CF. Los tipos B, son equipos con alimentación interna y no tienen una parte aplicada directamente al paciente; proporcionan un grado de protección contra las descargas eléctricas a razón de la corriente de fuga y la fiabilidad de la conexión de tierra. Los tipos BF, son equipos tipo B con una parte aplicable flotante tipo F (parte aislada que no excede la corriente de fuga) y tienen una parte aplicada al paciente. Los equipos tipo CF, son alimentados internamente para aplicaciones cardíacas por lo que permiten un alto grado de protección de corrientes de fugas [63], [64].

## 8. Conclusiones

A partir de las necesidades ventilatorias de las áreas hospitalarias de UCI, semicríticos, urgencias y neumología y después de realizar una indagación tecnológica de los equipos, se establecieron criterios de evaluación tecnológica relacionados con la ventilación mecánica no invasiva, invasiva, monitorización del paciente, ajustes de control, oxigenoterapia de alto flujo, BiPAP y CPAP, compensación de fugas, baterías y configuración flexible del equipo. Con lo anterior, se plantearon dos tablas de valoración, una destinada para los equipos, reflejando sus características tecnológicas y otra para las áreas hospitalarias, determinando los requerimientos ventilatorios en cada una de ellas.

Se desarrolló una herramienta que permitió realizar un proceso de decisión a partir de los resultados obtenidos de las tablas de valoración de los equipos y las áreas hospitalarias. Según la valoración de cada equipo en cada criterio y los requisitos de cada área, se ponderaba la idoneidad del equipo frente al área. Además, se determinaron las demandas ventilatorias para cada área hospitalaria en una situación real e ideal, especificando el número de equipos necesarios.

Se ha planteado un modelo matemático para optimizar el uso de un recurso tecnológico hospitalario, proponiendo una redistribución de los ventiladores mecánicos a partir de la demanda ventilatoria de cada área hospitalaria, la disponibilidad de los equipos y las características ventilatoria de cada uno de ellos. De ese modo, mediante ecuaciones matemáticas que relacionan datos y variables expresadas en una función objetivo y restricciones, se desarrolló el modelo matemático.

Se han propuesto seis árboles de decisión (Cuatro áreas hospitalarias, transporte y monitorización) que representaron gráficamente alternativas de elección de equipos, gracias a una detallada descripción de las particularidades de cada equipo, facilitando la toma de decisiones más apropiadas según las características deseadas. Se describieron caminos a partir de las especificaciones ventilatorias mediante el uso de nodos, priorizando los requerimientos fundamentales del atributo a partir del cual se inicia el proceso de clasificación.

Algunas de las limitaciones de este trabajo se relacionaron con la recopilación de datos correspondientes a el número exacto de veces que se aplica la ventilación mecánica no invasiva y la oxigenoterapia de alto flujo en un periodo de tiempo, ocasionando un grado de dificultad para determinar una demanda ventilatoria más acertada. La demanda real se estableció a partir de la distribución actual de los equipos en cada área hospitalaria dentro del hospital estudiado. Lo anterior, se presenta como una segunda limitación, ya que los equipos no se encontraban en el área a la cual habían sido asignados, dificultando la obtención de la demanda ventilatoria.

El trabajo elaborado hasta el momento nos conduce a pensar en posibles extensiones futuras. Entre ellas, se encuentra la posibilidad de modificar el modelo matemático de tal manera que permita redistribuir los equipos en un hospital y, en caso de requerir adquirir un nuevo equipo, manifestar aquel que se adecua mas según sus características ventilatorias, el valor comercial del equipo y un presupuesto preestablecido. Otra extensión consta de diseñar una herramienta que a partir de los árboles de decisión (capítulo 7) y de los requerimientos tecnológicos que se deseen, determinar y mostrar el equipo que mejor se adecua. Finalmente, establecer grupos creados a partir de características ventilatorias que permitan categorizar las áreas hospitalarias de cualquier hospital, mostrando una descripción detallada del uso de la ventilación mecánica en cada una de ellas.

## Bibliografía

- [1] C. R. Guadalupe Barcelos, L. Filho, S. W. Danilo, J. R. de Sosa y S. , «Ambiente y Ventilación Mecánica: Una reflexión posible,» *Enfermería Global*, vol. 13, nº 1695-6141, pp. 254-262, 2014.
- [2] J. Pérez Porto y A. Gardey, «Definición de hospital,» *Definicion.de*, 2012. [En línea]. Available: <https://definicion.de/hospital/>. [Último acceso: 2020 04 17].
- [3] W. Kluwer, «Asistencia Sanitaria,» [En línea]. Available: [https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4slAAAAAAAAEAMtMSbF1jTAAAUNDM2NztbLUouLM\\_DxblwMDCwNzAwuQQGZapUtckhIQaptWmJOcSoALKADeDUAAAA=WKE](https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4slAAAAAAAAEAMtMSbF1jTAAAUNDM2NztbLUouLM_DxblwMDCwNzAwuQQGZapUtckhIQaptWmJOcSoALKADeDUAAAA=WKE). [Último acceso: 27 05 2020].
- [4] J. Pérez Porto y A. Gardey, «Definición de,» 2012. [En línea]. Available: <https://definicion.de/hospital/>. [Último acceso: 18 03 2020].
- [5] J. López-Herce y Á. Carrillo, «Ventilación mecánica: indicaciones, modalidades y programación y controles,» *Anales de Pediatría Continuada*, vol. 6, nº 16962818, pp. 321-329, 2008.
- [6] IACS, «VENTILACIÓN MECÁNICA,» Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud, 2013. [En línea]. Available: <http://www.ics-aragon.com/cursos/enfermo-critico/pdf/02-06.pdf>. [Último acceso: 09 04 2020].
- [7] D. d. Castillo Otero, C. Cabrera Galán, M. Arenas Gordillo y F. Valenzuela Mateos, «Asociación de Neumología y Cirugía Torácica del Sur (NEUMOSUR),» [En línea]. Available: <https://www.neumosur.net/files/EB04-13%20VMNI.pdf>.
- [8] A. Jimeno, «El APARATO RESPIRATORIO Y LA RESPIRACIÓN,» 18 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.aula2005.com/html/cn3eso/08respiratori/08respiracioes.htm>. [Último acceso: 03 03 2020].
- [9] J. E. Hall y A. C. Guyton, «Respiración,» de *Tratado de fisiología médica*, Barcelona, España., Elsevier, Inc., 2016.
- [10] N. E. Fernández Garza, «PRÁCTICA 40: Mecánica de la respiración,» de *Manual de laboratorio de fisiología*, México, D. F., McGraw-Hil, 2014.
- [11] N. E. Fernández Garza, «PRÁCTICA 41: Volúmenes y capacidades pulmonares,» de *Manual de laboratorio de fisiología*, México, D. F., McGraw-Hill, 2014.
- [12] «MedlinePlus, Generalidades sobre la insuficiencia cardíaca,» 23 03 2020. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000158.htm>.
- [13] A. Torres, M. Ferrer, J. Blanquer, M. Calle, V. Casolívé, J. Echave y D. Masa, «Unidades de cuidados respiratorios intermedios. Definición y características,» vol. 41, nº 9, 2005.

