



**TESIS DE MAGISTER**

**EN INGENIERIA DEL SOFTWARE**

**Sistema de Asistencia para la Configuración  
de Ventiladores OAF en Neonatología**

**AUTOR : ING. FACUNDO BERMEJO**

**DIRECTORES**

**DR. RAMON GARCÍA MARTÍNEZ (ITBA)**

**M.ING. HERNÁN ILARIUZZI (UPM)**

**BUENOS AIRES, 2002**

*Dedicado a mi familia*

## *Agradecimientos*

A mis tutores, Ramón García Martínez y Hernán Hiliaruzzi, por sus valiosas recomendaciones

A los expertos Dr. Collazo y Dra. Diana Fariña, por su experiencia

A mis hermanas, Florencia y Mariana por su ayuda a la distancia.

A mis Padres, por su infinito apoyo y soporte.

A mi esposa Lucrecia, por sus momentos regalados y su compañía incondicional.

## ***Resumen***

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO), presenta grandes diferencias respecto a la VMC; en particular se utilizan frecuencias respiratorias superiores a 120 respiraciones por minuto (RPM), y volúmenes corrientes, inferiores al espacio muerto anatómico. De esta manera, se intenta no solo proveer soporte durante la ventilación en pacientes con falla respiratoria aguda, sino también disminuir el daño inducido por el respirador.

Los trabajos científicos realizados hasta el momento han presentado casos clínicos con éxito, pero no suficientes, haciendo que los médicos presenten dudas respecto a la nueva estrategia de ventilación. Con los nuevos trabajos publicados y el uso de estos respiradores, la opinión esta cambiando lentamente. Esta inercia relacionada con la introducción de un nuevo tratamiento, no presenta diferencias respecto de otros cambios importantes que se han presentado en la medicina anteriormente.

Sin embargo, se presenta un problema adicional a la inserción del concepto de la VAFO, que es la implementación del mismo en un servicio de terapia intensiva. Los equipos que permiten ventilar con alta frecuencia oscilatoria son completamente diferentes a los equipos que realizan VMC (controles, seteo, configuración, maniobras de enfermería, consumibles, etc)

La Ingeniería del Software permite el desarrollo de herramientas que pueden ayudar en el entrenamiento y la introducción de este tipo de tecnologías. La presente obra muestra el desarrollo de un sistema de asistencia en el manejo de ventiladores de alta frecuencia oscilatoria para pacientes neonatales siguiendo los pasos de la metodología IDEAL

## ***Abstract***

The ventilation of high oscillating frequency (VAFO), presents great differences with VMC; in particular, it uses respiratory frequencies superior to 120 breathings per minute (RPM), and current volumes, lower to the anatomical dead space. This way, it is tried not only to provide support during the ventilation in patients with acute respiratory fault, but also to diminish the damage induced by the respirator.

So far, scientific research has presented successful clinical cases, but not enough, so doctors have doubts related to the new strategy of ventilation. With the new published works and the use of these respirators, the opinion is changing slowly. This inertia related to the introduction of a new treatment, does not present differences respect to other important changes that have appeared in the medicine previously.

Nevertheless, an additional problem to the insertion of the concept VAFO appears, that is the implementation of it in a service of intensive therapy. The equipment that allows to ventilate with high oscillating frequency is completely different from the equipment for VMC (controls, settee, configuration, manoeuvres of infirmary, consumable, etc).

In this way, the user faces a very important problem at the time of adopting the new technology. The enabled, expert users, are little and the advanced training courses that these make are few and short, destined solely to doctors. Consequently, the professional who assists does not feel confident enough to ventilate patients with these respirators.

Software Engineering allow to build tools in order to help in training and incorporating this technology. This work shows the development of a System of assistance for the configuration of ventilators OAF in Neonatology following the stages of the IDEAL methodology

<b>UNIDAD 1.....</b>	<b>4</b>
<i>Introducción</i>	
<b>UNIDAD 2.....</b>	<b>25</b>
<i>Dominio de Aplicación</i>	
<b>UNIDAD 3.....</b>	<b>27</b>
<i>Definición del Problema</i>	
<b>UNIDAD 4.....</b>	<b>30</b>
<i>Estudio de Viabilidad</i>	
<b>UNIDAD 5.....</b>	<b>64</b>
<i>Adquisición de Conocimientos</i>	
<b>UNIDAD 6.....</b>	<b>112</b>
<i>Conceptualización</i>	
<b>UNIDAD 7.....</b>	<b>193</b>
<i>Formalización</i>	
<b>UNIDAD 8.....</b>	<b>205</b>
<i>Selección de la Herramienta e Implementación del sistema</i>	
<b>UNIDAD 9.....</b>	<b>223</b>
<i>Evaluación del sistema</i>	
<b>UNIDAD 10.....</b>	<b>251</b>
<i>Conclusiones y futuras líneas de investigación y desarrollo</i>	
<b>UNIDAD 11.....</b>	<b>254</b>
<i>Bibliografía</i>	

**UNIDAD 1**  
**INTRODUCCIÓN**

---

**INTRODUCCIÓN**

Seguidamente se expondrán conceptos introductorios relacionados con el proyecto "Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF\*" en Neonatología".

Inicialmente se introducen conceptos anatómicos y fisiológicos del sistema respiratorio humano. Estos conceptos son necesarios dado que están íntimamente relacionados con el sistema a desarrollar y son clave para comprender la problemática del dominio de aplicación, la definición del problema y la solución propuesta.

Luego, se presentan conceptos de presiones y mecánica del sistema respiratorio. Finalmente se presentan conceptos, principios e historia de ventilación de alta frecuencia oscilatoria en neonatología.

***Anatomía y Fisiología del Sistema Respiratorio***

La respiración es un proceso fisiológico que se realiza mediante procesos vinculados con el intercambio de gases entre el individuo y el medio ambiente. Se efectúa a dos niveles [a:34]:

➤ *A nivel celular:* el Oxígeno es transportado a través de la sangre hasta las células, donde es captado por las mitocondrias, las que, a través de procesos de oxidorreducción por la cadena respiratoria, obtienen las altas cantidades de energía almacenada en el ATP. Un producto final, el CO<sub>2</sub>, potencialmente tóxico, es eliminado a la circulación. El transporte del Oxígeno se realiza a través de la Hemoglobina, un pigmento respiratorio presente en la sangre constituido por la proteína globulina con un grupo hemo y un ion de Hierro. La propiedad más importante de los pigmentos respiratorios es la afinidad que poseen por el Oxígeno. La Hemoglobina forma una combinación química reversible con el Oxígeno cuando está en contacto con un medio rico en este gas. Este contacto tiene lugar en los capilares de los órganos respiratorios. Cuando la sangre oxigenada (rica en Oxihemoglobina) llega a los tejidos, el balance de Oxígeno se invierte y la Hemoglobina libera Oxígeno hacia las células. Al volverse más básica, provoca la liberación de iones sodio que se combinan con el Dióxido de Carbono procedente de los tejidos para formar bicarbonato de sodio.

➤ *A nivel del sistema respiratorio,* se produce el ingreso de O<sub>2</sub> y la eliminación de CO<sub>2</sub>. Esta última regula el balance HCO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Bicarbonato / Ácido Carbónico) manteniendo el pH sanguíneo. Esta respiración se denomina externa debido a que el

---

\* OAF: Oscilatoria de alta frecuencia.

intercambio de gases es entre la sangre y el exterior. Este proyecto final se basa en este tipo de respiración.

En los seres humanos y en otros vertebrados la respiración externa se realiza a través de los pulmones, que se localizan en el interior del tórax. Las costillas forman la caja torácica, que está delimitada en su base por el diafragma. Los pulmones de los humanos son rojizos y de forma piramidal, en consonancia con la forma de la cavidad del tórax. No son simétricos por completo, en el pulmón derecho se distinguen tres lóbulos y en el izquierdo dos, el cual presenta una cavidad donde se alberga el corazón. En el medio de cada uno de ellos está la raíz del pulmón, que une el pulmón al mediastino o porción central del pecho. La raíz está constituida por las dos membranas de la pleura, los bronquios, las venas y las arterias pulmonares.

Las dos ramificaciones de la tráquea, los bronquios, se subdividen dentro de los lóbulos en ramificaciones más pequeñas, y éstas a su vez en conductos aéreos aún más pequeños, hasta terminar en los lobulillos, que son las unidades anatómicas y funcionales de los pulmones. Las arterias y las venas pulmonares acompañan a los bronquios en su ramificación progresiva hasta convertirse en finas arteriolas y vénulas de los lobulillos, y éstas a su vez en una red de capilares que forman las paredes de los alvéolos pulmonares. Los nervios del plexo pulmonar y los vasos linfáticos se distribuyen también de la misma manera. En el lobulillo, los bronquiolos se dividen hasta formar los bronquiolos terminales, que se abren al atrio o conducto alveolar. Cada atrio se divide a su vez en sacos alveolares, y éstos en alvéolos. Cuando los alvéolos se llenan con el aire inhalado, el Oxígeno se difunde hacia la sangre de los capilares, que es bombeada por el corazón hasta los tejidos del cuerpo. El Dióxido de Carbono se difunde desde la sangre a los pulmones, desde donde es exhalado.

### ***Presiones***

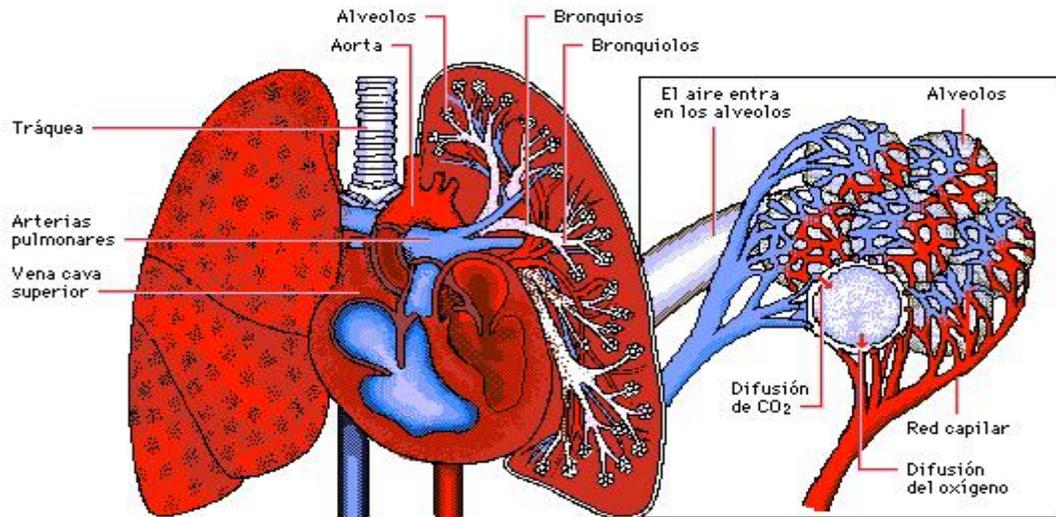
Las presiones que se toman en cuenta en la mecánica pulmonar son tan pequeñas que se miden en centímetros de agua, en lugar de mmHg., y generalmente se toman relativas a la presión atmosférica. Una presión importante es la *presión intrapleural* ( $P_{pl}$ ), es decir la presión en el espacio ocupado por líquido entre el pulmón y la pared torácica. El retroceso elástico de los pulmones hacia adentro es contrarrestado por el retroceso elástico de la pared torácica hacia fuera y se origina una presión intrapleural de unos  $-5$  cmH<sub>2</sub>O en condiciones de equilibrio. La presión intrapleural suele determinarse al medir la *presión esofágica* porque el esófago pasa por el espacio pleural.

También se tienen en cuenta las presiones transmurales ( $P_{tm}$ ) que se definen como  $P_{tm} = P_{int} - P_{ext}$ . Las tres presiones transmurales que se deben considerar son:

*Presión transpulmonar* ( $P_{tp}$ ): es la diferencia de presión a través del pulmón y se obtiene sustrayendo la presión intrapleural ( $P_{pl}$ ) de la presión alveolar ( $P_A$ )

$$P_{tp} = P_A - P_{pl}$$

Mediante la medición en condiciones estáticas (flujo cero) la presión transpulmonar ofrece una noción cuantitativa de las propiedades de retroceso elástico del pulmón [Selkurt], que es empleada para estimar la fuerza elástica que tiende a colapsar el pulmón.



**Figura 1.1**

*Presión transmural torácica ( $P_w$ ):* ofrece una medida cuantitativa de las propiedades de retroceso elástico de la pared torácica en condiciones estáticas, y se define como la diferencia entre la presión intrapleural ( $P_{pl}$ ) y la presión atmosférica ( $P_B$ )

$$P_w = P_{pl} - P_B$$

*Presión transvía aérea ( $P_{TA}$ ):* es importante para mantener abiertas las vías aéreas durante la espiración, y se define como

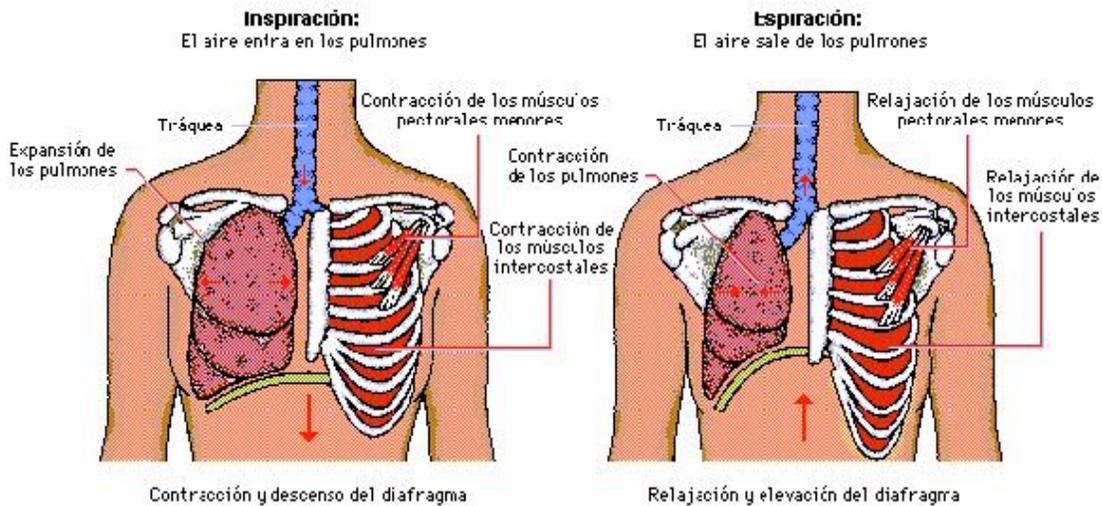
$$P_{TA} = P_B - P_{pl}$$

### **Mecánica Pulmonar**

Para mantener el intercambio gaseoso entre el medio exterior y los alvéolos es necesaria una inflación y deflación rítmica de los pulmones [Selkurt]. Ésta se logra a través del trabajo de los músculos respiratorios que deben estirar los componentes elásticos de los pulmones y el tórax, además de vencer la resistencia al flujo aéreo.

Los músculos que intervienen en la respiración (ver figura 1.2) pueden separarse en tres grupos: el diafragma, los intercostales externos y los músculos accesorios. El diafragma al contraerse desplaza hacia abajo el contenido abdominal, ampliando la cavidad torácica. En el interior del tórax, los pulmones se mantienen próximos a las paredes de la caja torácica sin colapsarse, debido a la presión que existe en su interior. Los intercostales externos al contraerse elevan el extremo anterior de la caja torácica,

haciendo que esta se desplace hacia arriba y afuera. Los músculos accesorios solo entran en actividad cuando la respiración es muy intensa, como por ejemplo durante el ejercicio. Estos músculos comprenden los esternocleidomastoideos, los escalenos en el cuello y el trapecio, y su función es elevar la parte superior de la parrilla costal.



*Figura 1.2. Inspiración y espiración.*

En la respiración normal la acción de los músculos respiratorios ocasiona que se expanda la caja torácica, tornando más negativa a la presión intrapleurar, acrecentando la presión transpulmonar y originando que los pulmones se expandan. A medida que se produce esta expansión, la presión alveolar se torna subatmosférica en relación a la presión en la abertura de las vías aéreas. Este gradiente de presiones permite la entrada de aire a los pulmones a través de la tráquea para llenar el vacío resultante. El flujo aéreo continúa hasta que la presión alveolar vuelve a igualarse con la atmosférica anulando el gradiente negativo entre boca y alvéolos. Al final de la inspiración la presión intrapleurar es más negativa y como la presión alveolar volvió al nivel de la atmosférica, la presión transpulmonar se encuentra aumentada. Es importante destacar que los pulmones se inflan por un aumento de la presión transpulmonar.

Durante la espiración los músculos se relajan, adoptando su posición normal, la fuerza de retroceso elástico de los pulmones hace que el volumen pulmonar disminuya, y por consiguiente, la presión alveolar excede a la presión en la abertura de la vía aérea. El resultado de este gradiente de presión positiva entre alvéolos y boca permite que el aire sea expelido.

Debido al retroceso elástico del pulmón y la pared torácica, la espiración se realiza en forma pasiva

Se inhalan y se exhalan unos 500 ml. de aire en cada respiración, a esta cantidad se la denomina volumen corriente o de ventilación pulmonar. Aún se pueden inhalar 3.300 ml. más de aire adicional con una inspiración forzada, cantidad que se denomina volumen de reserva inspiratoria. Una vez expulsado este mismo volumen, aún se

pueden exhalar 1.000 ml. con una espiración forzada, cantidad llamada volumen de reserva espiratoria. La suma de estas tres cantidades se llama capacidad vital. Además, en los pulmones siempre quedan atrapados en los alvéolos 1.200 ml. de aire, que se denomina volumen de aire residual o alveolar.

Los principales centros nerviosos que controlan el ritmo y la intensidad de la respiración están en el bulbo raquídeo y en la protuberancia anular del tronco encefálico. Las células de este núcleo son sensibles a la acidez de la sangre que depende de la concentración de Dióxido de Carbono en el plasma sanguíneo. Cuando la acidez de la sangre es alta, se debe, en general, a un exceso de este gas en disolución; en este caso, el centro respiratorio estimula a los músculos respiratorios para que aumenten su actividad. Cuando la concentración de Dióxido de Carbono es baja, la respiración se ralentiza

### ***Introducción a la Asistencia Respiratoria Mecánica***

La asistencia ventilatoria mecánica puede ser definida como el movimiento de gas hacia y desde los pulmones por una fuente externa conectada directamente al paciente. La fuente externa puede ser una bolsa de resucitación, un dispositivo de presión positiva continua o un respirador mecánico controlado por microprocesador. Cuando se dice que el dispositivo se encuentra conectado al paciente, nos referimos a un mascaral facial, un tubo endotraqueal, traqueotomía.

En el neonato, la ventilación mecánica es usualmente temporal y tiene por objetivo proveer una ventilación adecuada, remover el dióxido de carbono, y proveer una adecuada oxigenación.

Una efectiva programación del respirador requiere que el médico entienda la fisiología del pulmón, la fisiopatología del paciente, y el funcionamiento mecánico del respirador que está utilizando para el tratamiento. El médico debe también correlacionar el tipo de terapia con el estado pulmonar de desarrollo, la severidad de la enfermedad y el efecto de las drogas que utiliza.

### ***Introducción a la Ventilación de alta frecuencia Oscilatoria***

El uso de la ventilación mecánica convencional (VMC) ha sido utilizado con éxito durante años, en el soporte de la ventilación en pacientes con falla respiratoria. El uso de presiones o volúmenes durante la ventilación mecánica convencional produce daños colaterales severos en el pulmón, (fractura de capilares, daños en el epitelio y la membrana basal) que finalmente provocan al incremento de la permeabilidad vascular e inflamación secundaria por mediadores enzimáticos.

Por otro lado, está demostrado que la exposición del pulmón a fracciones de oxígeno altas ( $FiO_2$ ) provoca la formación de radicales libres que finalmente producen fibrosis pulmonar.

Todos estos eventos pueden empeorar la condición del paciente, produciendo hipoxemia e hipercapnia. Está demostrado que la respuesta más probable que se da ante

esta situación es el incremento de la FiO<sub>2</sub>, de la frecuencia respiratoria del respirador, del nivel de presión y/o del volumen. Esto finalmente provoca un efecto negativo, aumentando la toxicidad del oxígeno, o generando un pneumotorax.

La ventilación de alta frecuencia presenta grandes diferencias respecto a la VMC (ventilación mecánica convencional); en particular se utilizan frecuencias respiratorias superiores a 120 respiraciones por minuto (RPM), y volúmenes por respiración, es decir, volúmenes corrientes, inferiores al espacio muerto anatómico. De esta manera, no solo proveer soporte durante la ventilación en pacientes con falla respiratoria, sino también disminuir el daño inducido por el respirador.

El principal problema reside en las diferencias conceptuales que se presentan en la estrategia de ventilación. Además, los equipos médicos que permiten ventilación de alta frecuencia oscilatoria son completamente diferentes a los equipos que permiten ventilación de alta frecuencia oscilatoria (VAFO)

Durante los últimos años ha aumentado el interés por la recuperación pulmonar y por las estrategias ventilatorias protectoras. La ventilación de alta frecuencia se presenta como un método ideal para lograr la recuperación completa del pulmón atelectásico y, al mismo tiempo, minimizar el volutrauma con volúmenes de flujo iguales o inferiores al volumen del espacio muerto.

### ***Principios de la VAF***

La ventilación de alta frecuencia (VAF) puede definirse como ritmos respiratorios superiores en más de cuatro veces al normal, y frecuencias en las que los mecanismos de transporte de gases cambian de un flujo masivo a principios físicos modificados. En adultos esto supondría un ritmo respiratorio de 180 ventilaciones por minuto (3 Hz), o superior. Varios investigadores que utilizaban distintas técnicas y aplicaban la VAF con diferentes objetivos han desarrollado la VAF. Como resultado, hay varias tecnologías y aplicaciones de la VAF. Han surgido dos modos básicos de VAF: la Ventilación Jet de Alta Frecuencia (High Frequency Jet Ventilation –VJAF–), y la Ventilación Oscilatoria de Alta Frecuencia (High Frequency Oscillatory Ventilation –VAFO–).