- [14] J. E. Hall y A. C. C. Guyton, «Insuficiencia respiratoria: fisiopatología,» de *Tratado de fisiología médica*, Barcelona, España, Elsevier España, S.L.U, 2016.
- [15] I. P. y. I. S. Instituto Nacional del Corazón, «MedlinePlus, Apnea del sueño,» 27 06 2019. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/sleepapnea.html>.
- [16] « Mayo Clinic, Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC),» [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/copd/symptoms-causes/syc-20353679>.
- [17] M. Clinic, «Edema pulmonar,» Mayo Clinic, 15 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/pulmonary-edema/symptoms-causes/syc-20377009>. [Último acceso: 10 10 2019].
- [18] S. E. d. M. P. S. P. e. Higiene, «Prevalencia de infecciones (relacionadas con la asistencia sanitaria y comunitarias) y uso de antimicrobianos en hospitales de agudos,» 2019.
- [19] M. Ferrer, «Tratamiento de la insuficiencia respiratoria aguda,» vol. 38, nº 5, 2001.
- [20] F. Gutierrez Muñoz, «Ventilación mecánica,» vol. 28, nº 2, 2011.
- [21] D. M. Poblano M, D. U. Chavarría M, D. E. Vergara Ch, D. J. M. Lomelí T, D. M. Á. Nares T, D. E. Monares Z, D. L. Torres L, D. C. Meneses O, D. J. A. Buensuseso A, D. J. Mendoza E y D. S. Zamora G, «Manual básico de ventilación mecánica,» Nochebuena, Mexico , 2014.
- [22] R. C. E. Ventilación Mecánica, México, D. F: Alfíl, 2013.
- [23] I. Casabona, R. Santos y M. Lillo, «Manual de Ventilación Mecánica para Enfermería,» 2017.
- [24] «UPSOCL, Conoce la historia del hombre que ha estado encerrado en esta extraña máquina desde 1952,» 23 11 2017. [En línea]. Available: <http://www.upsocl.com/mundo/conoce-la-historia-del-hombre-que-ha-estado-encerrado-en-esta-extrana-maquina-desde-1952/>.
- [25] D. G. Aguilar, . D. R. Ferrandis, . D. J. Lloréns y D. F. J. Belda, *Modos de soporte ventilatorio en la retirada de la ventilación mecánica. Interacción paciente-respirador: Asincronismos.*, Hospital Clínico Universitario de Valencia, Servicio de Anestesiología y Reanimación..
- [26] K. Deden, *Modos de ventilación de cuidados intensivos*, Lübeck, Alemania: Dräger Medical GmbH.
- [27] R. Artacho Ruiz, F. Ayuso Baptista, F. Fonseca del Pozo, G. Jiménez Moral, J. Minaya García, E. García Criado y A. Esquinas Rodríguez, «Ventilación no invasiva aplicada por facultativos de urgencias de Atención Primaria,» vol. 31, nº 11, 2005.
- [28] G. d. t. V. d. H. G. Univers, «Manual de Ventilación Mecánica no Invasiva,» Real, 2019.
- [29] D. d. Castillo Otero, A. Cortés Caballero, A. García Cuesta y . N. de la Cruz Castro, «Ventilación mecánica no invasiva (VNI) en pacientes agudos y crónicos,» Asociación de Neumología y Cirugía Torácica del

Sur (NEUMOSUR), [En línea]. Available: [https://www.neumosur.net/files/publicaciones/ebook/14-VNI-Neumologia-3\\_ed.pdf](https://www.neumosur.net/files/publicaciones/ebook/14-VNI-Neumologia-3_ed.pdf).

- [30] C. L. Cruz Moya, «Sistemas de humidificación en ventilación mecánica. Mirada de un terapeuta respiratorio,» vol. 3, nº 2, 2008.
- [31] Z. Martínez de Compañón, «Societat Catalana de Pediatria,» Hospital Vall d'Hebrón, 2013. [En línea]. Available: [http://scpediatria.cat/docs/ciap/2013/pdf/ZMartinezdecompanon\\_CIAP2013.pdf](http://scpediatria.cat/docs/ciap/2013/pdf/ZMartinezdecompanon_CIAP2013.pdf).
- [32] InogenOne, «LA HISTORIA DEL CONCENTRADOR DE OXIGENO Y LOS INICIOS DE LA OXIGENOTERAPIA,» [En línea]. Available: <https://www.sistemainogenone.com/la-historia-del-concentrador-de-oxigeno-los-inicios-la-oxigenoterapia/>. [Último acceso: 12 02 2020].
- [33] N. A. Huiman Dávila, «Oxigenoterapia. Servicio de neumología Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión.,» 22 11 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/NestorAlbertoHuiamanDvila/oxigenoterapia-69398567>. [Último acceso: 12 02 2020].
- [34] C. Romero Dapuetto, H. Budini, F. Cerpa, D. Caceres, V. Hidalgo, T. Gutiérrez, J. Keymer, R. Pérez, J. Molina y C. Giugliano Jaramillo, «Pathophysiological Basis of Acute Respiratory Failure on Non-Invasive Mechanical Ventilation,» vol. 9, 2015.
- [35] R. Boldrini, L. Fasano y S. Nava, «Noninvasive mechanical ventilation,» vol. 18, nº 1, 2012.
- [36] M. La Regina, A. Marinaro, . L. Scuotri, F. Corsini y F. Orlandini, «Non-invasive mechanical ventilation in internal medicine departments: a pilot study,» vol. 7, nº 28, 2013.
- [37] A. S. Rodríguez, «Patología respiratoria aguda en los servicios de urgencias,» vol. 3, nº 3, 2010.
- [38] P. Groff, F. Giostra, S. Ansaloni, L. Piccari, F. Miglio, M. Pratesi, A. Rosselli, M. Mazzone, G. Portale, N. Silveri, G. Ferrari, G. Filippi, F. Olliveri, A. Barchielli, A. Pasqua, G. La Torre y R. Petrino, «Use of non-invasive mechanical ventilation in the Emergency Department, clinical outcomes and correlates of failure,» vol. 5, nº 3, 2008.
- [39] «Área de Salud de Cáceres, Servicio de Neumología,» [En línea]. Available: <https://www.areasaludcaceres.es/organigrama/servicios/12-servicios-medicos/2-servicio-de-neumologia.html>.
- [40] M. Artigas, «la ventilación mecánica domiciliaria: una nueva opción terapéutica,» *Medicina Integral*, vol. 41, nº 2, pp. 96-102, 2003.
- [41] D. del Castillo, E. Barrot, E. Laserna, R. Otero, A. Cayuela y J. Castillo Gómez, «Ventilación no invasiva por soporte de presión en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica en insuficiencia respiratoria aguda hipercápnica ingresados en una unidad de hospitalización convencional de neumología,» vol. 120, nº 17, 2003.

- [42] A. Corrado, C. Roussos, N. Ambrosino, M. Confalonieri, A. Cuvelier, M. Elliott, M. Ferrer, M. Gorini, O. Gurkan, J. Muir, L. Quareni, D. Robert, D. Rodenstein, A. Rossi, B. Schoenhofer, A. Simonds, K. Strom, A. Torres y S. Zakyntinos, «Respiratory intermediate care units: a European survey,» vol. 20, 2002.
- [43] T. Molina Velásquez, «INGENIERÍA CLÍNICA PARA NO INGENIEROS: ADQUISICIÓN DE EQUIPOS MÉDICOS,» vol. 1, nº 2, 2007.
- [44] O. M. d. I. Salud, «DISPOSITIVOS MÉDICOS: La Gestión De La Discordancia,» Ginebra, Suiza.
- [45] «Fundación Española del Corazón, Ventilación Mecánica,» [En línea]. Available: <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/tratamientos/ventilacion-mecanica.html>.
- [46] M. Subirana y P. Bazan, «Modalidades de ventilación mecánica,» vol. 11, nº 1, 2000.
- [47] E. Barrot Cortés y E. Sánchez Gómez, «Modulo 16: Manual Separ de procedimientos: Ventilación mecánica no invasiva,» Novartis Farmacéutica S.A., Barcelona, 2008.
- [48] M. Raurell Torredà, «TALLER DE VENTILACIÓN MECÁNICA NO INVASIVA: actividades enfermeras esenciales,» 2016.
- [49] O. DÍAZ P, «XIII. Equipamiento en ventilación no invasiva,» vol. 24, nº 3, 2008.
- [50] RAE, «stock,» Real Academia Española, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/stock>. [Último acceso: 2020 01 10].
- [51] P. N. Roldán, «Economipedia, Modelo matemático,» [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>. [Último acceso: 29 03 2020].
- [52] R. E. Barrientos Martínez, N. Cruz Ramírez, H. G. Acosta Mesa, I. Rabatte Suárez, M. d. C. Gogeoascoechea Trejo, P. Pavón León y . S. L. Blázquez Morales, «Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico médico,» 2009.
- [53] P. Bazán, E. Paz y M. Subirana, «Monitorización del paciente en ventilación mecánica,» vol. 11, nº 2, 2000.
- [54] «EnergyMed,» [En línea]. Available: <https://www.energymed.com.co/seguridad-electrica-de-equipos-medicos/>. [Último acceso: 05 04 2020].
- [55] «UNE. Normalización Española,» 11 01 2015. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0055535>.
- [56] «UNE. Normalización Española,» 21 02 2007. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038414>.

- [57] «UNE. Normalización Española,» 01 11 2011. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0048243>.
- [58] «AENOR,» 28 10 2013. [En línea]. Available: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/iec?c=2594>.
- [59] U. (. Española), «UNE-EN 60601-1-8:2008,» 10 09 2008. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041618>. [Último acceso: 18 04 2020].
- [60] «ISO 80601-2-74:2017,» ISO, 05 2017. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/65008.html>. [Último acceso: 18 04 2020].
- [61] «UNE-EN ISO 80601-2-55:2011 (Ratificada),» UNE (Normalización Española), 01 02 2012. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0048789>. [Último acceso: 18 04 2020].
- [62] U. (. Española), «UNE-EN 13544-1:2007+A1:2010,» 17 03 2010. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044975>. [Último acceso: 18 04 2020].
- [63] D. Thevenet, «Curso de Electricidad, Electrónica e Instrumentación Biomédica con Seguridad - CEEIBS -,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.nib.fmed.edu.uy/ceeibs/Clase\\_07.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/ceeibs/Clase_07.pdf). [Último acceso: 04 19 2020].
- [64] A. Gómez Blanco y M. C. Carnero Moya, «Clasificación de equipos e instalaciones en un Complejo Hospitalario de última generación,» *X Congreso de Ingeniería de Organización*, vol. 10, 2006.
- [65] R. A. Española, «Diccionario de la Real Academia Española,» Real Academia Española, 2019. [En línea]. Available: <https://dej.rae.es/lema/atenci%C3%B3n-sanitaria>. [Último acceso: 18 03 2020].
- [66] E. A. Domínguez Calle, «Modelación Matemática - Una Introducción al método,» Departamento de Ecología y Territorio Pontificia Universidad Javeriana, [En línea]. Available: <http://www.mathmodelling.org>. [Último acceso: 21 03 2020].
- [67] «Wikipedia,» Capacidad pulmonar, [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad\\_pulmonar](https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_pulmonar). [Último acceso: 17 Marzo 2020].
- [68] «MedlinePlus, Insuficiencia respiratoria,» 18 02 2020. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/respiratoryfailure.html>.
- [69] «Consumoteca, Asistencia sanitaria,» [En línea]. Available: <https://www.consumoteca.com/servicios-publicos/sanidad/asistencia-sanitaria/>. [Último acceso: 2020].

## Anexos A

### A1. Inventario de equipos en el hospital

Aspecto/ Ventilador	Respironic V60/Eq1	Respironic V60 plus/Eq2	Respironic Trilogy 200/Eq3	Respironic V680/Eq4	Puritan Bennet 840+/Eq11
Descripción	Sistema de apoyo respiratorio binivel de presión positiva en las vías respiratorias (BiPAP), proporciona ventilación no invasiva con presión positiva (NPPV) y apoyo ventilatorio invasivo para pacientes adultos y pediátricos con respiración espontánea	Se ha demostrado que la VNI reduce significativamente muchas de las complicaciones asociadas con la ventilación mecánica convencional, incluida la incidencia de neumonía adquirida por el ventilador, al tiempo que reduce el costo general de la atención al acortar la duración de la estadía. Los ventiladores V60 Plus permiten la terapia de alto flujo (HFT), por lo que puede rotar entre NIV y HFT, * destetar o intensificar la terapia, todo mientras usa el mismo circuito.	Este ventilador dispone de los modos de terapia de volumen y control de presión. Esta unidad puede facilitar ventilación no invasiva o invasiva. Puede utilizarse para proporcionar a los pacientes terapia total de ventilación a medida que avanzan desde un modo no invasivo a invasivo.	El ventilador ofrece tres configuraciones de ventilación: invasiva de rama única (VM), no invasiva de rama única (VMNI) e invasiva de doble rama (VM). Cada una ofrece una gran variedad de modos	El sistema de ventilación Puritan Bennett™ 840 suministra respiraciones obligatorias o espontáneas con un nivel preestablecido de presión espiratoria final positiva (PEEP), sensibilidad de activación y concentración de oxígeno. Una respiración obligatoria puede ser controlada por presión o volumen, pero siempre se controla por presión en el modo BiLevel opcional. Una respiración espontánea permite flujos inspiratorios del paciente de hasta 200 L / min, con o sin soporte de presión.
Empresa	Phillis Healthvare	Phillis Healthvare	Phillis Healthvare	Phillis Healthvare	Covidien Puritan Bennett
modos de asistencia	Asistido/espontaneo	Asistido/espontaneo	Espontáneo, obligatorio, asistido	Espontáneo, obligatorio, asistido	Obligatorio, espontaneo
modos de ventilación no invasiva	Pressure control ventilation (PCV)	Pressure control ventilation (PCV)	Assist control (AC) por volumen	A/C-VCV (Assist/Control-Volume Control Ventilation)	A/C (control asistido) = (CV, CP, CV+: INVASIVA, CV o CP: NO INVASIVA)
	Average volume assured pressure support (AVAPS)	Average volume assured pressure support (AVAPS)	Synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV)	A/C-PCV (Assist/Control-Pressure Control Ventilation)	SIMV (Ventilación obligatoria intermitente sincronizada)