La VJAF utiliza una fuente de gas a alta presión susceptible de ser regulada para producir jets cortos y rápidos a través de una cánula de pequeño calibre introducida en la vía aérea por encima de la carina. Se puede introducir aire en el flujo del jet desde una segunda fuente de gas. La VJAF suele tener una gama de frecuencia de alrededor de 100 a 420 ciclos por minuto (1,7 a 7 Hz).

La VAFO emplea un dispositivo de oscilación mecánica (concepto de altavoz o pistón) que fuerza la entrada y salida de impulsos de gas muy reducidos en la vía aérea. Esto provoca que el gas de la vía aérea oscile siguiendo un modelo sinusoidal. La VAFO está provista de un flujo de gas limpio llamado “flujo de bias” que está situado entre el oscilador y el paciente. La VAFO tiene una gama de frecuencia de alrededor de 180 a 900 ciclos por minuto (3 a 15 Hz).

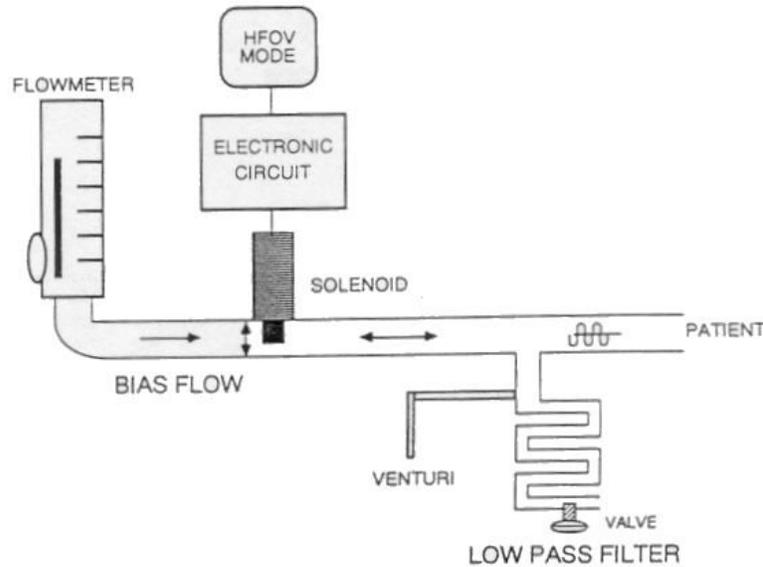
La mayor parte de los trabajos recientes con ventilación de alta frecuencia se han realizado utilizando ventiladores jet de alta frecuencia. Son dispositivos más fáciles de

diseñar y construir, y muchos científicos han llegado a desarrollar su propia versión de VJAF.

### ***Principio de Funcionamiento y Respiradores Disponibles***

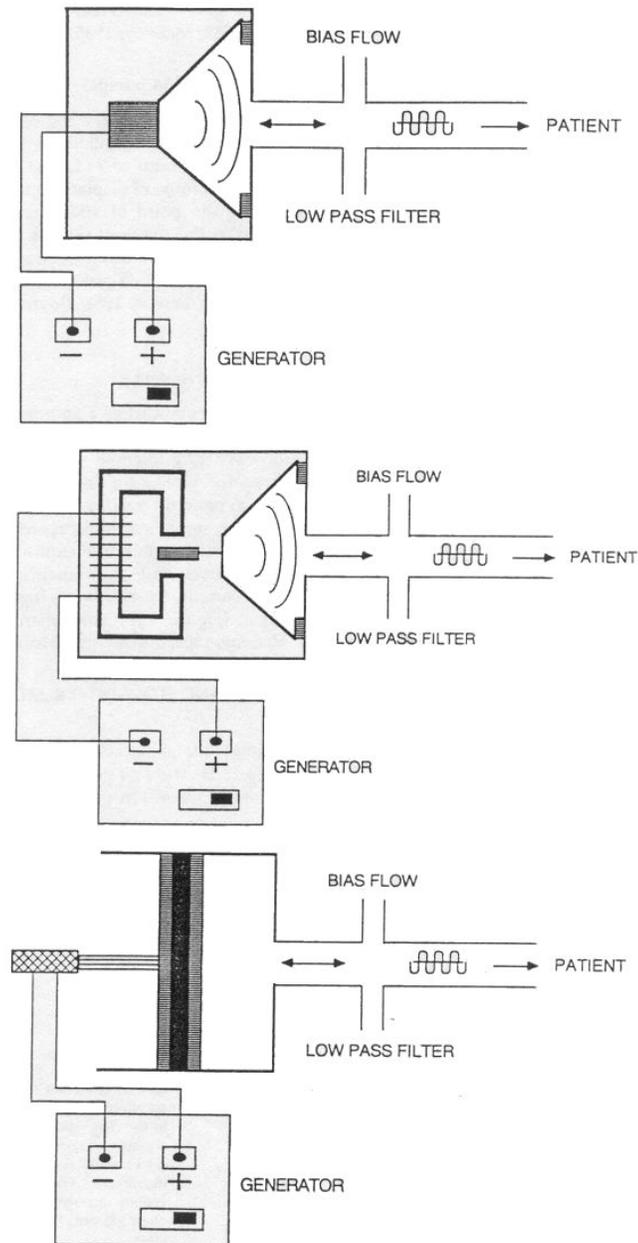
El disparo y el ciclado será necesariamente por tiempo, para adaptarlo a los requerimientos de alta frecuencia. El problema principal de este tipo de estrategia es que los rangos de frecuencias no pueden ser muy grandes, y sólo lo hace posible la existencia de válvulas solenoides de alta velocidad o motores servocontrolados de alta velocidad. A partir de los primeros ensayos realizados con estas estrategias se llegaron a generar dos nomenclaturas diferentes para este tipo de estrategias: HFPPV (High Frequency Positive Pressure Ventilation) y HFFI (High Frequency Flow Interruption). La primera de ellas se basa en un ventilador de presión, en el cual la apertura y cierre a través de válvulas de alta velocidad de la válvula inspiratoria y expiratoria permiten generar ondas de presión positiva en la vía aérea. En la segunda de las alternativas, un ventilador convencional de flujo entrega un cierto flujo continuo que es interrumpido por el cierre de válvulas solenoides para finalizar la inspiración y dar tiempo a la espiración. Si lo analizamos, veremos que la estrategia es la misma sin importar qué tipo de ventilador originalmente se haya usado: durante un ciclo inspiratorio, se permite el flujo de aire al paciente, durante el ciclo expiratorio, éste es interrumpido por el cierre de válvulas. El ciclado se realiza por tiempo. Por lo tanto, vamos a englobar a toda esta gama de ventiladores convencionales bajo el nombre de Interruptores de flujo (HFFI), que describe la manera de funcionamiento. De lo comentado se puede resaltar un punto: en este tipo de ventiladores, la inspiración es un fenómeno activo, ya que el aparato está proporcionando la fuerza motriz para el flujo de aire, mientras que la espiración es absolutamente pasiva, ya que el aparato se limita a cerrar la válvula inspiratoria, abrir la expiratoria y dejar que la retracción natural de los pulmones y la caja torácica realice la espiración.

Existe otra forma de aplicación de este tipo de ventilación desarrollada por el doctor Forrest M. Bird en 1980, llamada Ventilación Intrapulmonar Percusiva (IPV, Intrapulmonary Percussive Ventilation), que en su forma más moderna se denomina Ventilación Volumétrica Difusiva (VDR, Volumetric Diffusive Ventilation). Este tipo de ventilador, si bien funciona mediante válvulas neumáticas para la entrega del flujo, en lugar de válvulas solenoides, no puede encuadrarse ni en la ventilación de alta frecuencia oscilatoria ni en la de Jet, por lo que lo agregamos dentro de esta categoría para la clasificación. Podemos ver en la siguiente figura un esquema de lo que sería el sistema de funcionamiento de un interruptor de flujo. Se distingue el componente principal que es la válvula solenoide.



**Figura 1.3**

La segunda estrategia que se plantea es la utilización de algún tipo de dispositivo que efectivamente genere oscilaciones de presión sobre la vía aérea, siendo estas oscilaciones por encima y por debajo con respecto a un valor medio definido, lo que produce la entrada y salida del aire a altas frecuencias. En un sistema de este tipo se puede pensar en diversas maneras de lograr una variación de presión, todas ellas basadas en el movimiento de una superficie hacia delante y atrás, a frecuencias adecuadas, generando éstas una onda de presión en el aire adyacente que se superpone a la presión media fijada por otro medio en el circuito. Para esta generación de oscilaciones hay varios tipos de dispositivos que se pueden utilizar: altoparlantes (electrostáticos o electromagnéticos), motores lineales, motores rotativos, etc. algunos de las cuales se muestran a continuación. En ventiladores comerciales se usan actualmente los métodos de diafragmas electromagnéticos y de motores lineales. La siguiente figura, figura 1.4, ilustra algunos de estos principios usados en la generación de oscilaciones de presión.

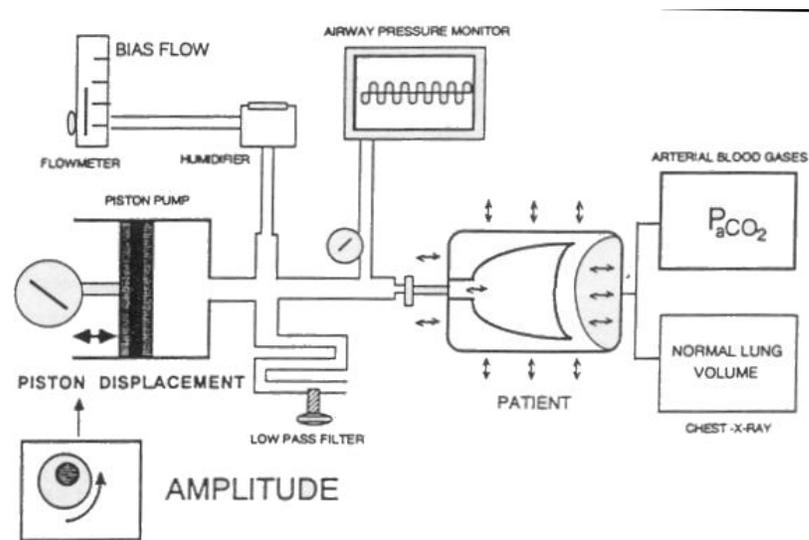


**Figura 1.4**

El sistema consta además de otra parte importante, que genera y mantiene una presión media sobre la cual se dan las oscilaciones, y mantiene un flujo constante o bias que es el responsable de la renovación del aire y lavado del CO<sub>2</sub>. Esto se logra acoplando al circuito del paciente una entrada de flujo, y en la válvula exhalatoria un circuito especialmente diseñado para servir como filtro pasabajos, es decir, cuya función es dejar que pase el aire que fluye con frecuencia cero pero no las oscilaciones de alta frecuencia que deben llegar al paciente. Esto se lograba inicialmente mediante

circuitos de paciente con formas retorcidas y tubuladuras rugosas; actualmente se hace mediante una serie de capas de material poroso en forma de fuelle, interpuestas en el flujo de aire. La válvula exhalatoria esta controlada por el ventilador de manera que de acuerdo al flujo de entrada y a su grado de abertura, genere la presión media fijada a la que se superpondrá la oscilación.

Una diferencia fundamental que se puede observar con respecto al sistema anteriormente analizado es el hecho de que en este sistema la fase exhalatoria es activa, dado que en su excursión hacia atrás el pistón o diafragma usado para generar las oscilaciones forzarán activamente la salida del aire de los pulmones. Esta forma de aplicar la ventilación de alta frecuencia se denomina ventilación de alta frecuencia oscilatoria (HFOV, High Frequency Oscillatory Ventilation). Un esquema completo de su mecanismo se presenta a continuación en la figura 1.5:

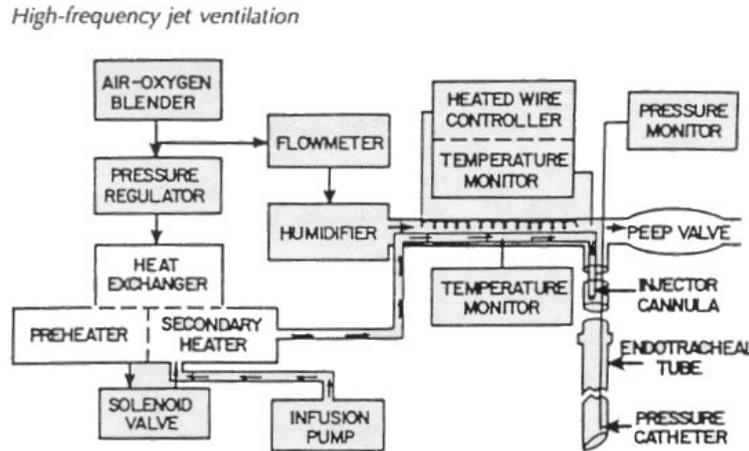


**Figura 1.5**

Una tercer alternativa que surge de los desarrollos se trata de incluir, en paralelo con un sistema que provea gases a una presión constante (un sistema con PEEP/CPAP, Presión positiva al final de la exhalación / presión continua en la vía aérea del paciente), otro sistema que permita inyectar un jet de gases con un alto flujo y que será inyectado en pulsos de alta frecuencia. Este sistema se basa en que este jet de gases, al ser inyectado a alta velocidad, generará un efecto *venturi* que “arrastrará” el aire de los alrededores a la cánula de inyección, generando la entrada de un flujo de aire mayor al inyectado, y que seguirá la frecuencia del jet.

Inicialmente este tipo de ventiladores requería una tubuladura aparte que se disponía en paralelo con el circuito paciente de un ventilador convencional, lo que dificultaba su manejo. Actualmente existen tubuladuras de triple lumen que permiten conectar el ventilador común, el ventilador jet y un puerto para medición de presión, que generalmente se toma varios centímetros más abajo del punto de inyección del jet para darle tiempo a éste a pasar a condiciones estacionarias y estabilizar su presión.

Estos ventiladores regulan la inyección del jet de gases mediante válvulas solenoides o discos perforados giratorios que obstruyen el paso de los gases. En la siguiente figura se presenta el diagrama de bloques de un ventilador de este tipo.



**Figura 1.6**

Hay algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta al analizar estos sistemas de alta frecuencia. En primer lugar, estos sistemas requieren tubuladuras especiales de baja *compliance*, dado que con los bajos volúmenes que trabajan no se pueden dar el lujo de desperdiciar volumen en distensiones de la tubuladura. Esto llevó inicialmente a la utilización de tubuladuras muy rígidas que afectaban seriamente las maniobras médicas normales tales como auscultación, cambio de pañales, posición, succión, etc. Actualmente se han desarrollado tubuladuras mucho más flexibles y aun así de baja *compliance* a las frecuencias de trabajo.

En cuanto a las frecuencias de trabajo, en general los interruptores de flujo permiten un rango más bajo de frecuencias, de 1 a 3 Hz, los osciladores trabajan en un rango de 3 a 40 Hz, y los ventiladores de jet trabajan entre 2 y 15 Hz. Esto es un factor a tener en cuenta a la hora de decidirse por un sistema, ya que muchos de los resultados teóricos que avalan la aplicación de estos sistemas a diversas patologías se basan en fenómenos relacionados con la frecuencia de resonancia de los pulmones, por lo que el poder ajustar este parámetro es de gran interés.

Otro factor a tener en cuenta es el volumen que son capaces de entregar. Si bien depende de las características mecánicas del pulmón, en general éste oscilará entre 1,5 y 4 ml/kg de peso, lo que queda en el rango de valores del espacio muerto pulmonar. Este parámetro también es de interés dado el posible uso no neonatal de estos ventiladores, lo que requiere valores más altos de volumen.

Otra cuestión de gran relevancia es el punto donde se mida la presión. En la ventilación de alta frecuencia se ha verificado una rápida atenuación de los picos de presión a lo largo de la tubuladura y la vía aérea, lo que hace que las presiones medidas proximalmente (en el interior del oscilador o antes de la boca del paciente) no sean

similares a las de la vía aérea (en general medidas a nivel de la carina). En los sistemas Jet, la presión debe ser medida varios centímetros después del punto de inyección del jet, como ya se mencionó.

Los sistemas de HFOV permiten el control directo de los valores de presión media y amplitud de las oscilaciones, o sea que se conocen los valores de  $\overline{Paw}$  (Presión media en la vía aérea) y PIP (presión inspiratoria de pico) aunque medidos en el lado del paciente y no en la carina. En los sistemas interruptores de flujo, se conoce el valor de PEEP/CPAP (presión positiva al final de la exhalación), que fija el ventilador, pero las variaciones se darán por encima de esos valores, dependiendo la presión generada del flujo y del estado mecánico del pulmón, por lo que la  $\overline{Paw}$  (presión media en la vía aérea) y la PIP (presión inspiratoria pico) no se controlan si bien se pueden ajustar mediante cambios en el valor de CPAP (presión continua en la vía aérea) y de frecuencia respiratoria. En los sistemas Jet también se conoce el valor de CPAP (presión continua en la vía aérea), pero los valores de presión media y flujo también dependen del jet. La presión se mide a través de un puerto, en la carina, varios centímetros por debajo del punto de inyección, para evitar que los efectos de turbulencias afecten su valor y poder medirla en estado más estacionario.

Otra cuestión a tener en cuenta es la humidificación. Debido a las altas tasas de flujo de los ventiladores de alta frecuencia, principalmente en cuanto a los ventiladores Jet, en sus primeras épocas de desarrollo resultaba difícil controlar la humidificación adecuada del aire inspirado. Esto generó durante los primeros reportes de uso un índice alto de traqueobronquitis necrotizante, asociadas a la agresión continua de aires secos a altos flujos y con alta concentración de  $O_2$ . Con la mejora de los equipos humidificadores este problema está resuelto y los ventiladores de alta frecuencia no presentan tasas de traqueobronquitis necrotizante mayores que las de cualquier ventilador convencional.

Finalmente, es interesante mencionar que, en general, los interruptores de flujo suelen ser ventiladores estándar que contienen una opción de alta frecuencia, por lo que son más versátiles, aunque su eficacia como ventiladores de alta frecuencia no es muy clara. En contraposición, los osciladores sólo sirven para ventilación de alta frecuencia. Los ventiladores de Jet se usan en paralelo con un ventilador convencional.

En la tabla se comparan algunos de los parámetros típicos para los tres tipos de ventilador.



*Figura 1.7*

<b>Tipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Vt</b>	<b>Espiración</b>
HFFI	1 – 2.5 Hz	3 – 4 ml/kg	Pasiva
HFOV	3 – 15 Hz	1 – 3 ml/kg	Activa
HFJV	4 – 11 Hz	3 – 4.5 ml/kg	Pasiva

***Algunos Ventiladores de alta frecuencia comerciales disponibles en la actualidad***

El más ampliamente difundido y estudiado de estos equipos es el Sensormedics 3100 (figura 1.7) A, y más recientemente el modelo 3100B. Este dispositivo es un ventilador de alta frecuencia oscilatoria manejado a partir de un pistón controlado electrónicamente y un diafragma que genera oscilaciones positivas y negativas con respecto a un valor de presión fijado mediante un flujo continuo. En este tipo de dispositivo, los controles a disposición del operador son el valor de  $P_{aw}$  (Presión media en la vía aérea), que se controla variando la abertura de la válvula exhalatoria para un dado valor del flujo, y el valor de  $\Delta P$  (delta P) que controla el pico de oscilación de la onda sinusoidal sobreimpuesta al valor medio de presión.

El modelo 3100A difiere del 3100B en que los valores límites de flujo y presiones hacen a este último apto para uso tanto en pacientes adultos como en pediátricos y neonatales, mientras que el 3100A es sólo para uso neonatal/pediátrico en pacientes de menos de 35 kilogramos.

Los dos están aprobados por la FDA (Food and Drogas administration), salvo por la limitación del modelo 3100 para el tratamiento de pacientes pediátricos de hasta 35 kg de peso. Cabe destacar que además del ventilador se requiere el uso de un circuito de paciente especial. Si bien durante mucho tiempo sólo existieron modelos de circuito paciente rígidos, que por su baja compliance permitían un adecuado funcionamiento, recientemente ha salido al mercado un modelo flexible que permite una mejor manipulación del paciente durante maniobras de rutina. En la figura 1.8 se ve el circuito paciente flexible del ventilador 3100 A



**Figura 1.8.**

Metran Medical comercializa los ventiladores de la serie Hummingbird II - V, que son osciladores potenciados por pistón lineal para uso neonatal.

Stephan fabrica ventiladores para uso neonatal, y su modelo SHF 3000 es un oscilador basado también en un pistón lineal.

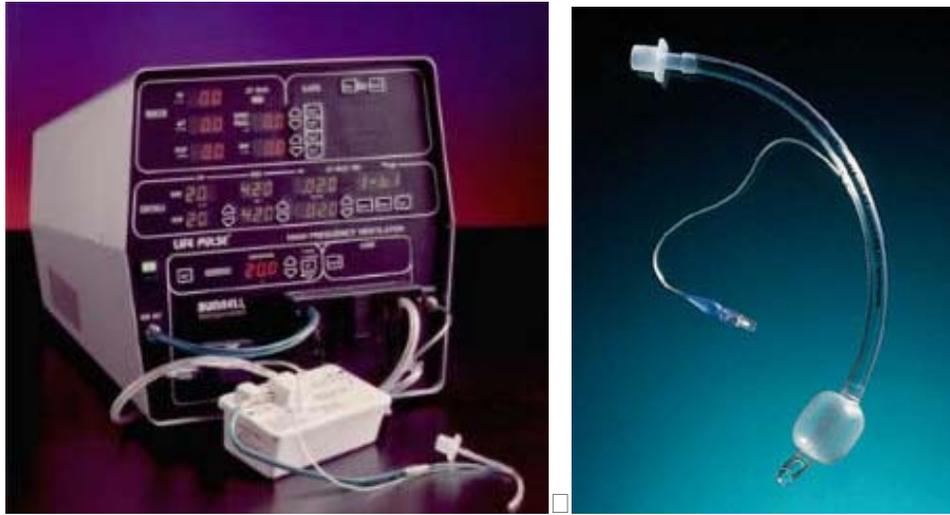
Doufour S.A fabrica el oscilador Dufour OHE1; también se trata de un oscilador potenciado por pistón lineal. La firma SLE fabrica los modelos SLE 2000 HFO y SLE 2000 HFO+ que son osciladores de pistón.