OPTIMIZACIÓN DEL USO Y EL FUNCIONAMIENTO DE VENTILADORES MECÁNICOS NO INVASIVOS EN UN HOSPITAL

	Proportional pressure ventilation (PPV)* – optional	Proportional pressure ventilation (PPV)* – optional	SIMV with pressure support (SIMV w/PS)	SIMV-VCV (Synchronized Intermittent Mandatory VentilationVolume Control Ventilation)	SPONT (Espontánea)
		HFT (High Flow Therapy)	Control ventilation (CV)	SIMV-PCV (Synchronized Intermittent Mandatory VentilationPressure Control Ventilation)	
			Pressure control (PC)	PSV (Pressure Support Ventilation)	
			Pressure control-SIMV (PC-SIMV)	PRVC (Pressure Regulated Volume Control)	
				Apnea mode (available in SIMV and PSV)	
				*AVAPS+ (Average Volume Assured Pressure Support)	
				*PPV (Proportional Pressure Ventilation)	
				PCV (Pressure Control Ventilation)	
BIPAP Y/O CIPAP	Continuous positive airway pressure (CPAP)	Continuous positive airway pressure (CPAP)	Spontaneous ventilation (S)	CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)	CPAP (Presión positiva continua en la vía aérea está disponible únicamente con la ventilación NIV)
	Spontaneous with timed backup (S/T)	Spontaneous with timed backup (S/T)	Spontaneous ventilation with timed back-up (S/T)	S/T (Spontaneous with Timed Backup)	BILEVEL (disponible únicamente con la opción de ventilación INVASIVA)
			Timed ventilation (T)	Apnea mode (available in CPAP)	
			Continuous positive airway pressure (CPAP)		
MRI	SI	SI	SI	NO	SI
Alto flujo	NO	SI	NO	NO	NO
Humidificador	Posibilidad de incorporar	Posibilidad de incorporar	Posibilidad de incorporar	Posibilidad de incorporar	Posibilidad de incorporar
	El humidificador respiratorio MR810 o F&P850 humidifier	El humidificador respiratorio MR850			
batería	6 horas	6 horas	3 horas	4 horas	1 hora
Turbina	no	no	no	no	no
Modo transporte	carro	carro	carro	carro	carro

Gas suministrado	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno
Compensación de fugas	Auto-Trak Sensitivity. Capacidad para reconocer y compensar fugas.	Auto-Trak Sensitivity. Capacidad para reconocer y compensar fugas.	Auto-Trak Sensitivity. Capacidad para reconocer y compensar fugas.	Disponible en los modos de rama única. Compensa automáticamente las fugas accidentales intencionadas y no intencionadas	No, solo puede aumentar el parámetro de la sensibilidad por flujo
Monitorización	Gráficas de presión, volumen y flujo	Gráficas de presión, volumen y flujo	No muestra gráficas de forma de onda	Forma de onda de presión, forma de onda de flujo, forma de onda de volumen, bucle F / V (flujo / volumen), bucle P / V (presión / volumen).	<b>Curva</b> de presión-tiempo, curva de flujo-tiempo, curva de volumen-tiempo o <b>bucle</b> de presión-volumen (se pueden mostrar una o dos curvas de forma de onda o un bucle de presión-volumen al mismo tiempo).
	Paciente / fuga total, trigger, La frecuencia respiratoria, Ti / Ttot, Volumen minuto, Volumen corriente, fase de respiración, modo ventilación.	Paciente / fuga total, trigger, La frecuencia respiratoria, Ti / Ttot, Volumen minuto, Volumen corriente, fase de respiración, modo ventilación.	Volumen corriente, ventilación minuto, tasa de fuga estimada, frecuencia respiratoria, flujo inspiratorio máximo, presión inspiratoria máxima, presión media de las vías respiratorias, % de respiraciones activadas por el paciente, relación I: E.	O2% (porcentaje de oxígeno), PIP (Presión inspiratoria máxima), PEEP, EPAP (presión positiva de la vía aérea espiratoria), MAP (presión media de la vía aérea), Indicador de fase de respiración / activación Esponja, soporte, mandíbula, asistencia, exhalación, TI / TTOT, I: E, Pt. Trig (% de activación del paciente), Te (tiempo espiratorio), Frecuencia respiratoria total, Spont R (frecuencia respiratoria espontánea), V' E (volumen total/minuto), Spont V' E (Volumen minuto espontáneo), VTI (volumen corriente inspirado), VTE (volumen corriente exhalado), Spont VTE (Volumen corriente espontáneo, Dyn C (cumplimiento dinámico), Dyn Ri (resistencia dinámica, inspiratoria), Dyn Re (resistencia dinámica, espiratoria), Dyn E (Elastancia dinámica), Dyn Pplat (Presión de meseta dinámica), RSBI (f / VT) (Índice de respiración rápida y superficial), Pt. Leak (fuga "no intencional"), Tot. Leak (Fuga total).	Indica el tipo (control, asistencia o espontáneo) y fase (inspiración o exhalación) de la respiración que se entrega O2%, (PEEP), (PI END), (VE TOT), (VTE), (VTI) (solo con NIV), Volumen tidal inspirado obligatorio (VT MAND) (solo con VC +), relación I: E, (PPEAK), (PMEAN), (VE SPONT), (fTOT), (f / VT), (TI SPONT), relación TI / TTOT, Cumplimiento típico (CPAV), (EPAV), (PEEPI), (Total- Vía aérea) (RPAV), (RTOT), Volumen corriente espontáneo inspirado (VTI SPONT), Normalizado f / VT, Trabajo de respiración por paciente (WOBPT), (WOBToT), (NIF), Capacidad vital (VC), (CDYN) , (RDYN), (PEF), (EEF), (PSF).

		<b>Nota:</b> No hay parámetros monitoreados disponibles en HFT			
		<b>Nota:</b> Solo una forma de onda de flujo está disponible en HF			
Ajustes de control relevantes	<b>C-Flex.</b> Mejora la CPAP tradicional reduciendo la presión al comienzo de la exhalación y volviendo a la presión CPAP establecida antes de que finalice la exhalación.	<b>C-Flex.</b> Mejora la CPAP tradicional reduciendo la presión al comienzo de la exhalación y volviendo a la presión CPAP establecida antes de que finalice la exhalación.	<b>C-Flex.</b> Mejora la CPAP tradicional reduciendo la presión al comienzo de la exhalación y volviendo a la presión CPAP establecida antes de que finalice la exhalación.	<b>C-Flex.</b> Mejora la CPAP tradicional reduciendo la presión al comienzo de la exhalación y volviendo a la presión CPAP establecida antes de que finalice la exhalación.	<b>% de tiempo de rampa.</b> Si se selecciona PC o VC+ como tipo mandatorio, ajuste el parámetro % de tiempo de rampa para una administración óptima de flujo a los pulmones.
	<b>Tiempo de rampa.</b> En los modos CPAP, S, S/T y PC, la función Rampa reducirá la presión y después la aumentará (rampa) gradualmente hasta alcanzar el valor prescrito de la presión para que los pacientes puedan dormirse más cómodamente.	<b>Tiempo de rampa.</b> En los modos CPAP, S, S/T y PC, la función Rampa reducirá la presión y después la aumentará (rampa) gradualmente hasta alcanzar el valor prescrito de la presión para que los pacientes puedan dormirse más cómodamente.	<b>Bi-Flex.</b> En el modo S; adapta la terapia al introducir una pequeña cantidad de alivio de presión durante las últimas etapas de la inspiración y durante el comienzo de la espiración	<b>El modo de respaldo en apnea</b> es un conjunto específico de parámetros del ventilador que se utiliza en caso de apnea. Está disponible durante la ventilación de rama única en el modo CPAP y durante la ventilación de rama doble en los modos SIMV-PCV, SIMV-VCV y PSV.	<b>Ventilación en apnea.</b> El ventilador declara apnea cuando no se ha administrado la respiración cuando transcurre el intervalo de apnea seleccionado por el operador, más un pequeño incremento de tiempo (350 ms). Este incremento le da tiempo a un paciente que ha comenzado a iniciar una respiración para activar la inspiración y evitar que el ventilador declare apnea cuando el intervalo de apnea es igual al período de respiración
	<b>Auto-Trak / Auto-Trak + *.</b> Auto-Trak mantiene automáticamente los umbrales de activación y ciclo apropiados para mantener la sincronización entre el paciente y el ventilador incluso con cambios de fugas. Una actualización opcional, Auto-Trak + le permite al médico personalizar el gatillo de Auto-Trak y la sensibilidad del ciclo electrónico.	<b>Auto-Trak / Auto-Trak + *.</b> Auto-Trak mantiene automáticamente los umbrales de activación y ciclo apropiados para mantener la sincronización entre el paciente y el ventilador incluso con cambios de fugas. Una actualización opcional, Auto-Trak + le permite al médico personalizar el gatillo de Auto-Trak y la sensibilidad del ciclo electrónico.	<b>Tiempo de rampa.</b> En los modos CPAP, S, S/T y PC, la función Rampa reducirá la presión y después la aumentará (rampa) gradualmente hasta alcanzar el valor prescrito de la presión para que los pacientes puedan dormirse más cómodamente.	<b>El Tiempo de rampa</b> establecido por el operador define el tiempo requerido para aumentar la presión inspiratoria a la presión (objetivo) establecida.	<b>Software de compensación de tubos:</b> supera con precisión el trabajo de respirar a través de una vía aérea artificial.

**Función AVAPS.** La función de presión de soporte con volumen promedio asegurado (AVAPS) se encuentra disponible en los modos S, S/T, PC y T. Esta función ayuda a los pacientes a mantener un volumen corriente (VT) igual o mayor que el volumen corriente objetivo (ajuste de volumen en el ventilador), al controlar automáticamente la presión de soporte (PS) que se proporciona al paciente.

**Auto-Trak / Auto-Trak + \***. Auto-Trak mantiene automáticamente los umbrales de activación y ciclo apropiados para mantener la sincronización entre el paciente y el ventilador incluso con cambios de fugas. Una actualización opcional, Auto-Trak + le permite al médico personalizar el gatillo de Auto-Trak y la sensibilidad del ciclo electrónico.

**Ventilación asistida proporcional (PAV +).** Ofrece a los médicos un nuevo método para abordar la sincronía, así como también el trabajo de respiración para pacientes que son destetados de la ventilación.

## A2. Evaluación de equipos seleccionados del mercado

Aspecto/ Ventilador	Draeger Carina/Eq5	Dräger Evita Infinity® V500/Eq6	Hamilton S1/Eq7	sv600/Eq8	Servo-air /Eq9	Stellar 150 /Eq10
Descripción	NIV de alto rendimiento, que resulta cómoda tanto para el paciente como para el cuidador.0 También es inteligente, ya que reconoce los cambios en los parámetros de flujo y en el estado del paciente, y suministra el nivel preciso de soporte al tiempo que permite al paciente respirar por sí mismo. Carina ofrece todo un abanico de modos de ventilación para respiración espontánea y ventilación obligatoria, y un mezclador de gases integrado que es capaz de suministrar concentraciones de oxígeno del 21 al 100 %. Carina puede usarse incluso en caso de que se precise ventilación invasiva	Ventilación de alto rendimiento y completa con la integración de Infinity® Acute Care System para responder a los retos actuales en el entorno de atención sanitaria. Ventilación no invasiva con activación inspiratoria sensible y finalización del ciclo espiratorio para mejorar la sincronía entre paciente y ventilado	El HAMILTON-S1 es el respirador mecánico más avanzado disponible hoy en día y cuenta con algunas prestaciones únicas: Es el primer respirador que integra el "piloto automático para ventilación" INTELLiVENT®-ASV®. INTELLiVENT-ASV controla automáticamente los ajustes del respirador en función de los objetivos de la ventilación y la oxigenación que defina el personal clínico, y los datos fisiológicos del paciente.	Este producto está diseñado para usarse en situaciones de cuidados intensivos dentro de un centro de salud profesional o durante el transporte dentro de un centro de salud profesional. Este producto está destinado a proporcionar asistencia de ventilación y respiración para pacientes adultos, pediátricos y neonatos. El producto debe ser operado por personal médico debidamente capacitado y autorizado.	Servo-air® es fácil de usar e independiente del aire comprimido y las fuentes de alimentación externas. Hace que ser propietario, aprender y usar ventilación de calidad sea aún más alcanzable. Con su versatilidad para UCI para cuidados intermedios y ventilación no invasiva e invasiva, Servo-air proporciona un rendimiento liberador para todo el equipo y ahora también con una opción de terapia de alto flujo.	El Stellar 100/150 está destinado a proporcionar ventilación a pacientes adultos y pediátricos no dependientes que respiren espontáneamente (13 kg y más) con insuficiencia respiratoria o insuficiencia respiratoria, con o sin apnea obstructiva del sueño. El dispositivo es para uso no invasivo o invasivo (con el uso de la válvula de fuga ResMed)
Empresa	Draeger Medical AG	Draeger Medical AG	Hamilton Medical	Mindray	GETINGE	RESMED
modos de asistencia	Espontáneo, obligatorio, asistido	Espontáneo, obligatorio, asistido	Espontáneo, obligatorio, asistido	Espontáneo, obligatorio, asistido	Espontáneo, obligatorio, asistido	Asistido/espontaneo
modos de ventilación no invasiva	PC-AC	VC-CMV (CONTROL DE VOLUMEN – VENTILACIÓN MANDATORIA CONTROLADA)	CMV/ SIMV (Control por flujo y por volumen)	V-A/C, P-A/C (IV, NIV): Modo de ventilación con control de volumen o presión / asistencia	PC (presión controlada)	iVAPS (intelligent Volume-Assured Pressure Support) with AutoEPAP
	VC-SIMV	VC-SIMV (CONTROL DE VOLUMEN - VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA)	VS (Control por volumen, ciclo por flujo)	V-SIMV, P-SIMV (IV) : Modo de ventilación obligatoria intermitente sincronizado con volumen o presión	VC (volumen controlado)	PAC (Pressure Assisted Control)