El ventilador más conocido dentro del tipo HFJV, aprobado por la FDA para su utilización, es el Bunnell LifePulse. Este ventilador está aprobado para su uso en neonatos y pediátricos. Es muy sencillo de usar y sólo requiere tres seteos básicos, PIP (presión inspiratoria pico), frecuencia y tiempo inspiratorio. Los valores de PEEP y suspiros se proveen a partir de un ventilador común intercalado.

Este modelo trae completamente integrado un humidificador que resuelve los problemas ya mencionados. Además se utiliza una caja de paciente, ubicada en las cercanías de éste intercalada en el circuito, que es el centro de control de la ventilación. Contiene un transductor de presión y una válvula que controla el flujo de gases al paciente. Además consta de un bloque de monitoreo y otro de alarmas; todos estos bloques (humidificador, control de HFV, monitoreo y alarmas) están ubicados en lugares específicos del tablero de mandos, lo que vuelve muy sencilla su utilización.

El sistema emplea además un circuito paciente especial, y a través del LifePort (un adaptador de la misma empresa) se ajusta a cualquier tubo endotraqueal estándar de 15 mm. Esto permite un fácil acceso para aspiración de secreciones. Además vienen otros adaptadores y circuitos especiales como el Hi-Lo jet endotracheal tube de la firma Nellcor que pueden ser utilizados con este equipo.

En la figura 1.9, se ven el ventilador con el circuito paciente y el adaptador LifePulse, y el tubo endotraqueal Hi-Lo.



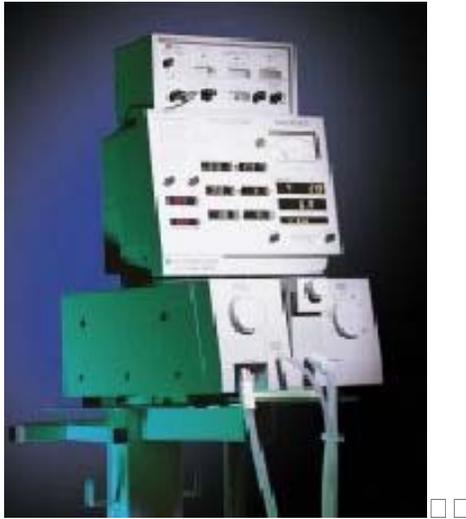
**Figura 1.9**

Para mayor información consultar la pagina web <http://www.bunl.com/>

Acutronic: La empresa Acutronic Medical Systems fabrica el ventilador Jet Universal Monsoon. Incluye un mezclador de aire/oxígeno, un sistema de calentamiento y humidificación de los gases del jet. Está diseñado para su aplicación en la unidad de terapia intensiva, para uso prolongado y para intervenciones como broncoscopia, laringoscopia, cirugía con láser, etc.

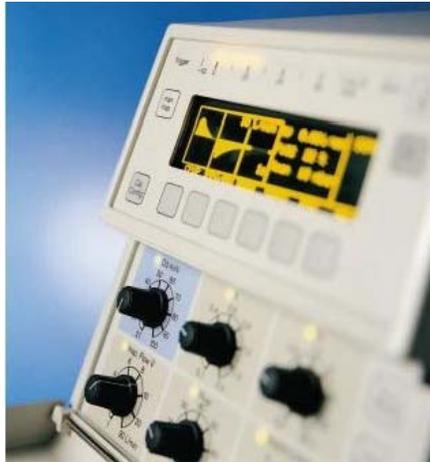
Permite su utilización tanto en neonatos como en adultos.

Puritan-Bennet fabricaba ventiladores para neonatos con capacidades de HFV. Uno de ellos es la línea InfantStar, anteriormente fabricada por Infrasonics. El modelo InfantStar 950 (ver figura 1.10) es un ventilador de flujo continuo ciclado por tiempo o por paciente y limitado por presión que permite un amplio rango de modos ventilatorios. A pesar de que en los folletos se lo presenta como un ventilador de alta frecuencia oscilatoria, no es un oscilador real ya que usa el principio de interrupción de flujo por válvulas solenoides para generar las oscilaciones. Tiene la opción de entregar ventilación de alta frecuencia, con o sin IMV. Permite frecuencias de 2 a 22 Hz para la alta frecuencia y de 1 a 150 bpm para IMV y razones I:E desde 1:0.1 a 1:99.9. Presenta como característica particular una válvula especial de liberación de presión que previene la generación de auto PEEP. Además incluye un completo módulo de alarmas que incluyen pérdidas en el circuito, obstrucciones, tiempo espiratorio insuficiente, etc. Requiere un circuito paciente especial.



**Figura 1.10**

Dräger tiene un modelo de ventilador para neonatos que incluye como un modo ventilatorio opcional la ventilación de alta frecuencia, el Babylog8000 plus. Este ventilador está diseñado para recién nacidos, y niños de peso hasta 20 kg. Se puede seleccionar el modo HFV (VAF, ventilación de alta frecuencia) en conjunto con CPAP (presión positiva continua en la vía aérea) o IMV (ventilación Mandatoria Intermittente), este último utilizado con una estrategia para intentar reclutar alvéolos cada cierto tiempo. Cuando se usa este último modo, la HFV (ventilación de alta frecuencia) se interrumpe un tiempo antes de enviar el flujo mandatorio, y un tiempo luego de éste se reinicia. Permite un rango de frecuencias de 5 a 20 Hz y amplios controles y monitoreos. Es completamente digital con una interface intuitiva y realiza gráficas de los parámetros ventilatorios, lo cual es una opción muy importante a la hora de realizar seguimientos de la evolución (especialmente importante cuando se usa HFV debido a la necesidad de “sintonizar” ésta con los cambios de mecánica pulmonar). Este dispositivo genera su oscilación cambiando rápidamente el estado de la válvula expiratoria. Además, incluye un sistema de *venturi* que ayuda en la espiración, por lo que ésta no es completamente pasiva.



**Figura 1.11**

En la figura 1.11 se ven el ventilador Babylog 8000plus y las formas de onda de presión y de flujo que se generan al usar el modo HFV (ventilación de alta frecuencia) con IMV (ventilación Mandatoria Intermittente); se aprecia claramente que antes de la ventilación mandatoria se suspende la oscilación, y luego de ésta se retoma.

Percussionaire produce ventiladores diseñados por el doctor Forrest M. Bird, basados en sistemas neumáticos. El Dr. Bird realizó estudios donde descubrió que las altas presiones de pico que se necesitaban en la ventilación oscilatoria se debían incluir para lograr la inversión del flujo, y por lo tanto había un retardo desde la aplicación hasta lograr efectivamente un flujo inverso, que generaba mayores presiones. Para evitar esto utilizó válvulas neumáticas diferenciales logrando reducir enormemente esos tiempos y, por lo tanto, las presiones pico implicadas. A partir de estos estudios generó lo que llamó Oscillatron, un oscilador neumático que en paralelo con un ventilador estándar en modo IMV servía para generar una especie de HFOV (ventilación de alta frecuencia oscilatoria).

Las formas de onda de presión eran similares a las obtenidas para el babylog, con la diferencia que la HFOV (ventilación de alta frecuencia oscilatoria) no se interrumpía durante las respiraciones mandatorias. Luego desarrolló la IPV (Intrapulmonary Percussive Ventilation).

En esta forma de ventilación suprimió el ventilador estándar en paralelo; en su lugar, en la programación del oscilador se fijan dos valores de CPAP (Presión positiva en la vía aérea), uno base y otro de equilibrio. El ventilador genera oscilaciones pero controla los tiempos de manera de no permitir una espiración completa, produciendo un “apilado” de presión en forma similar al auto PEEP (presión positiva al final de la exhalación) hasta llegar al valor alto de CPAP (presión positiva en la vía aérea). En ese momento se mantenía la oscilación durante un tiempo, para luego liberar esa presión extra hasta alcanzar el nivel anterior de CPAP. Finalmente se generó la última forma de ventilación, implementada en su modelo VDR-4 (VDR, Volumetric Diffusive Ventilation). Este sistema combina ambos, la ventilación volumétrica (como en los ventiladores estándar) con la ventilación difusiva que se da en los ventiladores de alta

## Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología

frecuencia. Para esto usa una combinación de las dos estrategias anteriores: se fijan dos valores de CPAP (presión positiva en la vía aérea) y también una frecuencia de ventilaciones mandatorias con forma de onda de flujo acelerado. A partir del valor base de CPAP (presión positiva en la vía aérea) se aplican las oscilaciones en la forma comentada para IPV, hasta alcanzar el segundo valor de CPAP (presión positiva en la vía aérea). Luego de un tiempo, en vez de liberar esa presión, se aplica una onda de flujo acelerado. Durante todo el tiempo se continúa con las oscilaciones.

Las oscilaciones generadas son de menor amplitud que en los otros modos de ventilación de alta frecuencia, y según sus fabricantes la principal ventaja es la capacidad de este sistema de ventilar adecuadamente el pulmón con valores de presión que mantienen los alvéolos justo por encima del valor de presión de apertura, por lo tanto minimizando el riesgo de barotrauma. También incluye un sistema de *venturi* para asistir durante la espiración. Requiere un circuito paciente especial de la misma firma, el Phasitron, que tiene muy baja *compliance*.

La figura 1.12 muestra el ventilador VDR-4 y su forma de onda de presión asociada.

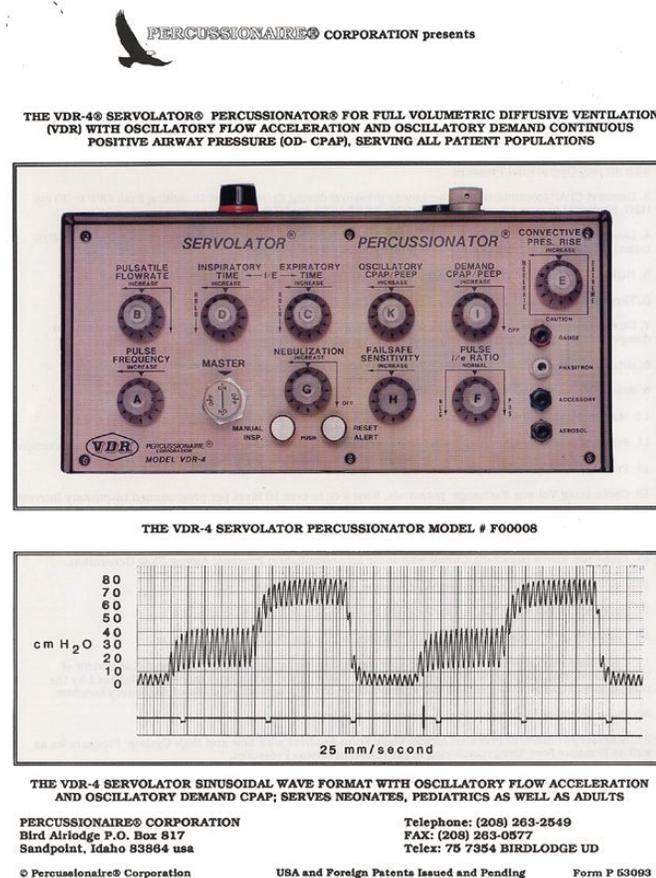


Figura 1.12

### **Historia de la VAFO**

En 1977 Klain y Smith desarrollaron una técnica de ventilación en la que se utilizaba un catéter percutáneo trans-traqueal combinado con una inyección de aire a chorro en la traquea. El chorro lo proporcionaba un ventilador flúidico con control lógico que operaba a frecuencias que alcanzaban las 600 ventilaciones por minuto. Esta técnica empleó posteriormente una cánula inyectora que permitía la entrada de aire. A esta técnica la llamaron ventilación de alta frecuencia a chorro (VJAF). La VJAF ofrecía ciertas características prometedoras, como una posible reducción del riesgo de barotrauma (en comparación con la ventilación convencional) y un método para mantener la ventilación en presencia de una gran fuga de aire (e.g., fístula broncopleural).

El uso de la VJAF se destinó originalmente a procedimientos quirúrgicos, y esa práctica continúa hoy en día. Aunque se dieron muchos casos anecdóticos de utilización con éxito de la VJAF en el tratamiento de adultos con fallo respiratorio, el único estudio aleatorio controlado<sup>1</sup> distaba mucho de ser alentador. Este estudio, realizado sobre más de 300 pacientes adultos con distintas enfermedades pulmonares, se llevó a cabo en el Sloan-Kettering Cancer Center por Carlon y sus asociados, este estudio sufrió el mismo destino que la experiencia con neonatos durante el ensayo clínico HIFI de NIH con ventilación oscilatoria de alta frecuencia.<sup>4</sup>

En 1993 Gluck y colaboradores informaron sobre los resultados de un estudio multicéntrico empleando VJAF con una frecuencia de aproximadamente 300 ventilaciones por minuto para el tratamiento de 90 adultos con SDRA, usando una MAP superior<sup>2</sup>. Demostraron un incremento en la supervivencia global al compararla con los controles históricos. Además, como ha ocurrido con todas las experiencias con VJAF, informaron sobre problemas significativos debidos a la oclusión de gas y al resecamiento de las vías aéreas, resultando en daños traqueales. Esto ha sido confirmado por la experiencia con neonatos de la VJAF y por los respiradores para adultos comercializados en la década de 1990.

Fue necesario esperar hasta la década de 1990 para que se desarrollase un ventilador oscilatorio de alta frecuencia diferente tanto en su estrategia como en el

---

<sup>1</sup> Carlon GC, Howland WS, Ray C, Miodownik S, Griffin Jp, Groeger JS. High frequency ventilation. A prospective randomized evaluation. *Chest* 1983; 84: 551-559.

<sup>2</sup> Gluck E, Heard S, Patel C, Mohr J, Calkins J. Use of ultrahigh frequency ventilation in patients with ARDS –a preliminary report. 1993; 103: 1413-1420.

<sup>3</sup> Ophoven JP, Mammel MC, Gordon MJ, Boros SJ. Tracheobronchial histopathology associated with high frequency jet ventilation. *Crit Care Med* 1984; 12: 829-832.

<sup>4</sup> The HIFI Study Group. High frequency oscillatory ventilation compared with conventional ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants. *N. Engl. J Med* 1989; 320: 88-93.

<sup>5</sup> Arnold JH, Hanson JH, Toro-Figueroa LO, Gutierrez MD, Berens RJ, Anglin DL. Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillatory ventilation and conventional ventilation in pediatric respiratory failure. *Crit Care Med* 1994; 22: 1530-1539.

<sup>6</sup> Fort P, Farmer C, Westerman J, Johannigman J, Beninati W, Dolan S, Derdak S. High-frequency oscillatory ventilation for adult respiratory distress syndrome –a pilot study. *Crit Care Med* 1997; 25: 937-947

desarrollo del dispositivo.

De nuevo, la VJAF se aplicó para minimizar la presión de las vías aéreas. Y se trató la hipoxia con un incremento de FiO<sub>2</sub>. La experiencia del ensayo clínico HIFI con neonatos nos mostró que para que la HFOV tuviera éxito debía aplicarse una mayor MAP al pulmón con SDRA. Descubrimos que la presión, por sí sola, no daña al pulmón: las grandes variaciones del volumen, la atelectasia y la inspiración de concentraciones elevadas de O<sub>2</sub> son también responsables de los daños pulmonares inducidos por el respirador. Las estrategias satisfactorias que se emplean ahora con la VAFO incluyen la normalización del volumen pulmonar mediante la presión que resulte apropiada para alcanzar dicho volumen pulmonar, la reducción de las concentraciones inspiradas de O<sub>2</sub> y la reducción de los cambios de volumen.

La VJAF no tiene ningún modo de controlar directamente la inflación pulmonar para influir sobre la oxigenación. El método de incrementar la inflación pulmonar con VJAF se empleó para incrementar la frecuencia hasta que el tiempo espiratorio era lo suficientemente corto como para ocluir gas, manteniendo el pulmón abierto. Además esto relacionó directamente la inflación pulmonar con la ventilación (al incrementar el volumen pulmonar se incrementa la ventilación). Como la VJAF emplea una fuente de gas a alta presión a través de una aguja o una cánula, resulta muy difícil humidificar convenientemente este gas, de modo que el resecaimiento de las vías aéreas y los daños fueron muy frecuentes. Aunque en términos generales la VJAF no ha tenido un éxito global, se ha sabido que ciertos investigadores han tenido éxito en el tratamiento de adultos con SDRA mediante la estrategia de recuperación pulmonar desarrollada con la VAFO.

El desarrollo de los dispositivos de la VAFO incluyó una fase espiratoria activa que reduce la posibilidad de oclusión de gas incluso cuando se emplean frecuencias mayores, y el empleo de humidificadores convencionales que humidifican por completo el gas antes de la aceleración de la VAFO, eliminando el resecaimiento y los daños asociados con la VJAF. El avance tecnológico más significativo con la VAFO es la capacidad de establecer directamente el nivel de inflación pulmonar mediante el ajuste de la MAP, independientemente del nivel de ventilación.

En 1994 apareció en “Critical Care Medicine” la primera prueba aleatoria controlada de la VAFO para el tratamiento de SDRA en niños<sup>5</sup>. Este estudio demostró una significativa reducción estadística de enfermedades pulmonares crónicas en los supervivientes tratados con VAFO frente a aquellos tratados con ventilación convencional. El diseño del estudio no permitió evaluar la mortalidad como punto final. En cualquier caso, la VAFO rescató al 58% de los pacientes en los que no funcionó la CMV, mientras que la CMV tan sólo rescató al 18% de los pacientes en los que no funcionó la VAFO. La mortalidad por ventilación final fue del 22% en la VAFO y del 62% en la CMV.

En 1996 Fort y asociados informaron sobre el empleo con éxito de la VAFO en 17 pacientes con SDRA en los que fallaba la ventilación de ratio inversa<sup>6</sup> La baja mortalidad respiratoria (33%) en este grupo de pacientes fue extremadamente alentadora y ha tenido como resultado el desarrollo de dos pruebas aleatorias controladas en Norte América y Europa.

***El futuro en Pacientes Adultos.***

Hay razones teóricas de peso para que no ignoremos que la VAFO puede ser la mejor aproximación para tratar el SDRA en adultos, aunque la VJAF no haya estado a la altura de las expectativas.

Se han producido avances tecnológicos que han superado los problemas que surgían en el pasado al emplear la VJAF.

Existen pruebas históricas surgidas de ensayos clínicos aleatorios controlados sobre bebés y niños que demuestran que esta técnica puede cambiar los resultados.

Hay informes de casos y datos de ensayos que apoyan su utilización.

Aunque todavía se deben analizar los datos finales de las pruebas aleatorias controladas para verificar su eficacia, ha llegado el momento de la VAFO.

---

**UNIDAD 2**  
**DOMINIO DE APLICACION**

---

***Servicio de Terapia intensiva***

En un Hospital existen diferentes áreas destinadas para diferentes fines. Algunos de ellos son para la administración, otros para el mantenimiento, pero la mayoría de los sectores están destinados para la atención de pacientes.

Es sabido que la terapia intensiva es un área del hospital destinada para aquellos pacientes que se encuentran en un estado muy delicado de salud, e incluso con peligro de muerte. Por tal motivo las características de este servicio, lo diferencian notablemente de otros servicios.

Por ejemplo, la complejidad y la cantidad de equipamiento suelen ser superior al resto de los servicios. Se pueden mencionar del equipamiento especializado los siguientes dispositivos:

- Monitores Multiparametricos: son monitores que se encuentran disponibles en las camas de los pacientes que monitorizan diferentes parámetros del paciente (Electrocardiograma, Presión sanguínea arterial en forma invasiva, Temperatura, Saturación de sangre, onda pletismografica, etc)
- Bombas de Infusión: dispositivos especializados para infundir drogas en forma muy precisa.
- Respiradores: dispositivos especializados para el tratamiento de enfermedades que afecten el sistema respiratorio o la posibilidad que tenga el paciente de respirar en forma espontánea.
- Etc.

Diariamente los médicos intensivistas toman los datos apropiados de los monitores disponibles, analizan estos datos, toman alguna decisión, realizan un tratamiento basado en esa decisión y esperan los cambios que esto producen. El tratamiento mencionado incluye un conjunto de acciones que pueden ser desde la aplicación de una droga en particular, hasta el cambio en la programación del respirador conectado al paciente.

Dependiendo del Hospital, pueden haber tres tipos de servicios de terapia intensiva:

- Terapia intensiva para pacientes adultos
- Terapia Intensiva para pacientes pediátricos
- Terapia intensiva para pacientes neonatales

De estos servicios, es el de pacientes neonatales en el que se está interesado.

***Respiradores para pacientes neonatales***

La principal razón de los tipos de terapia intensiva no solo radica en las diferencias de los pacientes, y en consecuencia de la especialidad medica de los profesionales que los asisten, sino también en el equipamiento destinado para estos pacientes.

Un respirador para un tipo de pacientes no puede ser utilizado en otro tipo de pacientes<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Actualmente los diferentes fabricantes de respiradores tienen disponibles respiradores que podrían ser utilizados con todo tipo de pacientes: neonatos, pediátricos y adultos. Sin embargo es necesario mencionar

Durante los últimos años, los respiradores han evolucionado en dispositivos altamente complejos controlados por un microprocesador, con un amplio rango de opciones de operación y características. Desafortunadamente, la tecnología se ha desarrollado tan rápido, que los modelos conceptuales, el lenguaje y el entendimiento sobre estos dispositivos no se han alcanzado. Libros clásicos escritos en la década del 60 respecto a los respiradores hoy no tiene sentido.

En los países desarrollados, con el fin de lidiar con estos problemas, han creado carreras universitarias destinadas para la preparación de profesionales que asistan al médico o directamente se hagan responsables del manejo del paciente en ese área en particular. A modo de ejemplo, el terapeuta respiratorio maneja todos los dispositivos y drogas relacionados con el sistema respiratorio. Por supuesto esto lo hace bajo un contexto consensuado y un grupo de profesionales coordinado por un médico responsable.