	VC-AC	VC-AC (CONTROL DE VOLUMEN - VENTILACIÓN ASISTIDA CONTROLADA)	APVcmv/APVsimv (Volumen objetivo controlado por presión adaptable)	PRVC, PRVC-SIMV (IV): Control de volumen regulado por presión modo de ventilación	.0	
	VC-PS	VC-MMV (CONTROL DE VOLUMEN - VENTILACIÓN CON VOLUMEN MINUTO MANDATORIO)	P-CMV/P-SIMV /APRV (Control por presión)	APRV (IV): Modo de ventilación de liberación de presión de la vía aérea	VS (volumen soporte), opcional	
		PC-CMV (CONTROL DE PRESIÓN - VENTILACIÓN MANDATORIA CONTINUA)	ESPONT (respiración es espontánea, ya sean respiraciones espontáneas asistidas con o sin presión)	VS (IV): Ventilación de soporte de volumen	SIMV (VC) + PS (ventilación obligatoria intermitente sincronizada) / SIMV (PC) + PS/SIMV (VCRP) + PS (opcional)	
		PC-SIMV (CONTROL DE PRESIÓN - VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA)	VNI (Todas las respiraciones son espontáneas)	AMV(IV): Ventilación minuto adaptativa	PC-VNI, opcional	
		PC-AC (CONTROL DE PRESIÓN - VENTILACIÓN ASISTIDA CONTROLADA)	VNI-ST (respiraciones son espontáneas siempre que el paciente respire con una frecuencia mayor que la establecida)	CPRV (IV): Ventilación de reanimación cardiopulmonar	PS-VNI, opcional	
		PC-APRV (CONTROL DE PRESIÓN- VENTILACIÓN CON LIBERACIÓN DE PRESIÓN EN LAS VÍAS AÉREAS)		PSV-S/T (NIV) : Ventilación con soporte de presión - modo de ventilación espontánea / temporizada	Bi-Vent/APRV (ventilación de liberación de presión de las vías respiratorias), opcional	
		PC-PSV (CONTROL DE PRESIÓN - VENTILACIÓN CON PRESIÓN DE SOPORTE)				
BIPAP Y/O CIPAP	SPN-CPAP/PS	SPN-CPAP/PS	DuoPAP (Controlada por presión, respiraciones espontaneas en dos niveles de presión)	CPAP/PSV (IV, NIV)		ST (Spontaneous-Timed)
	PC-BIPAP/PS1) (EE. UU.: PC-SIMV/PS)	SPN-CPAP/VS	INTELLIVENT®-ASV	DuoLevel: Modo de ventilación de presión positiva de doble vía aérea	PS/CPAP (presión soporte / presión positiva continua en las vías respiratorias)	S (Spontaneous)

OPTIMIZACIÓN DEL USO Y EL FUNCIONAMIENTO DE VENTILADORES MECÁNICOS NO INVASIVOS EN UN HOSPITAL

		SPN-CPAP	ASV®			T (Timed)
		SPN-PPS*				CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)
		PC-BIPAP1) / SIMV+				
MRI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
Alto flujo	NO	SI	SI	SI	SI (No se interrumpe al cambiar el modo)	NO
Humidificador	No	Posibilidad de incorporar	SI	SI	SI	SI
		F&P850 humidifier. Adult Optiflow. and Oxygen therapy. Humidificador MR850	El HAMILTON-H900	F&P850 humidifier	F&P850 humidifier. Adult Optiflow. and Oxygen therapy. El humidificador MR850 junto con la cámara de llenado automático MR290	H4i™ heated humidifier.
Batería	1 hora	4 horas	1 hora	3 horas	2h estándar, 4h opcional intercambiable en caliente	2h estándar
Turbina	Turbina de alto rendimiento silenciosa - Independiente del suministro central de gas	no	no	SI	Turbina de aire y válvula de oxígeno	no
Modo transporte	Carro	Carro	Varias modalidades	Carro	Carro y pantalla retráctil	Mochila
Gas suministrado	Conecte el tubo de suministro de O2	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno	Aire y oxígeno
Compensación de fugas	Compensación de fugas hasta 180 L/min	capacidad de reconocer y compensar fugas involuntarias en el sistema	no especifica	El ventilador proporciona una función de compensación automática de fugas. (Adultos 65 L/min)	Automático para todos los modos de ventilación compensa máximo 25 l/min	Vsync: un algoritmo automático para compensar la fuga involuntaria
Monitorización	Curvas de presión en las vías aéreas Paw(t), Flujo (t).	Presión en las vías respiratorias Paw, Flujo (t), Volumen V (t), Concentración esp. de CO <sub>2</sub> (etCO <sub>2</sub> ). Bucle PV de flujo bajo	<b>Formas de onda</b> Pva, Flujo, Volumen, Off, PCO <sub>2</sub> , FCO <sub>2</sub> , Pletismógrafo, Pes (Paux), Ptranspulm. <b>Bucles</b> Pva/Volumen, Pva/Flujo,	<b>Formas de onda</b> Tiempo de presión de la vía aérea, tiempo de flujo, tiempo de volumen, tiempo de CO <sub>2</sub> , tiempo de pleth. <b>Bucles</b> Paw -Volume,	<b>Curvas en tiempo real:</b> Presión, Flujo y Volumen. <b>Bucles:</b> Presión-Volumen, Presión-Flujo, Volumen-Flujo.	No muestra gráficas de forma de onda