Lamentablemente en Argentina estas carreras universitarias no existen y es el médico el que se encarga totalmente de todas las tareas. Tratando de seguir los pasos de los países desarrollados, algunos profesionales hacen las veces, por ejemplo, de terapeutas respiratorios, y se especializan en un área en particular.

Cada equipo de cuidado crítico de una terapia intensiva desarrolla una guía o protocolo de trabajo, disponible para todos los miembros, que establece un marco de trabajo para el uso del equipamiento de manera efectiva y segura para el paciente. Algunos de los puntos a establecer para lograr dicho protocolo de trabajo, están relacionados con la composición del mismo equipo, responsabilidades de cada miembro del equipo de trabajo, nivel de educación y entrenamiento básico necesario, políticas y procedimientos estándares, manejo diario del paciente, analgesia, sedación, bloqueo neuromuscular e interacciones familia paciente.

El equipo de trabajo es multidisciplinario e incluye médicos, enfermeras, kinesiólogos como mínimo. El equipo es responsable de establecer un plan de cuidados mínimos necesarios para el paciente que se encuentra ventilado. Esto incluye los procedimientos básicos, frecuencia de monitoreo, monitoreo de peso del paciente (importante en Neonatología), cuidado de la piel, posición del paciente y cuidado de la vía aérea del paciente.

El respirador permite tratar pacientes que no pueden cubrir sus necesidades respiratorias por sí mismos. Este tipo de dispositivos no escapa a lo antes mencionado respecto al personal afectado y los protocolos y guías que se establecen. Para desarrollar un adecuado entendimiento de la ventilación de alta frecuencia oscilatoria, todos los miembros del equipo deben participar de algún curso de ventilación, comprender los conceptos avanzados del sistema respiratorio del paciente, comprender fisiología, etc.

---

que la manera en que estos dispositivos entregan los gases, y su programación por parte del operador varía notablemente entre los tipos de paciente. Es decir, estos respiradores modernos pueden comportarse como los tres tipos de respiradores antes mencionados.

### UNIDAD 3

#### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

---

En la unidad anterior se explicó que el equipo de trabajo multidisciplinario trabaja de manera consensuada, estableciendo procedimientos y guías para el manejo del paciente. Sin embargo, todos las guías y procedimientos correspondientes a la programación de los respiradores convencionales no puede ser utilizados en los respiradores de VAFO.

Los respiradores convencionales utilizados en terapias intensivas neonatales, aplican una presión inspiratoria, con el fin de que la diferencia de presión establecida entre la vía aérea (entrada del tubo endotraqueal) y los alvéolos genere un movimiento de gas hacia los pulmones. Este movimiento de gas finalmente será un volumen (llamado volumen corriente o *tidal*) que es el que logra remover el CO<sub>2</sub> generado y administrar O<sub>2</sub>.

La presión inspiratoria se aplica solamente durante unos milisegundos, de 300 a 600 milisegundos. Ese tiempo es mas que suficiente como para que las presiones alveolares se equiparen a las presiones en la vía aérea, de manera tal que incrementar el tiempo no tiene beneficios.

Luego la presión regresa a un valor que en general no es cero, sino un nivel positivo. Este nivel positivo al final de la exhalación (PEEP, *Positive End Expiration Pressure*) permite que los alvéolos no se colapsen.

La presión positiva se aplica repetidas veces por minuto, entre 20 y 60. Estas repeticiones se denominan frecuencia respiratoria, también programada por el operador.

Por supuesto existen otros parámetros a programar en un respirador convencional, tales como sensibilidad, modo respiratorio, Fi<sub>2</sub>, etc.

En respiradores de alta frecuencia oscilatoria, los mecanismos de intercambio gaseoso son completamente diferentes. Aquí se aplica un presión continua en la vía aérea, y sobre esta presión se aplica una onda de presión que oscila a frecuencias en el rango de 3 a 15 Hz, es decir 180 a 900 respiraciones por minuto. Las oscilaciones de presión, con picos positivos y negativos, pueden tener valores de 10 a 80 cmH<sub>2</sub>O.

Se ha identificado cualitativamente que el intercambio gaseoso durante la VAFO, ocurre por al menos cinco mecanismos interactivos:

- √ Ventilación directa alveolar en unidades alveolares próximas al nivel de apertura de la vía aérea.
- √ Mezcla por convección de volúmenes de gas en las vías aéreas de conducción, con recirculación de aire de zonas con constantes de tiempo distintas.
- √ Transporte de gas por convección, con perfil de velocidad inspiratoria y espiradora asimétricas.
- √ Dispersión longitudinal del gas por la interacción de velocidades axiales y transporte radial, debido a turbulencias.

√ Difusión molecular de gas cerca de la membrana alvéolo capilar.

A pesar que el Volumen corriente durante la VAFO es menor al espacio muerto anatómico, es claro que la ventilación por convección en la VAFO es muy importante, y medidas que aumenten el volumen corriente mejoran la eliminación de CO<sub>2</sub>. Otro aspecto de la VAFO es que el reclutamiento alveolar ocurre a P<sub>aw</sub> relativamente constantes, sin la cíclica apertura y cierre de las unidades alveolares y las presiones pico, que ocurren con la ventilación mecánica convencional. La capacidad de mantener el pulmón abierto, sin permitir ciclos atelectásicos, puede ser ventajosa para disminuir el daño pulmonar inducido por el ventilador y optimizando el reclutamiento alveolar. Apoyando este concepto, los modelos animales de daño pulmonar han indicado activación de los macrófagos alveolares y menor producción de citoquinas proinflamatorias, durante el tratamiento con HFO, comparando con la ventilación mecánica convencional.

La explicación de cada uno de estos mecanismos superan los objetivos del presente proyecto. Al mencionarlos se quiere dejar claro que los mecanismos de transporte, y la manera en que el respirador funciona y en consecuencia la programación del mismo es completamente diferente a un respirador convencional.

Un estudio realizado por la Dra. Osio en la Clínica Otamendi, basado en el tratamiento de 100 pacientes que padecían membrana hialina y fueron rescatados con un respirador de VAFO, ha demostrado que la sobrevida es del 92%. Es decir, los pacientes, pasados al respirador de VAFO (Sensormedics 3100 A), han vivido 8 de cada 10 que tenían grandes posibilidades de morir en un respirador convencional. Existen también otros estudios internacionales y de diferentes autores que han demostrado las bondades de este tipo de tratamiento sobre el tratamiento con respiradores convencionales.

En el año 1986, el respirador Sensormedics 3100 A, fue aprobado por la FDA, y en consecuencia se abrió la importación a la Argentina. Por las características mencionadas, los referentes en ventilación mecánica rápidamente adoptaron la metodología, y el equipamiento necesario para tratar a los pacientes.

Las empresas proveedoras capacitaron a su personal y a los médicos usuarios en el exterior. Los primeros años se vendieron 15 respiradores de VAFO debido a las investigaciones publicadas que demostraban un éxito importante en pacientes neonatales.

El problema más importante surgió luego cuando los médicos se encontraban con el problema del manejo diario del respirador.

La empresa proveedora realizó cursos en los servicios y luego 4 cursos de actualización. Hoy en Argentina se encuentran instalados 18 respiradores de VAFO. Sin embargo, solamente el 60 % de ellos se encuentra funcionando en forma activa.

La empresa proveedora asegura que la falta de uso a pesar de las comprobadas ventajas que ofrece su utilización, se debe a la falta de conocimiento de las estrategias para el manejo del respirador de alta frecuencia oscilatoria.

Esto genera la necesidad de realizar un sistema de asistencia para la programación de respiradores de VAFO en el área de neonatología. El sistema asistirá a

los médicos para determinar la estrategia de ventilación, permitiendo que el sistema recomiende el mejor tratamiento, contemplando diversas situaciones y condiciones del paciente, tendiendo a prevenir al máximo las complicaciones y las secuelas, en particular aquellas que generan discapacidades severas o muerte.

Los motivos anteriormente mencionados sugieren que existe la necesidad de una herramienta que:

- Asista al responsable del manejo del respirador en el proceso de configuración o programación del respirador.
- Ponga al servicio del personal médico, responsable de la configuración del respirador, la experiencia adquirida por aquellas personas consideradas verdaderos especialistas en el área.
- Contribuya en el mejoramiento de la práctica de la VAFO y que a la vez incentive su uso.

En los aspectos metodológicos se tratará:

- Definir el problema estableciendo: Objetivos, alcance, participantes, ámbito donde se participara el sistema.
- Realizar y documentar el Estudio de Viabilidad.
- Realizar y documentar el proceso de Adquisición de conocimientos.
- Modelizar la Conceptualización de Conocimiento.
- Modelizar la Formalización de los Conocimientos-
- Construir el Sistema Basado en Conocimiento.
- Evaluar el Sistema logrado.
- Detallar las conclusiones del trabajo

## UNIDAD 4

### ESTUDIO DE VIABILIDAD

---

El primer paso en la construcción del sistema basado en conocimientos, es analizar la viabilidad del proyecto. Es decir, evaluar si es conveniente resolver el problema mediante la ingeniería de conocimiento. Esta etapa es muy importante dado que condiciona el desarrollo posterior del sistema. Dado que se está utilizando metodología IDEAL, se usará el método propuesto por esta metodología. El método considera la evaluación de diversas características que se agrupan en las cuatro dimensiones,

- Plausibilidad
- Justificación
- Adecuación
- Éxito

Cada característica tiene atributos que se deben tener en cuenta al hacer la evaluación de viabilidad. De las entrevistas, y análisis de la situación, se le asignará un valor a cada una de las características.

Seguidamente se realizarán dos sesiones para la adquisición de conocimientos. Estas son importantes para obtener información relacionada con las características del test de viabilidad. La técnica de adquisición de conocimientos utilizada en estas sesiones, es la de entrevista abierta o no estructurada dado que permite al IC entender bien la tarea lo más rápido posible, y esto debe buscarse inicialmente.

Existen dos partes interesadas, la empresa proveedora de equipamiento hospitalario, representante exclusivo para el respirador Sensormedics 3100 A, y el servicio de terapia Intensiva neonatal del Hospital SAMIC Dr. P. Garrahan. El primero de ellos, la empresa, podrían utilizar el sistema a desarrollar en otros centros de salud, futuros usuarios del respirador. Por otro lado el Hospital, en particular el jefe del servicio y los expertos, están interesados en descentralizar las tareas del manejo del respirador, para permitir que los expertos puedan realizar otras tareas que los competen.

Por lo tanto, se realizarán dos entrevistas iniciales, una con un representante de la empresa, y la otra entrevista con un experto del servicio de neonatología del hospital. Esto nos permitirá tener una idea del problema visto desde ángulos diferentes.

Los datos obtenidos de estas entrevistas y los encuentros iniciales con el personal del hospital y de la empresa proveedora del respirador, permitirán asignar valores a las características, por lo tanto, las preguntas deben apuntar a cumplir los siguientes objetivos:

- Obtener respuestas a las preguntas del test de viabilidad.
- Conocer el problema y el entorno en el que se presenta

- Delimitar el alcance del prototipo para resolver el problema

La primer entrevista se le realizará al Ing. Alberto Peralta, reconocido en el ámbito de la salud, y en particular como experto en ventilación mecánica, y Vicepresidente de la empresa proveedora de equipamiento médico, JAEJ S.A., representante exclusivo en Argentina de la Empresa *Sensormedics inc* del grupo *VIASYS*

La segunda entrevista inicial se realizará a la Doctora Diana Fariña, subjefa del servicio de neonatología del Hospital de niños SAMIC Dr. P. Garrahan, experta en ventilación mecánica de alta frecuencia oscilatoria, usuaria del respirador Sensormedics 3100 A.

Seguidamente se muestran las transcripciones de las primeras entrevistas.

**Adquisición de conocimientos.**

**Técnica: Entrevista no estructurada.**

**Experto: Ingeniero Alberto Peralta**

**Lugar: Oficina**

**Día: 11/10/2001**

**Duración: 35 minutos**

**Objetivos:**

- **Obtener respuestas a las preguntas del test de viabilidad.**
  - **Conocer el problema y el entorno en el que se presenta.**
  - **Delimitar el alcance del prototipo para resolver el problema.**
- 

**Podrías explicarme brevemente la situación actual de la VAFO en la Argentina?**

Actualmente hay 18 equipos en todo el país, de los cuales el 40% no se utiliza por falta de confianza. Los médicos, como cualquier grupo de personas, tienen tiempos para adquirir nuevas tecnologías. Ese tiempo varía en función de las características no solo de las personas sino también de la institución, sin embargo podemos estar diciendo que lleva aproximadamente 2 años adquirirla y utilizarla cotidianamente. La VAFO tiene el problema adicional de ser una nueva manera de ventilar. Es decir, si solo fuese un nuevo dispositivo que permite realizar acciones y procedimientos conocidos, estaríamos en las condiciones en las que lleva 2 años tomar una nueva tecnología. No va a ser fácil que se utilice esta clase de respiradores. Recién hoy aparecen muchas investigaciones relacionadas con el tema, y eso es fundamental para que la comunidad médica se sienta respaldado para tomar decisiones respecto a la compra de estos equipos. De todas formas te informo que esta situación es igual o peor en el resto de América. La empresa que representamos quiere que seamos un referente para entrenar gente. Hoy el único curso de capacitación se realiza en Estados Unidos, lo cual lo hace no solo muy caro, sino que no permite que médicos que no hablen inglés puedan acceder al mismo. La posibilidad de tener un dispositivo así, tal como habíamos hablado antes, permitiría que el futuro usuario se sienta respaldado por un sistema que le recomiende que hacer en cada momento.

**Cuales son los intereses de la empresa proveedora del producto?**

Para la empresa es fundamental que el equipo se venda. Para esto, es necesario que el cliente sepa que el producto es necesario. Esto no es muy difícil dada la cantidad de bibliografía disponible, el problema se da cuando compra el producto. Es decir, suponiendo que el médico tiene poder económico como para comprar el equipo, no resulta muy difícil dado que casi no hay competencia, y la que hay no tiene en la Argentina un buen soporte de post venta. Nosotros sí lo tenemos, y este sistema que estas por desarrollar, podría ser parte del soporte que se le brinda al cliente.

Entonces, supongamos que el médico compró el equipo, en ese momento, cuando quiere ventilar y no encuentra respaldo pueden suceder dos cosas. La primera y más probable es que consulte con expertos del tema, y se capacite tanto como pueda. Nuestra empresa tiene profesionales, bioingenieros que esta capacitados en este tema, y que trabajan específicamente como asesores. Constantemente se encuentran realizando cursos en todo el país con los expertos. De esta forma, la gente que utiliza los equipos lentamente toma confianza, y utiliza mejor el equipo. La imagen del equipo y de la empresa es buena.

La segunda opción es que el cliente, por falta de soporte de la institución, o falta de incentivo, etc, no se sienta capacitado para utilizar el equipo. Por tal motivo, el equipo no se usa, salvo casos extremos, momento en el cual surgen las dudas y el equipo no es aprovechado. Si sucede esto, la imagen del equipo y de la empresa quedan manchados por el poco éxito obtenido...

**Como se te ocurre que se usaría este sistema?**

Bien...(risas). En que sentido me lo preguntas?

**Como me recomendas que se puede utilizar el sistema en la terapia intensiva neonatal?**

Aaahh!...Mirá, yo creo que el sistema se podría usar en alguna PC del servicio, incluso no es necesario que se encuentre con el respirador, las decisiones que se toman con este tipo de equipo, si se consultan, no son instantáneas. El médico usuario puede consultar, analizar y proceder. Por supuesto que también puede estar con el respirador, pero lo veo un poco difícil de montar. Los movimientos, la cantidad de cables, la fragilidad ante el golpe, y el volumen que ocupan las PC no hacen fácil su utilización cerca del respirador. Es mi opinión!!!, quizás lo instalas y les encanta!!.

Lo importante es la posibilidad de poder utilizarlo en cualquier servicio, en cualquier momento, brindando un sistema de asesoría, de los propios expertos, en cualquier parte!

**Quienes son los expertos?**

Mira, gente que conozca de ventilación mecánica hay...yo te puedo dar nombres, sin embargo gente que sepa como usar bien estos equipos hay pocos. La gente del Garrahan tiene 3 de estos respiradores, y por ser una institución de derivación de casos complejos,

tienen suficientes casos por año. Por supuesto la gente de Provo, Utha en Estados Unidos, ellos son los diseñadores de este equipo. Ellos en realidad ya utilizan el equipo en intervención temprana, y no como rescate. Dicen que el mismo respirador produce daños sobre el pulmón que el oscilador no produce...pero bueno, eso es otro tema. Yo te puedo dar los nombre y contactos de todas estas personas.

**Suponiendo la existencia de este sistema de consulta que se diseñara, como se te ocurre que podemos probarlo.?**

En el Garrahan los expertos no solo están disponibles, sino también que podemos poner al experto trabajando en forma conjunta con el sistema experto. Además tenemos suficientes historias clínicas como para comprobar que el sistema funciona correctamente. No es un problema.

**Hay bibliografía disponible?**

Si, no solo manuales de usuario del equipo, sino también cientos de *papers* y libros que explican las diferentes estrategias utilizadas. La principal diferencia que presenta este tipo de ventilación es la estrategia utilizada. No te preocupes que tenemos mucha bibliografía que te puedo dar ya mismo.

**Finalmente, podrías decirme como crees que pueda impactar en un hospital la utilización del sistema?**

Rápidamente te puedo decir que los errores de programación del respirador bajarían. Esto no es poco!! Si el usuario se siente respaldado por un sistema desarrollado por experto en el tema, tomará las decisiones con menos miedos, y obviamente con menos errores.

También se me ocurre que van a usar mucho mas el respirador, aumentando su rango de pacientes, y por lo tanto es bastante probable que la cantidad de pacientes que hoy mueren mañana no lo hagan...

Creo que el impacto, siempre y cuando el médico utilice el sistema, puede ser impresionante!. Bajar la mortalidad es un objetivo de cualquier jefe de servicio y director de hospital, y este sistema podría dar un pequeño gran aporte. ...

**Adquisición de conocimientos.**

**Técnica: Entrevista no estructurada.**

**Experto: Dra. Diana Fariña.**

**Lugar: Htal. De Pediatría Dr. P. Garrahan.**

**Día: 14/10/2001**

**Duración: 28 minutos**

**Objetivos:**

- **Obtener respuestas a las preguntas del test de viabilidad.**
- **Conocer el problema y el entorno en el que se presenta.**
- **Delimitar el alcance del prototipo para resolver el problema.**

**Que patologías hay que tratar con Alta frecuencia Oscilatoria?**

Mirá, nosotros tenemos experiencia con pacientes que tienen membrana hialina, la que en adultos se llama ARDS. Sin embargo también tratamos: Hipertensión Pulmonar, Aspiración de Meconio: La presencia de Meconio en las vías aéreas pequeñas facilita el atramiento de aire. Sin embargo hay trabajos que demuestran que la alta frecuencia permite abrir las pequeñas vías aéreas cerradas, mejorando el estado del paciente. Neumotorax y Enfisema Intersticial con pérdidas de aire: La posibilidad de utilizar bajas presiones picos hacen de la HFO una buena alternativa. En Provo, Utha, se utiliza mucho.

**Se tratan de igual manera estas patologías?**

No, cada patología debe tratarse de manera diferente.

En el caso de DAD tenemos un pulmón poco desarrollado con variaciones locales de producción de surfactante y en consecuencia variaciones locales de compliacia pulmonar. Dada la baja distensibilidad, se mantienen presiones medias en la vía aérea altas tratando de producir volúmenes corrientes que permitan una ventilación adecuada.

Si el respirador de alta frecuencia se utiliza como tratamiento de rescate, se pasara desde el respirador convencional cuando se presente un caso clínico cercano a este:

- FIO2 elevada, cercana a 100 % de O2.
- Saturación inferior a 90%
- PCO2 > 50mmHg
- Ph<7.3

Por supuesto esto es verdad siempre y cuando el paciente no tenga alguna enfermedad con constantes de tiempo prolongadas, Inestabilidad hemodinámica, Hipertensión endocraneana sin monitoreo de PIC...

**Hay información de cómo tratar cada patología? Es decir, me gustaría saber si hay casos documentados?**

Si que hay. Las historias clínicas permiten ver no solo la evolución del paciente sino también el seteo del respirador en cada momento, y acá en el servicio tenemos. De todas formas, si estas interesado en ver como tratar cada patología, hay protocolos.

**A que te referís con protocolos?**

Son algoritmos de decisión para tratar diferentes enfermedades. Se deberían seguir pero son muy difíciles de implementar. En general se deben estudiar de antemano. Eso nunca sucede...siempre termino yo ajustando el equipo. Eso en realidad me encanta, pero es como que deberíamos tratar que todos programemos el respirador. Transferir los conocimientos es difícil, cada recomendación, cada caso en particular hace imposible la transferencia, resulta mas cómodo que alguien que sepa directamente lo haga!!

Queda claro que las tareas de monitoreo y cuidado del paciente lo hacen los médicos residentes y enfermeras, los cambios de programación del respirador se hacen inicialmente y luego espaciados en el tiempo. Justamente a ellos, a los residentes se les preguntan datos del paciente para obtener información necesaria para la programación del respirador

**Como Crees que impactaría el sistema a desarrollar en una terapia intensiva?**

Me parece que yo trabajaría menos. Si este sistema permite ir indicando cuales son los pasos a seguir para algunas de las estrategia en las cuales se utiliza este respirador, no me preguntarían tanto a mí!!. Así yo podría estudiar o enseñar otras cosas o simplemente descansar!!!.

Además creo que impactaría en la facturación del lugar. En el Garrahan eso no es muy estudiado, pero yo ahora estoy haciendo un curso de postgrado en administración, y te puede asegurar que si el sistema funciona bien, y puede ser utilizado en lugares donde ya tienen el respirador y no lo usan, no solo va a reducir la mortalidad de chicos que hoy mueren con convencionales, sino que aumentarán los días de pacientes internados y eso impacta directamente sobre la facturación. El problema principal es que las obras sociales no reconocen este tipo de respirador, y por lo tanto la inversión inicial es importante, habría que estudiar bien que sucede si la institución debe comprar el respirador...

---

Las entrevistas serán analizadas con el fin de desarrollar el test de viabilidad que se presenta a continuación.

## **Valoración de las características del Test de Viabilidad**

### ***Plausibilidad:***

**Característica P1:** *Existen expertos, están disponibles y son cooperativos.*

**Análisis:** Si, hay expertos disponibles y se muestran cooperativos en las sesiones realizadas. Ambos expertos demuestran interés en el desarrollo de un SBC para la solución del problema.

**Valor:** Si

**Característica P2:** *El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo.*

**Análisis:** Si. Los expertos mostraban muy buena estructuración y claridad del procedimiento de trabajo

**Valor:** Mucho.

**Característica P3:** *La tarea esta bien estructurada y se entiende.*

**Análisis:** Si. En la primer sesión de trabajo se pudieron determinar las funciones que hay que realizar.

**Valor:** Mucho.

**Característica P4:** *Existen suficientes casos de prueba y sus soluciones asociadas.*

**Análisis:** Si. De la primer Sesión de trabajo se pudo determinar que existe suficiente documentación histórica como para afirmar esta característica.

**Valor:** 10.

**Característica P5:** *La tarea sólo depende de los conocimientos y no del sentido común.*

**Análisis:** Si. La resolución de la tarea implica la necesidad conocimientos y experiencia de algún experto. No puede solucionarse el problema con sentido común. Esto queda claro de la primer sesión de trabajo, en donde el experto menciona en reiteradas ocasiones que la resolución del problema basado en conocimientos y experiencia previa.

**Valor:** 10.

**Justificación:**

**Característica J1:** *Resuelve una tarea útil y necesaria.*

**Análisis:** Si. Las tareas relacionadas con la programación del respirador impactan directamente con la morbi-mortalidad del paciente. Eso solamente determina la utilidad y necesidad del sistema. Sin embargo, asociado a esto se encuentran los costos hospitalarios relacionados con los días de internación.

**Valor:** Mucho

**Característica J2:** *Se espera una alta tasa de la recuperación de la inversión.*

**Análisis:** Si. Dependiendo del punto de vista, la recuperación de la inversión se verá reflejada de la siguiente manera:

**Terapia intensiva:**

- En el tiempo disponible de los expertos en la investigación de mejoras del servicio y docencia en otras áreas de la medicina para el servicio.
- En los costos asociados relacionados con los tiempos del experto
- En los costos asociados al tiempo de internación de los pacientes.
- En los costos asociados a las patologías del respirador (daños pulmonares, infecciones, etc.)

**Empresa proveedora:**

- El sistema experto podrá guiar en la mejor estrategia de ventilación a personas que no son expertas. De esta manera, servicios de terapia intensiva que no tienen este tipo de respiradores, se verán tentados a incorporar esta tecnología, es decir, es probable un aumento en las ventas del producto.
- El sistema experto podrá guiar a los usuarios en la programación del respirador en servicios en donde se encontraba el respirador pero no se utilizaba por falta de expertos. Con este sistema, el respirador se utilizará con mayor frecuencia, en consecuencia aumentará la venta de consumibles.

**Valor:** 10

**Característica J3:** *Hay escasez de experiencia humana*

**Análisis:** Si. Solo algunas pocas personas que se han capacitado en Estados Unidos y que poseen el respirador, son consideradas expertos. Estas personas son consultadas constantemente por otros servicios que poseen los equipos que permiten realizar HFO.

**Valor:** Mucho

**Característica J4:** *Hay necesidad de tomar decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosos y, o poco gratificantes..*

**Análisis:** Si. En general los cambios del estado del paciente se producen de manera tal que el responsable de la programación del respirador está obligado a realizar los cambios rápidamente. Dado que los cambios afectan directamente una vida humana, se puede considerar una situación crítica.

**Valor:** Todo.

**Característica J5:** *Hay necesidad de distribuir los conocimientos.*

**Análisis:** El proceso se encuentra centralizado, por lo que la incorporación de un SBC daría la posibilidad de distribuir los conocimientos.

**Valor:** Todo

**Característica J6:** *Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema*

**Análisis:** Si. Queda claro que si son solo los expertos los que concentran los conocimientos necesarios para la realización de la tarea, es posible que se pierdan los conocimientos si estas personas dejan la institución.

**Valor:** Mucho.

**Característica J7:** *No existen soluciones alternativas*

**Análisis:** No.

**Valor:** Si.

### ***Adecuación***

**Característica A1:** *La transferencia de experiencia entre humanos es factible.*

**Análisis:** Si. Los conocimientos pueden explicarse y representarse en documentación escrita, no dependen de habilidades físicas del experto, sino de respuestas que dependen del razonamiento basado en evidencias concretas y respuestas acotadas a un conjunto predefinido.

**Valor:** Mucho.

**Característica A2:** *La tarea requiere experiencia.*

**Análisis:** Si, constantemente se hizo referencia a la experiencia de las personas involucradas en la resolución del problema.

**Valor:** Mucho.

**Característica A3:** *Los efectos de la introducción del sistema no pueden preverse.*

**Análisis:** Si se tiene éxito, los expertos podrán preocuparse por otros objetivos que favorecen a la institución, descentralizando la tarea y los conocimientos necesarios para la resolución del problema. El staff médico tomará mas confianza, y en consecuencia mas pacientes serán tratados con este tipo de tecnologías. Es probable que la morbilidad de pacientes de enfermedades inducidas por el respirador descienda.

**Valor:** Poco.

**Característica A4:** *La tarea requiere razonamiento simbólico.*

**Análisis:** No necesariamente. La tarea puede ser tratada con razonamiento simbólico, pero no es de naturaleza simbólica.

**Valor:** Regular.

**Característica A5:** *La tarea requiere el uso de heurísticas para acotar el espacio de búsqueda.*

**Análisis:** Si. De la primer sesión se puede observar que el experto utiliza términos que hacen pensar que si se necesitan heurísticas para acotar el espacio de búsqueda.

**Valor:** Mucho.

**Característica A6:** *La tarea es de carácter practico y más táctico que estrategia.*

**Análisis:** Si. Sin duda, las tareas resueltas por el experto son de carácter practico, y los resultados de la misma es a corto plazo, por lo que se puede considerar táctica.

**Valor:** Si.

**Característica A7:** *Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo periodo de tiempo.*

**Análisis:** Si. El experto, y los trabajos científicos internacionales publicados recientemente lo aseguran, por lo tanto podemos suponer que si.

**Valor:** Mucho.

**Característica A8:** *Se necesitan varios niveles de abstracción en la resolución de la tarea.*

**Análisis:** De las entrevistas realizadas hasta el momento no se pueden observar diferentes niveles de abstracción.

**Valor:** Poco.

**Característica A9:** *El problema es relativamente simple o puede descomponerse en subproblemas.*

**Análisis:** Si. El problema parece simple, sin diferentes niveles de abstracción.

**Valor:** Mucho.

**Característica A10:** *El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema.*

**Análisis:** No, el experto utiliza heurísticas en la resolución del problema. En la entrevista se hace mención a trucos con lo que se eliminan algunos procesos.

**Valor:** Si.

**Característica A11:** *La tarea acepta la técnica del prototipado gradual.*

**Análisis:** Si. Se sabe que se puede dividir el problema en subproblemas, cada uno de ellos puede agregarse en cada prototipo.

**Valor:** Si.

**Característica A12:** *El experto resuelve el problema a veces con información incompleta e incierta.*

**Análisis:** No. En la entrevista el experto niega dicha afirmación.

**Valor:** Poco.

**Característica A13:** *Es conveniente justificar las soluciones adoptadas.*

**Análisis:** Si.

**Valor:** Mucho.

**Característica A14:** *La tarea precisa investigación básica para su solución*

**Análisis:** A pesar que en la entrevista se puede observar como el experto dice que si desconoce algún dato, debe preguntárselo al medico residente, esto no constituye investigación básica. Por lo tanto, se puede suponer que estos datos serán parte de los datos de entrada al sistema.

**Valor:** No.

**Característica A15:** *El sistema funcionará en tiempo real con otros programas o dispositivos.*

**Análisis:** El sistema funcionará en una Terapia Intensiva Neonatal, y será consultado por los profesionales de la medicina cuando se requiera. No funcionará en

tiempo real, ni estará conectado a otros dispositivos. Tampoco intercambia datos con otros programas. Por lo tanto, se le asignará *Nada*.

**Valor:** Nada.

### ***Éxito***

**Característica E1:** *Existe una ubicación idónea para el SE.*

**Análisis:** Si. Los servicios de terapia intensiva neonatales involucrados en la adquisición de conocimientos así lo afirman y demuestran

**Valor:** Todo.

**Característica E2:** *Problemas similares se han resuelto mediante INCO*

**Análisis:** Si. De diferente bibliografía se puede observar que se han tratado problemas similares con este tipo de tecnología<sup>1</sup>.

**Valor:** Si.

**Característica E3:** *El problema es similar a otros a los que resultó imposible aplicar esta tecnología.*

**Análisis:** No se obtuvo información que así lo demuestre.

**Valor:** No.

**Característica E4:** *La continuidad del proyecto está influenciado por vaivenes políticos.*

**Análisis:** No parece haber problemas políticos en la institución.

**Valor:** Poco.

**Característica E5:** *La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana.*

**Análisis:** Si. Las personas más afectadas son los expertos, dado que se supone que el sistema experto realizará las tareas que ellos realizan. Sin embargo, el resto de las personas no verá afectado su trabajo cotidiano.

**Valor:** Regular.

---

<sup>1</sup> Principles and Practice of Intensive Care Monitoring. Mac Graw Hill, Capitulo 80: Artificial Neural Networks, Mauricio León, 1401:1409. Martin Tobin 1998.

**Característica E6:** *Se dispone de experiencia en INCO*

**Análisis:** No. Los servicios involucrados no lo demuestran.

**Valor:** Regular.

**Característica E7:** *Se dispone de los recursos humanos, hardware, y software necesarios para el desarrollo e implantación del sistema.*

**Análisis:** Varios expertos se encuentran disponibles. Dado que la institución involucrada en el desarrollo del sistema entiende que esta es una solución apropiada, y se ha aprobado la planificación inicial donde se indican las necesidades humanas y materiales, es probable que no se tengan problemas respecto al hardware y software necesarios para el desarrollo.

**Valor:** Mucho.

**Característica E8:** *El experto resuelve el problema en la actualidad.*

**Análisis:** Si. El experto entrevistado es quien programa el respirador cuando hay un paciente.

**Valor:** Todo.

**Característica E9:** *La solución del problema es prioritaria para la institución.*

**Análisis:** Si. La dirección del servicio de Terapia Intensiva de la institución, así lo demuestra.

**Valor:** Mucho.

**Característica E10:** *Las soluciones son explicables o interactivas.*

**Análisis:** Si. El experto ha demostrado en su entrevista que así es.

**Valor:** Mucho.

**Característica E11:** *Los objetivos del sistema son claros y evaluables.*

**Análisis:** Si. El experto ha establecido claramente que el objetivo del sistema será dar una recomendación para que el médico a cargo realice los cambios de programación correspondientes. Además, se tiene información suficiente para determinar casos de prueba.

**Valor:** Mucho.

**Característica E12:** *Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos.*

**Análisis:** A pesar de ser pocos los expertos, todos parecen conocer lo mismo, es decir, los conocimientos no se encontrarían repartidos.

**Valor:** Poco.

**Característica E13:** *Los directivos, usuarios, expertos e IC están de acuerdo en las funcionalidades del SE.*

**Análisis:** La dirección del servicio entiende que los expertos son los que conocen el dominio de la aplicación, por lo que parecería que no discuten las funcionalidades establecidas por los mismos. Además estas han sido expresadas claramente, entendidas por el IC. Por lo tanto todas las partes estarían de acuerdo con las funcionalidades del sistema

**Valor:** Mucho.

**Característica E14:** *La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto.*

**Análisis:** Los expertos demuestran interés en el desarrollo de un SE para la resolución del problema.

**Valor:** Mucho.

**Característica E15:** *Los expertos convergen en sus soluciones y métodos.*

**Análisis:** Hoy en día los expertos se han puesto de acuerdo en un protocolo que sigue todo el personal. Esto confirma que los expertos de la institución convergen en sus soluciones y métodos.

**Valor:** Mucho.

**Característica E16:** *Se acepta la planificación del proyecto y la propuesta por el IC.*

**Análisis:** Se sabe que el IC ha presentado una planificación aproximada del proyecto indicando la necesidad de recursos humanos y materiales, y ha sido aceptada.

**Valor:** Si.

**Característica E17:** *Existen limitaciones estrictas de tiempo en la realización del sistema.*

**Análisis:** Por el momento no se han establecido fechas límites.

**Valor:** Muy Poco.

**Característica E18:** *La dirección y usuarios apoyan los objetivos y directrices del proyecto.*

**Análisis:** El IC ha presentado un documento con la planificación aproximada del proyecto y ha sido aceptado.

**Valor:** Mucho.

**Característica E19:** *El nivel de formación requerido por los usuarios del sistema es elevado.*

**Análisis:** Las entradas del sistema y las salidas esperadas requieren formación de los futuros usuarios.

**Valor:** Mucho.

**Característica E20:** *Las relaciones IC experto son fluidas.*

**Análisis:** En las primeras sesiones no parecen haber mal entendidos. Además la formación de grado del IC (Ingeniero Biomedico), permite un mejor entendimiento.

**Valor:** Mucho

**Característica E21:** *El proyecto forma parte de un camino crítico con otros sistemas.*

**Análisis:** Dado que el sistema es para la consulta sobre la configuración, no forma parte del camino crítico con otros sistemas. El médico usuario puede o no utilizar el sistema para configurar el respirador

**Valor:** No.

**Característica 22:** *Se efectuará una adecuada transferencia tecnológica.*

**Análisis:** Se realizarán los documentos necesarios, y se realizarán clases de capacitación de los futuros usuarios.

**Valor:** Mucho.

**Característica E23:** *Lo que cuenta en la solución es la calidad de la respuesta.*

**Análisis:** Sin duda la calidad de la respuesta es lo buscado, la vida de un ser humano depende de ello.

**Valor:** Si.

Denominación de la Categoría característica	Dimensión	Peso	Tipo	Naturalaleza	Umbral	Valor	
<i>Existen expertos, están disponibles y son cooperativos</i>	Experto	P1	+10	Esencial	Booleana	Si (si)	Si
<i>El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo</i>	Experto	P2	+7	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>La tarea esta bien estructurada y se entiende</i>	Tarea	P3	+8	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Existen suficientes casos de prueba y sus soluciones asociadas</i>	Tarea	P4	+10	Esencial	Numérica	Si (8)	10
<i>La tarea sólo depende de los conocimientos y no del sentido común</i>	Tarea	P5	+9	Deseable	Numérica	No	10
<i>Resuelve una tarea útil y necesaria.</i>	Tarea	J1	+8	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Se espera una alta tasa de la recuperación de la inversión</i>	Directivos/Usuarios	J2	+7	Deseable	Numérica	No	10
<i>Hay escasez de experiencia humana</i>	Experto	J3	+6	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Hay necesidad de tomar</i>	Tarea	J4	+10	Deseable	Difusa	No	Todo

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<i>decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosos y,o poco gratificantes..</i>							
<i>Hay necesidad de distribuir los conocimientos.</i>	Tarea	J5	+10	Deseable	Difusa	No	Todo
<i>Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema</i>	Experto	J6	+10	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>No existen soluciones alternativas</i>	Tarea	J7	+8	Esencial	Booleana	Si (si)	Si
<i>La transferencia de experiencia entre humanos es factible.</i>	Tarea	A1	+7	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>La tarea requiere experiencia</i>	Tarea	A2	+10	Deseable	Difusa	No	Mucho

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<i>Los efectos de la introducción del sistema no pueden preverse</i>	Tarea	A3	-2	Deseable	Difusa	No	Poco
<i>La tarea requiere razonamiento simbólico</i>	Tarea	A4	+5	Deseable	Difusa	No	Regular
<i>La tarea requiere el uso de heurísticas para acotar el espacio de búsqueda.</i>	Tarea	A5	+7	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>La tarea es de carácter práctico y más táctica que estratégica</i>	Tarea	A6	+8	Deseable	Booleana	No	Si
<i>Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo periodo de tiempo</i>	Tarea	A7	+8	Esencial	Difusa	Si (Mucho)	Mucho
<i>Se necesitan varios niveles de abstracción en la resolución de la tarea.</i>	Tarea	A8	+8	Deseable	Difusa	No	Poco
<i>El problema es relativamente simple o puede descomponerse en subproblemas</i>	Tarea	A9	+6	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema.</i>	Experto	A10	+3	Deseable	Booleana	No	Si
<i>La tarea acepta la técnica</i>	Tarea	A11	+8	Deseable	Booleana	No	Si

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<i>del prototipado gradual</i>							
<i>El experto resuelve el problema a veces con información incompleta e incierta.</i>	Experto	A12	+3	Deseable	Difusa	No	Poco
<i>Es conveniente justificar las soluciones adoptadas</i>	Tarea	A13	+3	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>La tarea precisa investigación básica para su solución</i>	Tarea	A14	-10	Esencial	Booleana	Si (no)	No
<i>El sistema funcionará en tiempo real con otros programas o dispositivos</i>	Tarea	A15	-6	Deseable	Difusa	No	Nada
<i>Existe una ubicación idónea para el SE</i>	Directivos/usuarios	E1	+7	Deseable	Difusa	No	Todo
<i>Problemas similares se han resuelto mediante INCO</i>	Tarea	E2	+8	Deseable	Booleana	No	Si
<i>El problema es similar a otros a los que resultó imposible aplicar esta tecnología.</i>	Tarea	E3	-5	Deseable	Booleana	No	No
<i>La continuidad del proyecto está influenciado por vaivenes políticos.</i>	Directivos/usuarios	E4	-9	Esencial	Difusa	Si (Poco)	Poco
<i>La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es</i>	Directivos/usuarios	E5	+8	Deseable	Difusa	No	Regular

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<i>decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana</i>	os						
<i>Se dispone de experiencia en INCO</i>	Tarea	E6	+7	Deseable	Difusa	No	Regular
<i>Se dispone de los recursos humanos, hardware, y software necesarios para el desarrollo e implantación del sistema.</i>	Tarea	E7	+4	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>El problema resuelve el problema en la actualidad</i>	Experto	E8	+4	Deseable	Difusa	No	todo
<i>La solución del problema es prioritaria para la institución.</i>	Directivos/usuarios	E9	+8	Esencial	Difusa	Si (Mucho)	Mucho
<i>Las soluciones son explicables o interactivas.</i>	Tarea	E10	+5	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Los objetivos del sistema son claros y evaluables.</i>	Tarea	E11	+6	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos</i>	Experto	E12	-7	Deseable	Difusa	No	Poco
<i>Los directivos, usuarios, expertos e IC están de acuerdo en las</i>	Directivos/usuarios	E13	+4	Esencial	Difusa	Si (Mucho)	Mucho

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<i>funcionalidades del SE</i>							
<i>La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto.</i>	Experto	E14	+8	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Los expertos convergen en sus soluciones y métodos</i>	Experto	E15	+5	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Se acepta la planificación del proyecto y la propuesta por el IC.</i>	Directivos/usuarios	E16	+8	Esencial	Booleana	Si (si)	Si
<i>Existen limitaciones estrictas de tiempo en la realización del sistema.</i>	Tarea	E17	-6	Deseable	Difusa	No	Muy Poco
<i>La dirección y usuarios apoyan los objetivos y directrices del proyecto</i>	Directivos/usuarios	E18	+7	Esencial	Difusa	Si (Mucho)	Mucho
<i>El nivel de formación requerido por los usuarios del sistema es elevado.</i>	Directivos/usuarios	E19	-2	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>Las relaciones IC experto son fluidas</i>	Experto	E20	+4	Deseable	Difusa	No	Mucho
<i>El proyecto forma parte de un camino crítico con otros sistemas.</i>	Tarea	E21	-6	Deseable	Booleana	No	No

<i>Se efectuará una adecuada transferencia tecnológica.</i>	Directivos/usuarios	E22	+8	Esencial	Difusa	Si (mucho)	Mucho
<i>Lo que cuenta en la solución es la calidad de la respuesta</i>	Experto	E23	+5	Deseable	Booleana	No	Si

Tabla 4.1

### **Evaluación final del test de viabilidad**

Se considerarán inicialmente cada dimensión de forma individual, basados en el aporte que cada característica aportó. En el caso de la dimensión de justificación, se toma el valor máximo de los valores dados. Para el resto de las dimensiones, plausibilidad, adecuación y éxito, se utiliza la fórmula dada por Fraile, consistente en calcular la media armónica y la media aritmética del conjunto de intervalos y luego realizar la media aritmética de las dos medias obtenidas.

Dado que ninguna característica esencial, es inferior al umbral establecido, es posible seguir evaluando el proyecto.

Tenemos que:

➤ Para valores difusos:

Muy poco (nada)	0	0	1,2	2,2
Poco	1,2	2,2	3,4	4,4
Regular	3,4	4,4	5,6	6,6
Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8
Muchísimo		7,8	8,8	10 10

➤ Para valores Boléanos:

No	0	0	0	0
Si	10	10	10	10

En los casos en los cuales se tenga un valor cero como denominador, se asignará el valor 0.01 para realizar los cálculos correspondientes.