			Volumen/Flujo, Volumen/PCO2	Flow-Volume, Volume-CO2.	Paw-Flow,	
	PEEP, PIP, Pmedia, VM (Volumen minuto), VT (Volumen tidal),FR (Frecuencia respiratoria), VMleak (Volumen de fuga).	Pplat (Presión meseta ), PEEP, PIP, Pmean (Presión media), Pmin (Presión mín.), VM, MVmand (Volumen/mín. obligatorio), MVspon (Volumen/mín. espontáneo), VT, FR, RRespon (FR espontánea), FIO2, Concentración de CO2 al final de la espiración (etCO2), Volumen minuto de fugas (MVleak).	AutoPEEP,Paux(Presión auxiliar), ΔP (Presión de trabajo), Ptrans I, Ptrans E, PEEP/CPAP, Pmed, Ppico, Pmeseta, Pmin, Flujo insp., Flujo esp., Flujo, VolMinEsp o MinVol VNI, MVSpont o MVSpO VNI, VTE o VTE VNI, VTE Espont, VTi, VT/PCI, VFugas (%) o MVfugas, VFugas, FetCO2, PetCO2, SpO2, HLI, Pulso, SpO2/FiO2; Valv, VeCO2, ViCO2, etc.	Ppeak, Pplat, Pmean, PEEP, TVi, TVe, TVe spn, ftotal, fmand, fspn, MVi, MVe, MVspn, MVleak, Rinsp, Rexp, Cstat, Cdyn,PEEPi, Inspired Oxygen (FiO2), I:E, Tinsp, entre otros.	Ppico, Ppausa, Pmedia, PEEP, F. espont., F resp, VMe Esp., VMi, VME, %Fugas, Vci, VCe, Flujoef, Conc. de O2, Ri, Res. esp., Elastancia, entre otros.	Fuga (Lk), frecuencia respiratoria (RR), tiempo de inspiración (Ti), volumen corriente (Vt), ventilación por minuto (MV).
		Monitorización volumétrica de CO2 (VCO2, VTCO2, Fases de la Rampa 3, Vds/VTe)	Pulsioximetría (medición de pulso y SpO2)			Sensor de monitoreo de FIO2
			Capnografía de flujo (volumétrica) y capnografía intermedia			Pulsioximetría (medición de pulso y SpO2)
Ajustes de control relevantes	<b>SyncPlus®</b> de Dräger proporciona el tipo de flujo constante que se traduce en el máximo beneficio terapéutico, sin sacrificar la comodidad	<b>QuickSet y PressureLink</b> también se pueden combinar para facilitar los ajustes respiración a presión inspiratoria y PEEP con una presión delta constante.	<b>Evaluación y reclutamiento pulmonares con P/V Tool Pro.</b> Se puede usar para evaluar la capacidad de reclutamiento pulmonar y decidir qué estrategia de reclutamiento se debe poner en marcha. P/V Tool Pro también sirve para llevar a cabo una maniobra de reclutamiento de inspiración mantenida y para medir el aumento del volumen pulmonar.	<b>IntelliCycle</b> . el ventilador monitorea y se adapta [Exp%] de acuerdo con la condición y las necesidades del paciente automáticamente, y termina la inspiración con más sincronía	<b>Servo Compass</b> facilita ver cuándo la meseta / presión de conducción o el volumen corriente por peso corporal predicho (VT / PBW) están fuera del objetivo predefinido y se necesita intervención.	<b>Sensibilidades de activación / ciclo:</b> cinco sensibilidades para la activación y el ciclismo ofrecen flexibilidad para personalizar la terapia y acomodar una variedad de condiciones del paciente.

<p><b>AutoRamp®</b> del Carina simula un patrón de respiración natural que ayuda a mejorar el flujo de insuflación suministrado al paciente</p>	<p><b>SmartCare/PS</b>, como software de retirada de ventilación automatizado y basado en el conocimiento, reduce el período de estancia en la UCI*. Los límites configurables en SmartCare/PS permiten realizar adaptaciones individuales a la situación del paciente</p>	<p><b>Ventilación asistida adaptable (ASV)</b>. Ajusta de forma continua la frecuencia respiratoria, el volumen tidal y el tiempo inspiratorio en función de la mecánica pulmonar y el esfuerzo del paciente. ASV adapta la ventilación en cada respiración, 24 horas al día, desde la intubación hasta la extubación.</p>	<p><b>Ventilación en apnea</b>. Para conmutar automáticamente a control de volumen, respiración obligatoria en caso de producirse una apnea.</p>	<p><b>AUTOMODE</b> cambia entre ventilación controlada y asistida según el esfuerzo del paciente, proporcionando una transición más suave del paciente a la respiración espontánea con menos intervención del personal.</p>	<p><b>Valores predeterminados de patología:</b> ofrecen una selección de valores de configuración preestablecidos específicos de la enfermedad para facilitar un punto de partida rápido y sensible a la terapia.</p>
<p><b>AutoFlow®:</b> ventilación de volumen garantizado con corrección de presión en caso de cambios de compliancia</p>	<p><b>Bucle de flujo lento PV</b> del Evita Infinity V500 sirve como maniobra de reclutamiento alveolar automática y se puede usar para optimizar los ajustes del ventilador7).</p>	<p><b>Ventilación automatizada con INTELLiVENT-ASV</b>. Controla continuamente la ventilación y la oxigenación del paciente. Define la ventilación por minuto, así como los valores de PEEP y de oxigenación en función de los objetivos fijados por el médico y los datos fisiológicos del paciente. INTELLiVENT-ASV también ofrece herramientas automatizadas que fomentan la retirada temprana de la respiración (destete rápido).</p>	<p><b>Suspiro</b> La función de suspiro puede prevenir el colapso pulmonar, al ayudar a que los alvéolos pulmonares colapsados se vuelvan a abrir. La función de suspiro de presión se puede activar en los modos V-A / C, P-A / C, PRCV, V SIMV, P-SIMV, PRVC-SIMV y AMV.</p>		<p><b>Tiempo de subida / caída:</b> la duración ajustable para las transiciones a la inspiración y al vencimiento ofrece la oportunidad de una comodidad máxima</p>

			<p><b>IntelliSync+</b> no pierde de vista la sincronización entre el paciente y el respirador. Analizando continuamente las formas de onda cientos de veces por segundo. Este permite a IntelliSync+ detectar los esfuerzos del paciente y realizar ciclos inmediatamente a fin de iniciar la inspiración y la espiración en tiempo real. IntelliSync+ se aplica a la ventilación invasiva y no invasiva con independencia del modo de ventilación.</p>	<p><b>CPRV</b> se refiere a la ventilación de reanimación cardiopulmonar, que es un modo de ventilación aplicado durante el proceso de reanimación cardiopulmonar (CPR), y puede activarse rápidamente durante la RCP para proporcionar al paciente ventilación mecánica de manera oportuna y evitar daños al paciente causados por frecuentes gatillos y sobre ventilación durante la RCP.</p>		<p><b>Ajuste de la máscara:</b> garantiza un sellado óptimo para la interfase del paciente para evitar fugas involuntarias</p>
				<p><b>Compensación automática de resistencia de tubo (ATRC).</b> Al seleccionar el tubo endotraqueal (ET) apropiado o el tubo de traqueotomía (Trach) de diferentes diámetros para el usuario, el ventilador puede ajustar la presión de suministro de gas automáticamente, de modo que la presión al final del tubo sea consistente con el valor de ajuste de presión del ventilador como sea posible.</p>		<p>Opción de sincronización</p>