### **Calculo del valor de Plausibilidad**

$$VC_{\text{plausibilidad}} = \frac{1}{2} * [ (10 + 7 + 8 + 10 + 9) / ( 10/(10;10;10;10) + 7/(5.6; 6.6, 7.8 ; 8.8) + 8/(5.6; 6.6, 7.8 ; 8.8) + 10/(10;10;10;10) + 9/(10;10;10;10) ) ] +$$

$$\frac{1}{2} [ (10 * (10;10;10;10) + 7 * (5.6; 6.6, 7.8 ; 8.8) ) + 8 * (5.6; 6.6, 7.8 ; 8.8) + 10 * (10;10;10;10) + 9 * (10;10;10;10) / ( 10 + 7 + 8 + 10 + 9 ) ]$$

$$VC_{\text{plausibilidad}} = ( 8.22; 8.70; 9.20; 9.58 )$$

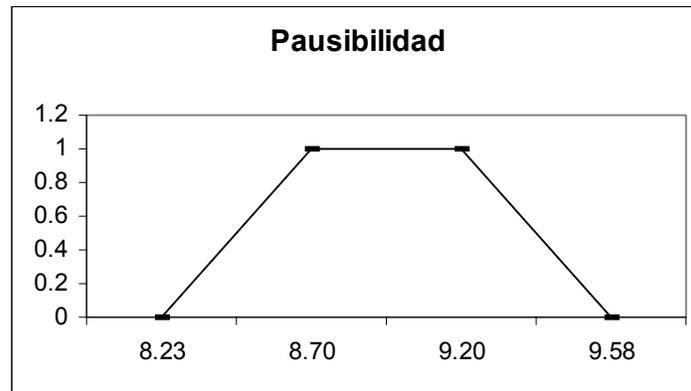


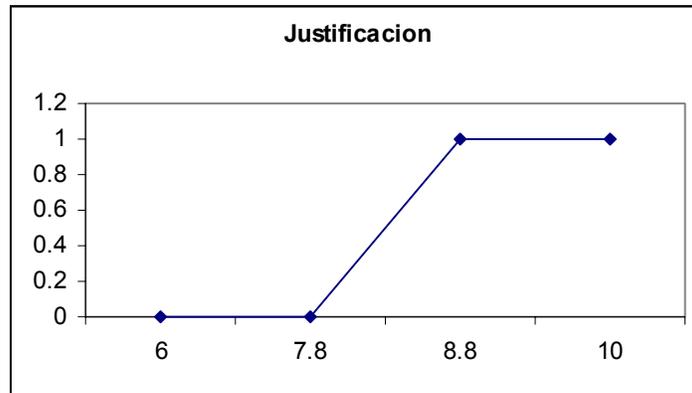
Figura 4.1

#### ***Cálculo del valor de Justificación***

Es obvio que una sola característica de justificación tiene un valor muy alto, entonces está justificado el desarrollo del sistema. Por lo tanto en este caso, se toma el máximo de los valores de justificación como resultado de esta dimensión.

Primero se debe multiplicar el valor de la característica por el peso asociado, se promedia y se toma el máximo. De las tablas se puede observar que las características J4 y J5 tienen un peso de 10, y un valor asignado de Todo. Por tal motivo el valor de justificación será:

$$VC_{\text{justificacion}} = (7.8; 8.8; 10; 10) = \text{Todo}$$

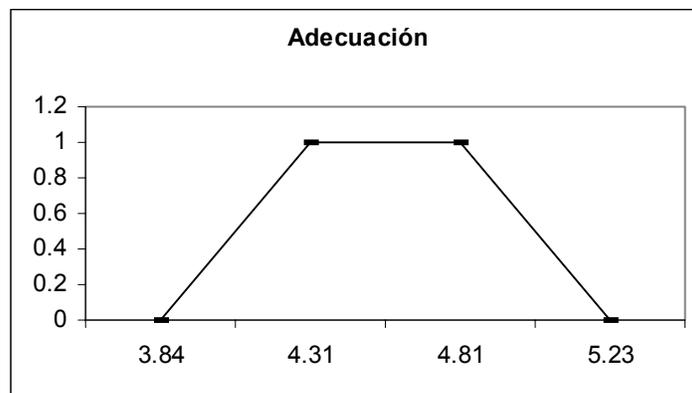


**Figura 4.2**

***Cálculo del valor de adecuación***

Aplicando el mismo procedimiento, se obtiene el valor de adecuación.

$$VC_{\text{adecuación}} = (3.83; 4.31; 4.80; 5.23)$$



**Figura 4.3**

***Cálculo del valor de éxito***

Luego, para el cálculo de éxito se obtuvo:

$$VC_{\text{éxito}} = (4.48; 4.95; 5.46; 5.82)$$

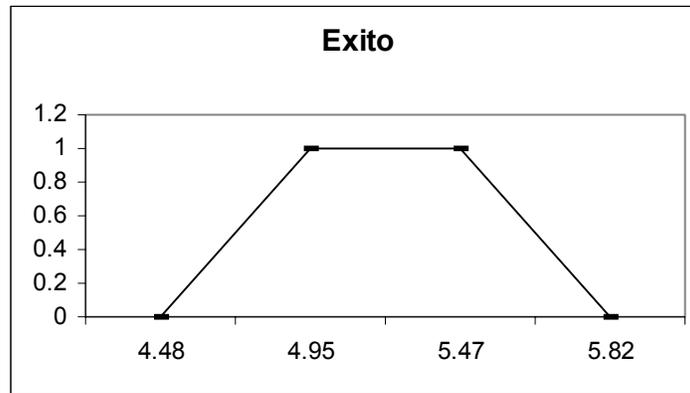


Figura 4.4

Finalmente el valor final del estudio de viabilidad de la tarea resulta ser

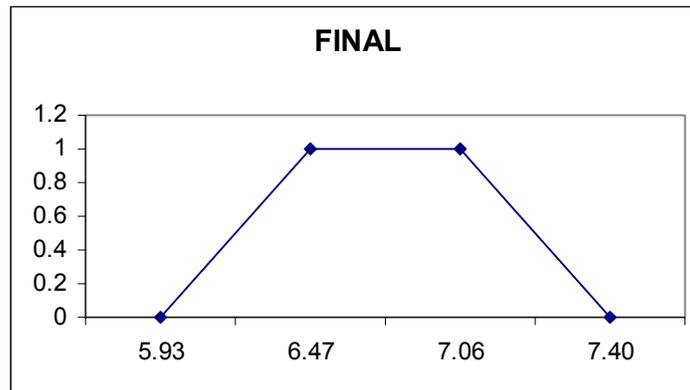


Figura 4.5

**El intervalo obtenido es similar al intervalo *mucho*, por lo tanto, se puede afirmar que el test de viabilidad nos permite pensar que el desarrollo del sistema es posible, está justificado, es adecuado y tendrá éxito.**

## **DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA Y CONCEPCIÓN DE LA SOLUCIÓN**

Las primeras entrevistas no solo permitieron obtener una clara idea de algunas de las características del sistema con el fin de evaluar dichas características para el test de viabilidad, sino que permitieron describir el sistema a desarrollar. A continuación se muestra el documento “Definición del Prototipo”, en donde se detallan los objetivos del proyecto, el problema encontrado y el dominio de aplicación, los datos necesarios y el origen de los casos de prueba para la posterior evaluación del sistema, etc.

## **DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO**

### DOCUMENTO PARA LA DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

#### ***Objetivos del proyecto***

- a) Finalidad. Introducir las tecnologías más avanzadas para llevar al servicio de terapia intensiva neonatal a ser líder en este tratamiento.
  
- b) Fines. Se pretende:
  - Asistir al responsable del manejo del respirador en el proceso de configuración o programación del respirador oscilatorio de alta frecuencia.
  
  - Poner al servicio del personal médico, responsable de la configuración del respirador, la experiencia adquirida por aquellas personas consideradas verdaderos especialistas en el área.
  
  - Contribuir en el mejoramiento de la práctica de la VAFO y que a la vez incentive su uso. Asista al responsable del manejo del respirador en el proceso de configuración o programación del respirador.
  
  - Liberar al experto de la tarea de programación del respirador de alta frecuencia oscilatoria, para que se puedan centrar en otras tareas necesarias para el servicio de terapia intensiva neonatal.
  
- c) Objetivos. El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de un Sistema Experto que permita recomendar en tiempo y forma, la programación de un respirador de alta frecuencia oscilatoria para

pacientes neonatales con Membrana Hialina y con Síndrome de escape de aire (neumotorax, enfisema intersticial).

### ***Problema principal***

El problema principal consiste en que la estrategia de ventilación en alta frecuencia es diferente a la ventilación convencional. Los respiradores de VAFO tienen controles totalmente diferentes a los respiradores convencionales. Una programación incorrecta del respirador tiene como consecuencia un aumento de la morbi-mortalidad de la población ventilada.

Para evitar este problema, es necesario obtener datos de diagnóstico que permitan determinar el estado del paciente, para luego, programar el respirador apropiadamente.

### ***División en subproblemas***

De la descripción del problema principal, se desprende una división de dicho problema:

- Análisis de los datos monitorizados del paciente con el fin de realizar un correcto diagnóstico
- Determinación de la programación del respirador considerando el estado del paciente, y el histórico o tendencias de los datos monitorizados y la patología de base.

De las entrevistas realizadas, se pudo determinar que existen varias enfermedades del sistema respiratorio que podrían ser tratadas con un ventilador oscilatorio de alta frecuencia.

- Síndromes de pérdida de aire: Enfisema Intersticial Pulmonar, Pérdida Pulmonar (pneumotorax)
- Síndromes de Hipoplasia Pulmonar: Hernia diafragmática congénita.
- Síndrome de aspiración de Meconio
- P neumonía
- Síndrome de Distress Respiratorio (SDR) o membrana hialina

- Displasia broncopulmonar
- Etc.

Sin embargo, nos concentraremos únicamente en el tratamiento de pacientes que sufren de SDR o membrana Hialina, y síndromes de pérdida de aire, basados en la estrategia de protección del pulmón, utilizando el ventilador de alta frecuencia oscilatoria, solo como rescate de pacientes ventilados con respiradores convencionales que hayan fallado su tratamiento.

Las razones por las cuales el SE a desarrollar se basará en las patologías mencionadas son las siguientes:

- Existe suficiente experiencia en el tratamiento de las patologías. Trabajos científicos publicados, y experiencia practica cotidiana así lo demuestran.
- Los expertos consultados consensuan las estrategias que utilizan con este tipo de pacientes. Todos los expertos coinciden en la mejor estrategia a utilizar para las patologías mencionadas.

Por otro lado, el SE a desarrollar no tratará pacientes que sufran de otras patologías debido a que:

- No existen suficientes trabajos científicos presentados, ni experiencia, que permita afirmar cual es la mejor estrategia a seguir para el resto de las patologías.
- Los mismos expertos aseguran que centros de salud, formadores de opinión se encuentran trabajando en el tema, pero nadie puede asegurar que el tratamiento de las patologías no tratadas hoy en día sean apropiadas para el uso de la VAFO

### ***Datos***

Los datos necesarios para resolver el problema son los datos necesarios para determinar el estado del paciente y la programación del respirador. Por esto se debe entender:

- Datos de la mecánica respiratoria: reclutamiento y sobredistensión
- Datos de los gases en sangre: presión parcial de oxígeno y dióxido de carbono, ph sanguíneo, bicarbonato, etc. Aquí también pueden considerarse los datos indirectos del nivel de oxigenación y concentración de Dióxido de carbono en sangre (saturación de O<sub>2</sub> y tcPO<sub>2</sub>)

- Datos de la hemodinámica del paciente.
- Datos de la programación actual del respirador de VAFO o del respirador convencional según corresponda.

### ***Casos de prueba***

Los casos de prueba se tomarán de los casos clínicos presentados en diferentes investigaciones publicadas y de las historias clínicas del Htal. de Pediatría Garrahan

### ***Recursos***

**Humanos:** Participarán de este proyecto:

#### **Ingeniero en Conocimiento:**

Bioingeniero Facundo G. Bermejo, Especialista en ventilación Mecánica, Maestrando de la carrera de Magíster en Ingeniería del Software, Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

#### **Expertos en VAFO:**

Se integrarán al proyecto, en calidad de expertos, las siguientes personas:

- Dra. Diana Fariña. SubJefa de terapia intensiva Neonatal. Htal Garrahan, Buenos Aires.
- Dra. Cristina Oscio, Subjefa del servicio de Terapia Intensiva Neonatal, Sanatorio Otamendi. Buenos Aires.
- Dr. Alejandro Raimondi. Neumonólogo. Jefe de Terapia intensiva para pacientes adultos del Sanatorio Mater Dei.
- Dr. Guillermo Montiel. Neomonólogo. Jefe de Guardia del Htal Británico.
- Dr. Desmery. Jefe Terapia Intensiva para pacientes adultos del Sanatorio Mitre.
- Ing. Alberto Peralta. Prof. Bioingeniería III. Facultad de Ingeniería. Bioingeniería. Entre Ríos.

- Dr. Mario Fernández, especialista clínico de la firma Viasys, Sensormedics, para América Latina.

**Usuarios:**

Serán usuarios del sistema a desarrollar, médicos neonatólogos usuarios del respirador Sensormedics 3100 A.

**Materiales:**

- Computadora Personal Compac Presario 1275.
- Grabadora a cinta

**Solución**

Los motivos anteriormente mencionados sugieren que existe la necesidad de una herramienta que:

- Asista al responsable del manejo del respirador en el proceso de configuración o programación del respirador.
- Ponga al servicio del personal médico, responsable de la configuración del respirador, la experiencia adquirida por aquellas personas consideradas verdaderos especialistas en el área.
- Contribuya en el mejoramiento de la práctica de la VAFO y que a la vez incentive su uso.

Por lo tanto se pretende desarrollar un Sistema Experto que realice las acciones mencionadas. Este sistema deberá solicitar información asociada al paciente, datos de gases en sangre, patología de base, saturación de oxígeno, presión arterial, número de espacios intercostales, etc<sup>2</sup>. Por otro lado, el sistema deberá tomar información de la programación actual del respirador (por lo menos la actual, se determinará si es necesario también tener información histórica).

Luego, con esta información, el SE deberá recomendar al médico usuario cuál es el próximo paso a realizar, incluyendo dentro de estos pasos, cambios en la programación del respirador.

---

<sup>2</sup> Los datos del paciente se determinarán posteriormente mediante las entrevistas con los expertos, estos datos enumerados solo son a modo de ejemplo.

### **Relación costo beneficio**

Del análisis global de costo beneficio, y desglosando por conceptos los gastos se tiene:

- Inicialmente se han estimado 500 horas de trabajo, considerando que la hora de trabajo. Considerando un costo hora hombre de 50 pesos por hora, el costo de diseño por horas hombre es de 25000.
- Dado que se ha utilizado una grabadora personal, \$60, y una computadora personal de \$2000, el costo de materiales es de \$2060.
- Por otro lado, los gastos de viáticos asociados a las entrevistas personales, esto es, traslado a los diferentes hospitales, es de \$ 5 por entrevista. Estimando que se realizarán aproximadamente 30 sesiones de trabajo, el costo por viáticos es de \$150.
- El Costo de las horas hombre de los expertos, 15 horas por \$150, \$2250
- El resto de los costos no se tomarán en cuenta.

Esto da un costo total de \$29460<sup>3</sup>.

En un centro estándar, con unidad de neonatología que utilice este tipo de respiradores, la cantidad de pacientes no supera los 2 por mes. La cantidad de días que estos pacientes se encuentran conectados al respirador varía en función de la patología y la evolución de la misma, pero podemos estimar que se encuentra en períodos de 4 a 10 días.

Esto implica que a lo sumo se utiliza 20 días de los 30 días del mes.

Podemos suponer que el SE permitirá que se traten mas pacientes por mes debido a un aumento de confianza, consenso de acciones a tomar, y estandarización de protocolos. De esta manera la cantidad de días por mes de pacientes utilizando el respirador podría llegar a 30, es decir que aumente de 20 a 30 días.

Ahora, en el otro extremo se encuentran las instituciones que no utilizan este respirador, y que podrían llegar a utilizarla 30 días por mes. Es decir, que podrían tener un paciente extra por mes. Dado que la facturación de un sanatorio privado, para un paciente internado en neonatología es de \$ 2000 (dependiendo de la institución), es decir \$8.640.000 por año.

Resulta obvio que las ganancias del sanatorio resultan inferiores a eso monto, pero solo con el fin de estimar una cantidad, podemos suponer que el margen de la institución es del 30%, es decir \$ 2.500.000.

Por lo tanto se puede concluir que la relación costo beneficio resulta a favor del desarrollo del sistema experto.

---

<sup>3</sup> No se considerará margen de ganancias para el análisis del costo beneficio.

### **Introducción**

La adquisición de conocimientos no es una fase o etapa de una metodología, sino un proceso continuo que se extiende a todas las fases de la metodología.

Los problemas abordados con la tecnología de la INCO intentan imitar a través de un software, el quehacer de un experto humano al desempeñar una determinada tarea. Una de las actividades que requiere mayor esfuerzo es la adquisición de conocimientos, por medio de la cual se intenta descubrir el dominio de aplicación, el problema y el proceso de solución al problema.

Dependiendo de la fuente utilizada para obtener los conocimientos, la terminología de la adquisición varía. Cuando la fuente de conocimientos se presenta en forma escrita, la adquisición se denomina *extracción de conocimientos*. Si por el contrario los conocimientos se obtienen de seres humanos, el proceso se denomina *educación de conocimientos*. La bibliografía consultada, y los conocimientos documentados en la unidad dos permiten extraer conocimientos que determinan la base a partir de la cual se diseñaran las primeras entrevistas y así comenzar a educir conocimientos del experto.

Los conocimientos del experto son extremadamente detallados y están extraordinariamente interconectados. En esta unidad se documentarán las técnicas utilizadas para la educación de esos conocimientos, para luego en la unidad de conceptualización documentar el modelo estático y dinámico que representan la resolución del problema por el experto.

Es importante mencionar que existen dos actividades dentro de la Adquisición de Conocimientos. La extracción del conocimiento que sirve básicamente para extraer conocimientos del dominio y elevar el nivel de comprensión del dominio por parte del Ing. del Conocimiento, de manera tal que cuando se llega a la Educación de conocimientos el Experto no debe explicar detalladamente conocimientos públicos del dominio. Luego la tarea de investigar profundamente, obteniendo paulatinamente una visión de muy bajo nivel de dominio, donde realmente se comprenda el verdadero proceso de la tarea

De la lectura de diferentes fuentes, detalladas a continuación, se han adquirido conocimientos básicos del manejo de pacientes y datos generales descriptos en la unidad dos de la presente obra. Los papers serán anexados al final de la obra.

- Manual de usuario del respirador marca Sensormedics, modelo 3100 A.
- M. Tobin, "*Principles and Practice or Mechanical Ventilation*". Mc Graw Hill. 1998.
- MacIntyre. "*Comprehensive Respiratory Care*". Saunders.1995.
- JM Cairo, SP Pilbean. "*Respiratory Care Equipment*". Mosby's. Sixth Edition. 1999.

- Goldmith, “ Neonatal care ventilation” , 1996.
- UNER. Facultad de ingeniería – Bioingeniería Cátedra Bioingeniería III. Trabajo Final, Ventilación de alta frecuencia (HFV). Leandro Di Persia

Luego, se intenta aprender sobre el dominio de la experiencia, estudiar y asimilar conocimientos y favorecer la interrelación con el experto. Una de las técnicas mas utilizadas para lograr este objetivo, y que se utilizara en el presente trabajo, es la entrevista estructurada. Se podra observar, como se *diseñan* las entrevista con el fin de lograr un conjunto de objetivos concretos, que se determinan de antes de la entrevista.

Con frecuencia la mejor forma de descubrir como hace un juicio un experto, efectúa un diagnóstico o diseña una forma de decisión, es observar a un experto trabajar en un problema real. En el presente dominio de aplicación, se deberá observar como el experto resuelve el problema en particular, la programación del ventilador para los casos clínicos de interés.

## **Segunda Sesión**

Las primeras dos entrevistas permitieron obtener información relacionadas con las respuestas del test de viabilidad, delimitando el problema, su entorno y la solución para el mismo. Por lo tanto, se alcanzaron los objetivos establecidos en la preparación de la sesión.

De la información detallada en la Unidad 2, y de la primer sesión que permitió desarrollar el Test de Viabilidad, se sabe que el experto utiliza el respirador de alta frecuencia oscilatoria solo para rescate, lo cual implica que se utilizan dos estrategias; estas son Estrategia de Volumen Pulmonar Optimo, y estrategia de volumen pulmonar mínimo. Además se sabe que el razonamiento que realiza el experto para programar el respirador varía en función de la patología, estas diferencias mencionadas son las que determinan la estrategia.

Por lo tanto, basándonos en que una adecuada forma de abordar el proceso de adquisición es subdividir los conocimientos, se intentará:

- Determinar que y cuales son las estrategias utilizadas en VAFO. Es decir, el razonamiento que realiza el experto para programar el respirador varía en función de la patología, estas diferencias mencionadas son las que determinan la estrategia. Posteriormente se intentará focalizar en el “*como?*” de cada estrategia
- Saber en que se basan cada una de las estrategias y que determina en la programación del respirador.
- Finalmente, es importante obtener nuevos conceptos y clarificar los descriptos para seguir completando los conceptos obtenidos en la Unidad 2 para realizar el diccionario de conceptos

Siguiendo con el esquema de adquisición de Juristo [Juristo N. 1996], se ha dado comienzo a la misma a través de una serie de reuniones (la primera ya fue documentada) con la experta, usuarios y los encargados del proyecto. De esta manera se determinaron los requisitos funcionales del SE, las necesidades mas importantes de los usuarios, y las necesidades de los empresarios que representan y venden el producto en Argentina. La primer sesión, y los conocimientos extraídos de diferentes fuentes bibliográficas, permitieron desarrollar el estudio de viabilidad del SE.

La siguiente sesión que se describirá a continuación se intenta obtener conocimientos privados de la experta. Normalmente, el segundo paso se intenta aprender sobre el dominio de la experiencia, estudiar y asimilar conocimientos y favorecer la interrelación con el experto. Este segundo paso no se presenta en la obra dado que el IC tiene un título de grado, (ingeniero biomédico especializado en Ingeniería clínica), que le permite entender el dominio de aplicación y la terminología utilizada, como así también los conocimientos que normalmente se educen en dicho paso.

Por lo tanto, a partir de la siguiente sesión se intentará investigar profundamente, obteniendo paulatinamente una visión de muy bajo nivel de dominio, donde se comprenda el verdadero proceso de la tarea que desempeña la experta.

## **Preparación de la primera sesión**

**Información a tratar:** Estrategias de ventilación en VAFO.

**Amplitud:** Se quiere determinar cuales son las diferencias más importantes entre las diferentes estrategias de ventilación (subdividir los conocimientos), y obtener nuevos conceptos.

**Técnica Adecuada:** Entrevista estructurada.

### **Preparación de las preguntas:**

Dado que los objetivos son:

- Determinar cuales y como son las estrategias utilizadas en HFOV
- Determinar en que se basan las estrategias definidas
- Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores

La primera pregunta se intentara la enumeración de las estrategias utilizadas, por lo tanto la pregunta podría ser:

1. En la entrevista anterior, se hablo de estrategias. Estas estrategias dependían de la patología del paciente. Podrías decirme cuales son los tipos de estrategias que se utilizan en la institución?

Luego de enumerar las patologías, se tomará una de ellas para que el experto comience a determinar los pasos que realiza en la configuración del respirador. La idea es que luego, cuando se describan los pasos de las otras estrategias, se pueda observar cuales son las diferencias entre las estrategias.

Además se empiezan documentar los conocimientos estratégicos para la resolución del problema.

La segunda pregunta seria:

2. Podrías determinar lo mas ordenadamente posible cuales son los pasos que realizaste cuando estabas trabajando con la estrategia.....?.

A partir de este punto se intentará guiar la entrevista espontáneamente, utilizando la técnica de entrevista abierta, con el fin de lograr que el experto especifique lo mas detalladamente los pasos realizados cuando opera y programa un respirador.

Las dudas y conceptos no aclarados de las preguntas conformarán la base para la siguiente entrevista.



## **Transcripción Sesión 2**

---

**Adquisición de conocimientos.**

**Técnica: Entrevista estructurada.**

**Experto: Dra. Diana Fariña.**

**Ingeniero en Conocimiento: Facundo Bermejo.**

**Lugar: Htal de Pediatría Dr. P. Garrahan.**

**Número de Sesión: 2**

**Día: 26 de Noviembre del 2001**

**Duración: 55 minutos**

**Objetivos:**

- **Determinar cuales son las estrategias utilizadas en HFOV**
  - **Determinar en que se basan las estrategias definidas**
  - **Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores**
- 

**IC: En la entrevista anterior, se hablo de estrategias. Estas estrategias dependían de la patología del paciente. Podrías decirme cuales son los tipos de estrategias que se utilizan en la institución?**

**EX:** Sí, nosotros usamos el oscilador principalmente en dos tipos de patologías, SDR (Síndrome de Distress Respiratorio), y patologías de escapes de aire, es decir neumotorax y enfisema intersticial. Cada patología determina la estrategia ventilatoria a utilizar. En Estados Unidos usan el oscilador en muchas más patologías, es mas, la utilizan tempranamente y no como rescate. Los chicos nacen, y si tienen patologías que hacen necesario el uso del respirador, se los conecta a un Sensormedics!!!

Nosotros por ahora estamos un poco lejos de eso. No es que no tengamos la tecnología, sino que no creo que haya suficiente material científico escrito como para sustentar el uso tempranamente...

Entonces si estamos con una membrana hialina, utilizamos la estrategia de volumen Pulmonar Óptimo. Mientras que si la patología es escape de aire, la estrategia es Volumen Pulmonar Mínimo. Esto marca la diferencia mas importante!!

Entonces, por ejemplo, si estamos en VPO (volumen pulmonar óptimo), lo primero que veo es la MAP. Entonces, inicialmente seteo la Paw media en 1 o 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba de la MAP de convencional. Luego paulatinamente se incrementa la Paw, estos cambios los tengo que hacer rápido inicialmente buscando la presión de apertura. Digamos entre 5 y 30 minutos, depende en que parte de la curva nos encontremos. Por supuesto que no dejo de sacar placas para ver la expansión del

pulmón, ni los gases en sangre. En realidad me baso en la saturación, y si puedo en la PCV.

Voy muy rápido...?

**IC: ...Trata de decirme lo mas ordenado posible que haces con un paciente que tiene una membrana hialina, y que fue pasado al oscilador.**

**EX:**...Bueno, como te decía, primero seteo...bueno primero y antes que todo, tengo preparado al respirador. Antes de pasar al paciente, el oscilador debe estar funcionando. Todo: el humidificador servocontrolado con su guía, el seteo inicial, el circuito paciente, etc. Además el circuito paciente debe estar calibrado. Mira que eso lleva tiempo!!! Entonces seto la frecuencia, el flujo, la presión limite, etc..que ya lo vimos...

Entonces, por ejemplo, digamos que la MAP es de 20 cmH<sub>2</sub>O, entonces el adjust lo programo en 22 cmH<sub>2</sub>O. Antes que eso, ajuste el limite en 30 cmH<sub>2</sub>O aproximadamente. Es lo apropiado porque enseguida tenemos que subir el adjust y te encuentras con al limite. Eso es un dolor de cabeza porque una vez que el paciente esta conectado no puedes saber cual es el valor real del limite si lo tenes que modificar!!!

Entonces, lo pasas a HFO. Dependiendo del estado del paciente empezas a hacer cambios. Yo diría cada 15 a 30 minutos, pero estuve preguntando como lo hacen en USA y me dijeron que lo hacen cada 5 minutos. Yo creo que depende del paciente, pero tampoco hay que desesperarse!!! El proceso de reclutamiento lleva tiempo. Si tenes gases en sangre en tiempo real, lo puedes hacer tan rápido como quieras!!

Vamos bien?

**IC: Si...entonces, una vez seteada la Paw media que haces?**

**EX:** Incrementas la Paw intentando llegar a la presión de apertura.

**IC: Y como te das cuenta que llegaste?**

**EX:** Es impresionante como cambian los gases en sangre!!! La saturación es el mejor indicador. Si hay gases en sangre disponibles se puede ver el cambio en la PO<sub>2</sub>, pero no es necesaria para concluir la apertura pulmonar. Lo que pasa es que abris el pulmón. Entonces mejora la relación ventilación percusión. Una vez que llegas lo que queremos es bajar la FIO<sub>2</sub>. Si, bajas la FiO<sub>2</sub> buscando reducir la fracción inspirada de oxígeno que en altas concentraciones es tóxica.

Bajas la FiO<sub>2</sub> cuando llegas a la presión de apertura, manteniendo la oxigenación del paciente bien, digamos PO<sub>2</sub> de 50-60 mmHg en una membrana hialina, con una saturación postductal de 88 a 93% o 91% a 96% preductal.

Cuando tienes la FiO<sub>2</sub> menor a 40%, por lo menos nosotros, empezamos a bajar la MAP. En Estados Unidos lo llevan a 21%!! Acordate que el oxígeno es malo.

Entonces, primero en la etapa de reclutamiento, la FIO<sub>2</sub> está en 100%, siempre, y se aumenta la presión para reclutar el pulmón. Luego, cuando el pulmón se encuentra reclutado, se reduce la FIO<sub>2</sub> a 40%. Y luego cuando la FIO<sub>2</sub> es menor a 40%, se reduce la Paw.

La oxigenación del paciente en el momento del reclutamiento, siempre es mala, hasta que se recluta el pulmón, y entonces la FIO<sub>2</sub> siempre debe ser 100%, estamos en un rescate!. La oxigenación no es buena en el reclutamiento por definición, si es buena, entonces estamos en la etapa de pulmón reclutado!!

Cuando llegamos a la etapa de pulmón reclutado, entonces la oxigenación intentamos que sea siempre buena, pero puede ser mala. Si es mala, hay que observar los espacios intercostales y ver si hay sobredistensión que afecte la hemodinamia del paciente aunque los espacios pueden ser 8, y la hemodinamia puede estar comprometida por otro problema...hemorragias, falta de líquido, etc. Si la oxigenación es buena, entonces hay que ir reduciendo la Paw lentamente

**IC: Es decir, tu objetivo inicial es reclutar para bajar la FiO<sub>2</sub>?**

**EX:** Si...en membrana hialina, en estrategia de Volumen pulmonar optimo.

**IC: Y luego bajas la Presión Media?**

**EX:** Si...en membrana hialina cuando el pulmón ya se encuentra reclutado, no antes que eso.

**IC: Cuanto bajas la Presión Media?**

**EX:** Eso no puedes saberlo...seguro que la bajas mucho, es decir, por debajo de la presión de apertura. Una vez abierto, acordate de la curva que vimos, se cierra a una presión menor. De todas formas no queremos llegar a esa presión porque si llegas tienes que repetir el proceso, que no es muy malo pero mejor evitar esa situación.

**IC: Para que sacas las placas cada 2 o 6 horas?**

**EX:** Lo que pasa es que el paciente va a modificar su mecánica respiratoria. Si cambia su compliancia, con la misma presión va a tener más expansión del pulmón, lo cual puede producir un volutrauma/barotrauma o afectar la hemodinamia del paciente. Esto es importante, porque si el paciente tiene afectada la oxigenación por la sobredistensión, al bajar la Paw mejorará el intercambio gaseoso.

Con las placas te aseguras que no existe sobredistensión. Lo normal es de 8 espacios intercostales. Si la expansión es mayor, obviamente hay que bajar la presión!!!

**IC: OK, hasta ahora hablamos de la Paw que estaría relacionada con la oxigenación del paciente, que pasa con la ventilación?**

**EX:** Bueno, al mismo tiempo que haces los cambios en la Paw tenes que ir cambiando la amplitud. Acá el target, el objetivo es lograr una PaCO<sub>2</sub> que este entre 45 y 55 mmHg. Los cambios de Co<sub>2</sub> son muy rápidos y en general no constituye un problema. El dato clínico mas importante es la vibración del pecho. Esto es importante porque los gases en sangre no siempre están disponibles y hay suficiente datos clínicos que dicen que si la vibración del pecho es visible, entonces el delta P es correcto. Si hay gases es obvio que se usa la PCO<sub>2</sub>.

La vibración es importante porque si no se observa a pesar de aumentar el delta P, puede haber secreciones en el tubo endotraqueal que dificultan la ventilación

**IC: Y luego que?**

**EX:** Si todo sale bien, viene el destete o la salida de alta frecuencia para ir a un respirador convencional. Vas bajando la MAP, tenes la FIO<sub>2</sub> menor a 40% y el delta P es insignificante, entonces es como un CPAP. Obviamente no vas a tener conectado un paciente en un respirador que cuesta miles de dólares si podes hacer CPAP con un sistema simple, entonces lo desconectas o lo pasas a un respirador convencional que te de monitoreo

## **Análisis**

La respuesta del experto a la primer pregunta fue:

*‘Sí, nosotros usamos el oscilador principalmente en dos tipos de patologías, SDR (Síndrome de Diestress Respiratorio), y patologías de escapes de aire, es decir neumotorax y enfisema intersticial. Cada patología determina la estrategia ventilatoria a utilizar. En Estados Unidos usan el oscilador en muchas más patologías, es mas, la utilizan tempranamente y no como rescate. Los chicos nacen, y si tienen patologías que hacen necesario el uso del respirador, se los conecta a un Sensormedics!!!*

*Nosotros por ahora estamos un poco lejos de eso. No es que no tengamos la tecnología, sino que no creo que haya suficiente material científico escrito como para sustentar el uso tempranamente...*

*Entonces si estamos con una membrana hialina, utilizamos la estrategia de volumen Pulmonar Óptimo. Mientras que si la patología es escape de aire, la estrategia es Volumen Pulmonar Mínimo. Esto marca la diferencia mas importante!!*

”

Por lo tanto se determinó que hay dos tipos estrategias definidas: Volumen Pulmonar Óptimo, y Volumen Pulmonar Mínimo, relacionadas respectivamente con el SDR y escapes de aire. La bibliografía consultada confirma esto. Es necesario mencionar que SDR significa Síndrome de Diestress Respiratorio, también denominado Membrana Hialina. Patologías de escapes de aire hay básicamente dos, enfisema instensticial y neumotórax.

Luego el experto dijo:

*“ Entonces, por ejemplo, si estamos en VPO (volumen pulmonar óptimo), lo primero que veo es la MAP. Entonces, inicialmente seteo la Paw media en 1 o 2 cmH2O por arriba de la MAP de convencional. Luego paulatinamente se incrementa la Paw, estos cambios los tengo que hacer rápido inicialmente buscando la presión de apertura. Digamos entre 5 y 30 minutos, depende en que parte de la curva nos encontremos. Por supuesto que no dejo de sacar placas para ver la expansión del pulmón, ni los gases en sangre. En realidad me baso en la saturación, y si puedo en la PCV.*

*Voy muy rápido...? “*

El experto fija una estrategia volumen pulmonar optimo, y luego determina los pasos que sigue con la estrategia mencionada, estos son:

- a) *Observar la MAP del respirador convencional:* Esto implica observar la Presión Media en la Vía aérea del respirador convencional donde se encontraba el paciente antes de ser conectado al respirador de alta frecuencia oscilatoria.

- b) *Programar la Paw media 1 o 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba de la MAP:* Por esto el experto quiere decir que programa la Presión Media del respirador de alta frecuencia 1 o 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba del nivel de MAP observado en el respirador convencional.
- c) *Luego paulatinamente se incrementa la Paw, estos cambios los tengo que hacer rápido inicialmente buscando la presión de apertura . Digamos entre 5 y 30 minutos, depende en que parte de la curva nos encontremos. Por supuesto que no dejo de sacar placas para ver la expansión del pulmón, ni los gases en sangre. En realidad me baso en la saturación, y si puedo en la PCV. ‘El experto indica que una vez conectado el paciente al respirador VAFO, se intenta reclutar el pulmón (según la bibliografía), aumentando la presión media “paulatinamente”. También indica un periodo de tiempo, 5 a 30 minutos dependiendo de la curva. Según diversos autores, la presión debe aumentarse con el fin de reclutar el pulmón. Teóricamente, si se observa la curva presión volumen, se podría observar que el punto de cambio de pendiente inferior de la curva corresponde al de apertura de los alvéolos. Este punto se denomina punto de apertura crítico, y el punto que se quiere alcanzar aumentando la presión de la vía aérea.*

Por lo tanto, el pulmón inicialmente no se encuentra reclutado, y luego al aumentar la presión, se llega un momento en el cual se alcanza la presión de apertura pulmonar, momento en el cual el pulmón pasa a estar reclutado.

De estos comentarios surgen preguntas y temas no aclarados que deberá ser preguntados al experto la próxima sesión:

- De que depende que los cambios se hagan en 5 minutos o en 30 minutos?
- A que se refiere con hacer los cambios rápido inicialmente?

La respuesta del experto a la segunda pregunta fue:

***“ ...Trata de decirme lo mas ordenado posible que haces con un paciente que tiene una membrana hialina, y que fue pasado al oscilador.***

*...Bueno, como te decía, primero seteo...bueno primero y antes que todo, tengo preparado al respirador. Antes de pasar al paciente, el oscilador debe estar funcionando. Todo: el humidificador servocontrolado con su guía, el seteo inicial, el circuito paciente, etc. Además el circuito paciente debe estar calibrado. Mira que eso lleva tiempo!!! Entonces seto la frecuencia, el flujo, la presión limite, etc..que ya lo vimos...”*

El experto aclara que existen procedimientos médicos y de enfermería necesarios. El manual del equipo aclara los procedimientos necesarios, y en particular el Htal Garrahan tiene un protocolo que sigue prolijamente antes de conectar un paciente al respirador. Estas tareas están relacionadas no solo con la programación del respirador

antes de conectar el paciente, sino también de calibración del circuito paciente, calentamiento del humidificador, etc.

Luego el experto dice:

*‘Entonces, por ejemplo, digamos que la MAP es de 20 cmH<sub>2</sub>O, entonces el adjust lo programo en 22 cmH<sub>2</sub>O. Antes que eso, ajuste el limite en 30 cmH<sub>2</sub>O aproximadamente. Es lo apropiado porque enseguida tenemos que subir el adjust y te encuentras con al limite. Eso es un dolor de cabeza porque una vez que el paciente esta conectado no puedes saber cual es el valor real del limite si lo tenes que modificar!!!*

*Entonces, lo pasas a HFO. Dependiendo del estado del paciente empezas a hacer cambios. Yo diría cada 30 minutos, pero estuve preguntando como lo hacen en USA y me dijeron que lo hacen cada 5 minutos. Yo creo que depende del paciente, pero tampoco hay que desesperarse!!! El proceso de reclutamiento lleva tiempo. Si tenes gases en sangre en tiempo real, lo puedes hacer tan rápido como quieras!!!!’*

Del manual del respirador Sensormedics 3100 A, se sabe que hay dos controles relacionados con la programación de la presión media de la vía aérea: *Adjust* y *Limit*. El primero de ellos es el que realmente controla la presión media, mientras que el otro funciona como una válvula de seguridad evitando que la presión del circuito paciente se eleve por arriba del valor programado y evitando consecuencias perjudiciales para el paciente.

Entonces el experto, recomienda programar la válvula de *Limit* por lo menos 8 cmH<sub>2</sub>O por arriba del nivel de *Adjust* programado. Sin embargo, el manual del equipo indica que no se tiene display de este control y solo debe programarse inicialmente. Por lo tanto, esta recomendación debería hacerse en la programación inicial.

También habla de los tiempos necesarios para realizar el reclutamiento, pero no quedan claros cuando tomar 5 minutos y cuando tomar 30 minutos.

Luego el experto responde:

***‘Si...entonces, una vez seteada la Paw media que haces?’***

*Incrementas la Paw intentando llegar a la presión de apertura.*

***Y como te das cuenta que llegaste?’***

*Es impresionante como cambian los gases en sangre!!! La saturación es el mejor indicador. Si hay gases en sangre disponibles se puede ver el cambio en la PO<sub>2</sub>, pero no es necesaria para concluir la apertura pulmonar. Lo que pasa es que abris el pulmón. Entonces mejora la relación ventilación percusión. Una vez que llegas lo que queremos es bajar la FIO<sub>2</sub>. Si, bajas la FiO<sub>2</sub> buscando reducir la fracción inspirada de oxígeno que en altas concentraciones es tóxica.*

*Bajas la FiO<sub>2</sub> cuando llegas a la presión de apertura, manteniendo la oxigenación del paciente bien, digamos PO<sub>2</sub> de 50-60 mmHg en una membrana hialina, con una saturación postductal de 88 a 93% o 91% a 96% preductal.*

*Cuando tenes la FiO<sub>2</sub> menor a 40%, por lo menos nosotros, empezas a bajar la MAP. En Estados Unidos lo llevan a 21%!! Acordate que el oxígeno es malo.*

*Entonces, primero en la etapa de reclutamiento, la FIO<sub>2</sub> está en 100%, siempre, y se aumenta la presión para reclutar el pulmón. Luego, cuando el pulmón se encuentra reclutado, se reduce la FIO<sub>2</sub> a 40%. Y luego cuando la FIO<sub>2</sub> es menor a 40%, se reduce la paw.*

*La oxigenación del paciente en el momento del reclutamiento, siempre es mala, hasta que se recluta el pulmón, y entonces la FIO<sub>2</sub> siempre debe ser 100%, estamos en un rescate!. La oxigenación no es buena en el reclutamiento por definición, si es buena, entonces estamos en la etapa de pulmón reclutado!!. Cuando llegamos a la etapa de pulmón reclutado, entonces la oxigenación intentamos que sea siempre buena, pero puede ser mala. Si es mala, hay que observar los espacios intercostales y ver si hay sobredistensión que afecte la hemodinamia del paciente aunque los espacios pueden ser 8, y la hemodinamia puede estar comprometida por otro problema..hemorragias, falta de liquido, etc. Si la oxigenación es buena, entonces hay que ir reduciendo la Paw lentamente*

El experto aclara y asegura que se busca reclutar, y esto se logra aumentando la presión media de la vía aérea. También aclara que se observan los gases en sangre para saber si logro reclutar el pulmón, pero el indicador principal es el monitoreo de saturación. Este concepto es importante, dado que el experto hace referencia a los datos que son necesarios para sacar conclusiones respecto a la programación de la FIO<sub>2</sub> y de la Paw

Luego aclara que el objetivo principal es bajar la fracción inspirada de oxígeno (FIO<sub>2</sub>). Esto es importante porque el oxígeno termina siendo toxico al 100% para el paciente. Es decir, primero se intenta reclutar y una vez que mejoran los gases en sangre, se baja la FIO<sub>2</sub>.

Es decir, el experto intenta bajar la FIO<sub>2</sub> tanto como se pueda manteniendo la saturación mayor a 88 posductal o 91 preductal, o la PO<sub>2</sub> entre 50 a 60 mmHg. Luego, cuando la FO<sub>2</sub> esta en 40% comienza a reducir la presión.

Entonces, las reglas podrían ser:

- Si la saturación postductal es mayor a 88% o la preductal mayor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es buena.
- Si hay gases en sangre y la PO<sub>2</sub> se encuentra entre 50 a 60 mmHg entonces la oxigenación es buena.
- Si la saturación postductal es menor a 88% o la preductal menor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es mala.
- Si hay gases en sangre y la PO<sub>2</sub> es menor a 50 mmHg entonces la oxigenación es mala.
- Si la etapa es reclutamiento, entonces la FIO<sub>2</sub> es 100%

- Si la etapa es reclutamiento de pulmón y la oxigenación es mala entonces aumentar la Paw 2 cmH<sub>2</sub>O respecto al valor anterior.
- Si la etapa es reclutamiento de pulmón y la oxigenación es buena entonces el pulmón se encuentra reclutado.
- Si la FIO<sub>2</sub> es mayor a 40% y la etapa es pulmón reclutado y la oxigenación es buena entonces se debe reducir la FIO<sub>2</sub>.
- Si la FIO<sub>2</sub> es mayor a 40% y la etapa es pulmón reclutado y la oxigenación es Mala entonces se debe evaluar los espacios intercostales del paciente
- Si los espacios intercostales son 8 entonces evaluar hemodinamia de paciente.

Estas reglas serán confirmadas por el experto en futuras sesiones.

***“Para que sacas las placas cada 2 o 6 horas?”***

*Lo que pasa es que el paciente va a modificar su mecánica respiratoria. Si cambia su compliancia, con la misma presión va a tener más expansión del pulmón, lo cual puede producir un volutrauma/barotrauma o afectar la hemodinamia del paciente. Esto es importante, porque si el paciente tiene afectada la oxigenación por la sobredistensión, al bajar la Paw mejorará el intercambio gaseoso.*

*Con las placas te aseguras que no existe sobredistensión. Lo normal es de 8 espacios intercostales. Si la expansión es mayor, obviamente hay que bajar la presión!!!*

Del párrafo anterior surgen algunas dudas importantes,

- De que depende que sean 2 o 6 horas?
- Que pasa si los espacios intercostales son menores a 8?
- Donde se miden los espacios intercostales?