### A3. Código proceso de decisión

```

# In[1]:
import seaborn as sns
import numpy as np
import scipy
from enum import Enum
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# In[2]:
class Score(Enum):
    high = 2
    medium = 1
    low = 0
scores = {'high':2, 'medium':1, 'low':0}
devices = list(range(1,12))
devices

## Load devices criteria scoring matrix

# In[3]:
devices_scoring = pd.read_csv("Equipos.csv",
sep=';', index_col=0)
criterias = list(devices_scoring.index)
devices = list(devices_scoring.columns)
print(criterias)
devices_scoring

# In[4]:
healthcare_areas_requirements =
pd.read_csv("Areas.csv", sep=';', index_col=0)

# Save the name of the areas as a list of Strings
healthcare_areas =
list(healthcare_areas_requirements.columns)

# Assign weights to each of the criterias
high_weight = 2
low_weight = 1
healthcare_areas_requirements['weights'] =
[high_weight, low_weight, low_weight,
high_weight,
high_weight, high_weight,
low_weight, low_weight, low_weight ]
healthcare_areas_requirements

## Compute the criterias scores

# In[5]:
# Dictionary saving the scores of all of the devices in
all of the areas
criterias_score = {}
for criteria in criterias:
    df = pd.DataFrame(columns=devices,
index=healthcare_areas)
    for area in healthcare_areas:
        for device in devices:
            requirement =
healthcare_areas_requirements.loc[criteria, area]
            score = devices_scoring.loc[criteria, device]
            weight =
healthcare_areas_requirements.loc[criteria,
'weights']
            if weight == high_weight:
                if score >= requirement:
                    result = 3
                elif requirement - 1 == score and score > 1:
                    result = 2
                else:
                    result = 0
            else:
                if score >= requirement:
                    result = 2
                elif requirement - 1 == score and score > 1:
                    result = 1
                else:
                    result = 0

            df.loc[area, device] = result
            criterias_score[criteria] = df

print("Resultados Ventilación mecánica no
invasiva")
criterias_score["Ventilación mecánica no invasiva"]

## Sum scores for each device in all of the criterias

# In[14]:
total = None
for criteria, scores in criterias_score.items():
    if total is None:
        total = scores.copy()
    else:
        total += scores
total

## Sort devices by their scores in each of the
respective healthcare areas

```



```

# In[15]:
# Iterate through areas
for area in healthcare_areas:
    # Get scores of all devices (:) in this area
    original = total.loc[area, :]
    # Sort devices from high to low score
    sorted_df = original.sort_values(axis=0,
ascending=False)
    print(sorted_df)
    # Create figure to hold the plot
    fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(10,5), dpi=150)

    # Plot the data in bar chart
    barplot = sns.barplot(x=sorted_df.values,
y=sorted_df.index, ax=ax1,
palette=sns.light_palette((210, 90,
60),
n_colors=len(devices),input="husl",
reverse=True))

    #Draw a line in a specific axis
    barplot.axvline(9, ls='--', color='r', lw = 2)
    barplot.axvline(13, ls='--', color='b', lw = 2)
    barplot.axvline(22, ls='--', color='g', lw = 2)

    # Configure plot
    barplot.axes.set_title(area)
    barplot.set_xlabel("Calificación de los equipos")
    barplot.set_ylabel("Equipos")
    plt.savefig("%s_comparison.png" % area)
    sns.despine(fig)

```

## A4. Datos modelo matemático situación real

```

/*****
* OPL 12.9.0.0 Data
* Author: Ekatherina Garzón Jirón
* Creation Date: 9/03/2020 at 11:55:51 p. m.
*****/

```

```

Areas = {NEUMO UCI SC URG};
Equipos = {Eq1 Eq2 Eq3 Eq4 Eq11};
Criterios = {VMNI MO AC OAF BC VMI CF BA CFD};
T = [11 5 5 2 17];
Demanda = [[4 29 4 10]
            [4 29 4 2]
            [4 11 4 4]
            [2 20 3 4]
            [4 20 3 4]
            [0 18 1 2]
            [4 29 4 10]
            [4 29 4 10]
            [4 11 4 10]];

```

```

Cal_Equipos = [ [2 2 1 3 1]
                [2 2 1 3 2]
                [2 2 2 2 1]
                [1 3 1 1 1]
                [2 2 3 2 2]
                [1 1 1 2 2]
                [3 3 3 2 1]
                [3 3 2 2 1]
                [1 1 1 1 1]];

```

```

Cal_Areas = [ [3 2 3 2]
              [2 3 3 1]
              [3 2 2 1]
              [1 3 3 1]
              [3 2 3 2]
              [1 2 1 1]
              [2 2 2 2]
              [3 2 3 1]
              [1 3 2 1]];

```

```

W = [2 1 1 2 2 2 1 1 1];

```

## A5. Datos modelo matemático situación ideal

/\*\*\*\*\*

\* OPL 12.9.0.0 Data

\* Author: Pc

\* Creation Date: 18/03/2020 at 9:29:32 p. m.

\*\*\*\*\*/

Areas = {NEUMO UCI SC URG};

Equipos = {Eq1 Eq2 Eq3 Eq4 Eq5 Eq6 Eq7 Eq8 Eq9 Eq10 Eq11};

Criteria = {VMNI MO AC OAF BC VMI CF BA CFD};

T = [6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];

Demanda = [[6 18 10 4]

[4 18 10 2]

[4 18 10 2]

[3 13 7 2]

[6 13 7 4]

[0 18 1 2]

[6 18 10 2]

[6 18 10 4]

[3 18 10 1]];

Cal\_Equipos = [ [2 2 1 3 1 2 2 2 2 1 1]

[2 2 1 3 2 3 3 2 2 3 2]

[2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1]

[1 3 1 1 1 2 2 2 2 1 1]

[2 2 3 2 2 3 1 2 1 3 2]

[1 1 1 2 1 3 2 3 2 1 2]

[3 3 3 2 2 3 2 3 3 3 1]

[3 3 2 2 1 2 1 2 2 1 1]

[1 1 1 1 1 1 3 1 2 1 1]];

Cal\_Areas = [ [3 2 3 2]

[2 3 3 1]

[3 2 2 1]

[1 3 3 1]

[3 2 3 2]

[1 2 1 1]

[2 2 2 2]

[3 2 3 1]

[1 3 2 1]];

W = [2 1 1 2 2 2 1 1 1];

## A6. Modelo matemático

```

/*****
* OPL 12.4 Model
* Author: Ekatherina Garzón Jirón
* Creation Date: 9/03/2020 at 11:55:51 p. m.
*****/
/* Datos */
{string} Areas = ...;
{string} Equipos = ...;
{string} Criterios = ...;
int Demanda[Criterios][Areas] = ...;
int Cal_Equipos[Criterios][Equipos] = ...;
int Cal_Areas[Criterios][Areas] = ...;
int T[Equipos] = ...;
int W[Criterios] = ...;

/* Variables */
dvar int+ Balance[Equipos][Areas];
dvar int+ Diferencia[Criterios][Areas];

/* Función Objetivo */
minimize sum(i in Areas, j in Criterios) W[j] * Diferencia[j][i];

/* Restricción */
subject to
    forall (i in Areas, j in Criterios)
    {
        Diferencia[j][i] >= Demanda[j][i] * Cal_Areas[j][i] - sum(k in
Equipos) (Balance[k][i] * Cal_Equipos[j][k]);
    }
    forall (k in Equipos)
    {
        sum(i in Areas) Balance[k][i] <= T[k];
    }
}

```