Y podrían escribirse las siguientes reglas preliminares:

- Si los espacios intercostales son mayores a 8 entonces disminuir la presión media.
- Si la oxigenación del paciente es Mala, y la estrategia es Volumen pulmonar Optimo entonces evaluar la cantidad de espacios intercostales del paciente.
- Si la cantidad de espacios intercostales es mayor a 8, entonces reducir la Paw.

***OK, hasta ahora hablamos de la Paw que estaría relacionada con la oxigenación del paciente, que pasa con la ventilación?***

*Bueno, al mismo tiempo que haces los cambios en la Paw tenes que ir cambiando la amplitud. Acá el target, el objetivo es lograr una PaCO<sub>2</sub> que este entre 45 y 55 mmHg. Los cambios de Co<sub>2</sub> son muy rápidos y en general no constituye un problema. El dato clínico mas importante es la vibración del pecho. Esto es importante porque los gases en sangre no siempre están disponibles y hay suficiente datos clínicos que dicen que si la vibración del pecho es visible, entonces el delta P es correcto. Si hay gases es obvio que se usa la PCO<sub>2</sub>.*

*La vibración es importante porque si no se observa a pesar de aumentar el delta P, puede haber secreciones en el tubo endotraqueal que dificultan la ventilación”*

El experto aclara que la ventilación se logra por medio del delta P. Esto también esta descrito en la bibliografía consultada. El objetivo es lograr que la PCO<sub>2</sub> se encuentre en el rango entre 45 a 55 mmHg, es decir podríamos escribir las siguientes reglas preliminares,

- Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO<sub>2</sub> es menor a 45 mmHg entonces disminuir el Delta P
- Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO<sub>2</sub> es mayor a 55 mmHg entonces aumentar el Delta P.
- Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y existe vibración del pecho entonces no modificar el delta P.
- Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y no existe vibración del pecho entonces aumentar delta P
- Si al aumentar el delta P no se observa vibración del pecho, entonces evaluar posibilidad de secreciones o tubo et tapado.

Finalmente el experto responde:

***Y luego que?***

*Si todo sale bien, viene el destete o la salida de alta frecuencia para ir a un respirador convencional. Vas bajando la MAP, tenes la FIO<sub>2</sub> menor a 40% y el delta P es insignificante, entonces es como un CPAP. Obviamente no vas a tener conectado un paciente en un respirador que cuesta miles de dólares si podes hacer CPAP con un sistema simple, entonces lo desconectas o lo pasas a un respirador convencional que te de monitoreo*

El experto había aclarado que el objetivo principal en la estrategia de VPO cuando se reclutaba el pulmón era reclutar el pulmón aumentando la presión en la vía aérea del paciente. Luego si se llegaba a la presión de apertura, los valores

monitorizados de saturación mejoraban drásticamente pasábamos a otra etapa, pulmón reclutado. Entonces el operador debía reducir el nivel de FIO<sub>2</sub> porque este es tóxico.

En este ultimo párrafo el experto aclara que la cuando la FIO<sub>2</sub>, Paw y delta P son inferiores a determinado valor predefinido, se realiza el destete o se pasa el paciente a un respirador convencional.

No queda claro cuales son los valores de Paw y de delta P. Por tal motivo deberá preguntársele al experto en la siguiente sesión

- Cual es el valor mínimo de Paw para destetar al paciente del respirador VAFO?
- Cual es el valor mínimo de delta P para destetar al paciente del respirador VAFO?

---

### **Resumen de la sesión**

#### **Preguntas pendientes para la próxima sesión**

- De que depende que los cambios de programación del respirador se hagan en 5 minutos o en 30 minutos?
- Como sabe el experto en que parte de la curva presión volumen se encuentra?
- A que se refiere con hacer los cambios de programación del respirador rápido inicialmente?
- De que depende que los tiempos para sacar placas varíen entre 2 o 6 horas?
- Que pasa si los espacios intercostales que se observan en las placas radiográficas son menores a 8? Donde y como se miden?
- Cual es el valor mínimo de Paw para destetar al paciente del respirador VAFO?
- Cual es el valor mínimo de delta P para destetar al paciente del respirador VAFO?

Además quedan por aclarar las siguientes cuestiones

- a) Como se setea inicialmente el delta P?
- b) Que pasa si el usuario del respirador aumenta la presión y no logra el reclutamiento?
- c) Cuales son los procedimientos que realiza el cuerpo medico antes de conectar un paciente al oscilador?

#### **Reglas preliminares**

- Si la FIO<sub>2</sub> es mayor a 40% y la saturación postductal es mayor a 88% o la preductal mayor a 91% o la PO<sub>2</sub> se encuentra entre 50 a 60 mmHg y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces reducir la FIO<sub>2</sub>.

- Si la FIO<sub>2</sub> es menor a 40% y la saturación postductal es mayor a 88% o la PO<sub>2</sub> se encuentra entre 50 a 60 mmHg y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces reducir la presión.
- Si la FIO<sub>2</sub> es 100% y la saturación postductal es menor a 88% o la PO<sub>2</sub> no se encuentra en el rango entre 50 a 60 mmHg y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces aumentar la presión media.
- Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO<sub>2</sub> es menor a 45 mmHg entonces disminuir el Delta P
- Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO<sub>2</sub> es mayor a 55 mmHg entonces aumentar el Delta P.
- Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y existe vibración del pecho entonces no modificar el delta P.
- Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y no existe vibración del pecho entonces aumentar delta P
- Si al aumentar el delta P no se observa vibración del pecho, entonces evaluar posibilidad de secreciones o tubo et tapado.
- Si la saturación postductal es mayor a 88% o la preductal mayor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es buena.
- Si hay gases en sangre y la PO<sub>2</sub> se encuentra entre 50 a 60 mmHg entonces la oxigenación es buena.
- Si la saturación postductal es menor a 88% o la preductal menor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es mala.
- Si hay gases en sangre y la PO<sub>2</sub> es menor a 50 mmHg entonces la oxigenación es mala.
- Si la etapa es reclutamiento, entonces la FIO<sub>2</sub> es 100%
- Si la etapa es reclutamiento de pulmón y la oxigenación es mala entonces aumentar la Paw 2 cmH<sub>2</sub>O respecto al valor anterior.
- Si la etapa es reclutamiento de pulmón y la oxigenación es buena entonces el pulmón se encuentra reclutado.
- Si la FIO<sub>2</sub> es mayor a 40% y la etapa es pulmón reclutado y la oxigenación es buena entonces se debe reducir la FIO<sub>2</sub>.
- Si la FIO<sub>2</sub> es mayor a 40% y la etapa es pulmón reclutado y la oxigenación es Mala entonces se debe evaluar los espacios intercostales del paciente
- Si los espacios intercostales son 8 entonces evaluar hemodinamia de paciente.

Las etapas mas importantes de la estrategia de Volumen Pulmonar Óptimo son:

1. Determinar la etapa reclutamiento o reclutado.
2. Determinar la oxigenación del paciente
3. Determinar la ventilación del paciente

4. Dar recomendación de la programación del respirador.

Queda claro que la oxigenación del paciente está determinada por los siguientes parámetros:

- Presión Media en la vía aérea, Paw: Se refiere a la presión de gas en la vía aérea del paciente.
- Fracción Inspirada de Oxígeno, FiO<sub>2</sub>: El respirador tiene la posibilidad de mezclar oxígeno y aire, esta mezcla da como resultado un gas que posee una concentración mínima de oxígeno del 21% y máxima del 100%.
- Saturación venosa: se refiere a la cantidad de hemoglobina combinada con oxígeno en sangre.
- Presión Parcial de Oxígeno, PO<sub>2</sub>: Se refiere a la presión parcial del gas oxígeno en sangre. Este dato es parte del análisis de gases en sangre del paciente.

Por otro lado, se determinó que la oxigenación puede ser buena o mala dependiendo del conjunto de parámetros antes mencionado.

La ventilación está determinada por los siguientes parámetros;

- Delta P: diferencia de presión oscilatoria aplicada en la vía aérea del paciente al nivel del tubo endotraqueal. Está indicada en cmH<sub>2</sub>O.
- Vibración del pecho: se refiere a la vibración visible del tórax debido a la oscilación generada por el respirador.
- Presión parcial de Dióxido de Carbono, PCO<sub>2</sub>: dato obtenido de los gases en sangre que indica la presión parcial del gas en sangre.

Luego, al igual que la oxigenación, la ventilación puede ser buena o mala dependiendo de los conceptos mencionados.

Finalmente otro concepto es la hemodinamia del paciente. Por el momento no aparecen datos o atributos para concluir el estado de la misma.

Todos los conceptos se podrán observar en el glosario.

---

## **Conclusiones generales de la sesión 2.**

Los objetivos planteados inicialmente para esta sesión eran:

- Determinar cuales son las estrategias utilizadas en HFOV
- Determinar en que se basan las estrategias definidas
- Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores

El experto aclaró que existen dos tipos de estrategias que se utilizan en Argentina. Las estrategias son: estrategia de volumen pulmonar óptimo, y estrategia de volumen pulmonar mínimo.

Luego el experto respondió preguntas relacionadas con una de las estrategias, volumen pulmonar óptimo.

Por lo tanto, el primer objetivo estaría cumplido, sin embargo el segundo no, dado que no se han determinado las bases de las estrategias, solamente se han educido conocimientos y las bases de una de las estrategias y no se han mencionado las diferencias importantes entre las mismas.

Sin embargo, en la próxima sesión se intentará seguir con la primer estrategia para no confundir al experto, es decir, seguiremos preguntando sobre cuestiones que han surgido de la entrevista para ahondar en la educación de conocimientos de una de las estrategias que tratará el sistema experto.

La satisfacción del segundo objetivo quedará pendiente para la cuarta sesión.

## **Tercer Sesión**

### **Preparación de la sesión (numero 3)**

**Información a tratar:** Estrategias de ventilación en VAFO: Volumen pulmonar óptimo.

**Amplitud:** Se quiere determinar algunos puntos que no han quedado claros en la sesión anterior, con el fin de clarificar y educir mas conocimientos relacionado con la estrategia de volumen pulmonar optimo y obtener nuevos conceptos.

**Técnica Adecuada:** Entrevista estructurada.

### **Preparación de las preguntas:**

Los objetivos son:

- Determinar y aclarar cuestiones relacionadas con la estrategia de volumen pulmonar óptimo.
- Determinar en que se basa la estrategia definida.
- Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores

Las preguntas serán ordenas de manera de que tengan una secuencia lógica. Se plantea preguntar en función de los conocimientos estratégicos deducidos en la sesión 2, es decir las preguntas estarán orientadas a los pasos que realiza el experto.

- a. Cuales son los procedimientos que realiza el cuerpo medico antes de conectar un paciente al oscilador?
- b. En la sesión anterior dijimos como se programaba la paw, la FiO2, etc, pero no dijimos nada de la programación inicial del delta P. Como se programa inicialmente el delta P?
- c. De que depende que los cambios de programación del respirador se hagan en 5 minutos o en 30 minutos?
- d. Como sabe el experto en que parte de la curva presión volumen se encuentra?
- e. A que se refiere con hacer los cambios de programación del respirador rápido inicialmente?
- f. Que pasa si el usuario del respirador aumenta la presión y no logra el reclutamiento?
- g. De que depende que los tiempos para sacar placas varíen entre 2 o 6 horas?
- h. Que pasa si los espacios intercostales que se observan en las placas radiográficas son menores a 8? Y como se miden?

- i. Cual es el valor mínimo de Paw para destetar al paciente del respirador VAFO?
- j. Cual es el valor mínimo de delta P para destetar al paciente del respirador VAFO?
- k. Podría corregir la siguiente afirmación? Las etapas mas importantes de la estrategia de Volumen Pulmonar Óptimo son:
  - Determinar la etapa reclutamiento o reclutado.
  - Determinar la oxigenación del paciente
  - Determinar la ventilación del paciente
  - Dar recomendación de la programación del respirador.

De esta forma las preguntas que se habían generado de la segunda sesión quedan ordenadas en función de los pasos establecidos por el mismo experto en la misma sesión.

### **Transcripción Sesión 3.**

---

#### **Adquisición de conocimientos.**

**Técnica: Entrevista estructurada.**

**Experto: Dra. Diana Fariña**

**Ingeniero en Conocimiento: Facundo Bermejo**

**Lugar: Universidad Austral. Laboratorio de experimentación.**

**Día: 11 de Diciembre del 2001**

**Número de Sesión: 3**

**Duración: 50 minutos**

#### **Objetivos:**

- **Determinar y aclarar cuestiones relacionadas con la estrategia de volumen pulmonar óptimo.**
- **Determinar en que se basa la estrategia definida.**
- **Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores**

**IC: Cuales son los procedimientos que realiza el cuerpo médico antes de conectar un paciente al oscilador?**

**EX:** Enfermería debería tener preparado un circuito paciente, que no es un circuito convencional, es totalmente diferente, esterilizado y preparado para ser utilizado. Se instala el circuito paciente, se conecta el respirador a los gases, y luego se siguen una serie de pasos preestablecidos, si quieres te los doy...pero básicamente son para la calibración del circuito paciente y del pistón.

Luego hay que pre-programar el respirador, no hay que esperar a conectar al paciente para hacerlo!!. Esto se hace después de la calibración. Todos los procedimientos te los puedo dar y están en el manual del equipo.

**IC: Como se Programa inicialmente el delta P?**

**EX:** El dato más importante es el dato clínico, que en este caso es la vibración del Pecho. El delta P debe programarse de manera que se observe una clara vibración del pecho, incluso pueden llegar a vibrar los muslos del paciente. Después el dato más importante es la PCO<sub>2</sub>. Es decir, inicialmente se utiliza el dato clínico, vibración del pecho, luego se esperan los gases en sangre para estar seguros de que la ventilación es apropiada.

Entonces primero se teas el respirador con la FIO<sub>2</sub> en 100%, la Paw dos puntos por arriba, frecuencia en 15 hz o 10 Hz dependiendo del peso, tiempo inspiratorio en 33%, y el delta P hasta ver la vibración del pecho.

**IC: Y el flujo base?**

**EX:** Nosotros lo seteamos en 20 LPM, pero depende de la institución.

**IC: De que depende que los cambios de programación del respirador se hagan en 5 minutos o en 30 minutos?**

**EX:** Básicamente depende del estado del paciente, cuanto mas delicado sea el estado del mismo mas rápido se deberán hacer los cambios. Esto no significa que debemos cambiar todos los controles todo el tiempo, en VAFO los cambios suelen ser rápidos, entonces si tenemos gases en sangre, un buen monitoreo hemodinámico y placas radiográficas, no hay que esperar si el medico sabe que la programación no es la apropiada.

Quando el paciente se encuentra estable, se realizan cambios cada 30 minutos o mas, especialmente en la fase de destete, es decir en la fase en la cual estamos bajando la Paw y la FiO<sub>2</sub> ya esta reducida a 40%.

**IC: Como sabe el experto en que parte de la curva presión volumen se encuentra?**

**EX:** En el momento en que se llega al punto critico de apertura, se observa claramente un mejoramiento en la oxigenación. Esto sucede porque cuando uno logra reclutar buen parte del tejido pulmonar, y en consecuencia mejora la relación ventilación perfusión debido al aumento de la superficie de intercambio gaseoso.

**IC: Es decir que nos damos cuenta en que parte de la curva de *presión* estamos observando la oxigenación?**

**EX:** Si!, es que no hay otra manera...a medida que se aumento la presión, aumento el volumen que ese pulmón tenia, pero no podemos saber cuanto entró...por esa razón nuestro indicador es la oxigenación. La saturación resulta el mejor indicador por su rapidez, pero siempre es mejor observar los gases en sangre...posteriormente.

**IC: A que se refiere con hacer los cambios de programación del respirador rápido inicialmente?**

**EX:** Es lo que te decía antes, si el paciente esta siendo rescatado es obvio que no esta muy bien, y por eso debemos hacer los cambios lo mas rápido posible...

**IC: Que pasa si el usuario del respirador aumenta la presión y no logra el reclutamiento?**

**EX:** Si aumentamos la presión y esto comprime el corazón alterando la hemodinámica del paciente, estamos ante la falla de la VAFO...Debe quedar claro que aquí no tenemos solo al paciente con un problema en el sistema pulmonar. A medida que modificamos la programación del respirador de debemos dejar de lado el monitoreo de otros parámetros que también afectan directamente la oxigenación de los tejidos.

**IC: De que depende que los tiempos para sacar placas varíen entre 2 o 6 horas?**

**EX:** Del estado del paciente, del pronostico del paciente...depende...la idea es tener un dato que nos indique como esta reclutado el pulmón. Si la oxigenación es mala, y estamos en la etapa de pulmón reclutado, entonces hay que ver si por modificaciones de la complicancia del pulmón, existe una sobredistensión. Si tenemos mas de 8 espacios intercostales, que se miden en la línea medio clavicular, del lado del hígado, entonces estamos ante un caso de sobredistensión y hay que reducir la presión. Si no hay mas de 8 espacios, podríamos aumentar la presión para lograr un adecuado reclutamiento...

**IC: Que pasa si los espacios intercostales que se observan en las placas radiográficas son menores a 8 y la oxigenación no es apropiada?**

**EX:** Si son menos de 8 espacios, entonces si la presión te lo permite y el estado hemodinámico también, podrías subir la presión para mejorar el volumen pulmonar del paciente.

**IC: Cual es el valor mínimo de Paw para destetar al paciente del respirador VAFO?**

**EX:** El respirador no permite programar la Paw por debajo de 5 cmH<sub>2</sub>O. Para esos momentos el medico debió haberse planteado destetar el paciente o pasarlo a ventilación convencional. Sin embargo el valor que determina el destete del oscilador no es la Paw sino el delta P.

**IC: Cual es el valor mínimo de delta P para destetar al paciente del respirador VAFO?**

**EX:** El respirador no permite programar el delta P por debajo de 7 cmH<sub>2</sub>O, que es prácticamente nada.

**IC: Podría corregir la siguiente afirmación? Las etapas mas importantes de la estrategia de Volumen Pulmonar Óptimo son:**

- **Determinar la etapa reclutamiento o reclutado.**
- **Determinar la oxigenación del paciente**
- **Determinar la ventilación del paciente**
- **Dar recomendación de la programación del respirador.**

**EX:** Sí, estoy de acuerdo. La oxigenación y la ventilación en VAFO no están relacionadas, por lo tanto no importa el orden en que se ejecuten. Lo importante es ver el estado del paciente, oxigenación y ventilación para luego recomendar la programación del respirador. La programación incluye cambios en la oxigenación y en la ventilación e incluso en la hemodinamia del paciente. Respecto a la oxigenación, son los controles del respirador Paw, y FIO<sub>2</sub>, y para la ventilación, Delta P. Hay otros controles pero no se tocan...por ahora no hay investigación que determine que cambios en el resto de los controles mejore la oxigenación o la ventilación. Esto es diferente en pediatría o adultos.

---

## **Análisis**

La respuesta del experto a la primera pregunta fue:

### ***Cuales son los procedimientos que realiza el cuerpo medico antes de conectar un paciente al oscilador?***

*Enfermería debería tener preparado un circuito paciente, que no es un circuito convencional, es totalmente diferente, esterilizado y preparado para ser utilizado. Se instala el circuito paciente, se conecta el respirador a los gases, y luego se siguen una serie de pasos preestablecidos, si quieres te los doy...pero básicamente son para la calibración del circuito paciente y del pistón.*

*Luego hay que pre-programar el respirador, no hay que esperar a conectar al paciente para hacerlo!!. Esto se hace después de la calibración. Todos los procedimientos te los puedo dar y están en el manual del equipo.*

El servicio de terapia intensiva neonatal del Htal tiene una guía que se debe seguir antes de la conexión del paciente al respirador. A continuación se muestra la transcripción de la guía:

Pasos a seguir para la conexión del paciente al respirador.

1. Conectar a fuentes de presión de aire y oxígeno (3.5 Kg/cm<sup>2</sup>)
2. Conectar el respirador a la alimentación eléctrica, 220V
3. Chequear visualmente el circuito paciente completo
4. Conectar el tapón en la Y paciente
5. Encender el respirador
6. Chequear que las alarmas se encuentran inactivas
7. Chequear que la luz "start/stop" este apagada
8. Realizar la calibración del circuito
  - a. Girar los controles de *Limit* y *Adjust* al máximo en sentido horario
  - b. Asegurar un flujo base de 20 LPM
  - c. Presionar y mantener presionado el botón de Reset.
  - d. Observar el monitoreo de presión media en la vía aérea.
  - e. Ajustar el tornillo de calibración del circuito paciente hasta lograr que a presión se encuentre en el rango de 39 a 43 cmH<sub>2</sub>O.
9. Realizar el chequeo de funcionamiento del respirador
  - a. Asegurar un flujo de 20 LPM
  - b. Girar el control de Adjust hasta lograr 19-21 cmH<sub>2</sub>O
  - c. Programar:
    - i. Frecuencia: 15 Hz

- ii. Tiempo inspiratorio: 33%
- iii. Power : 6.
- d. Presionar Start
- e. Asegurarse que se observan las siguientes medidas:
  - i. Presión media en la vía aérea: 15-23 cmH<sub>2</sub>O
  - ii. Delta P: 56-75 cmH<sub>2</sub>O

- 10. Realizar la programación inicial del respirador.
- 11. Cuando se encuentre listo, desconecte el tapón y conecte el tubo endotraqueal del paciente al circuito paciente.

El experto aclaró que únicamente el punto 10 presenta diferencias entre estrategias.

### ***Como se Programa inicialmente el delta P?***

*El dato mas importante es el dato clínico, que en este caso es la vibración del Pecho. El delta P debe programarse de manera que se observe una clara vibración del pecho, incluso pueden llegar a vibrar los muslos del paciente. Después el dato más importante es la PCO<sub>2</sub>. Es decir, inicialmente se utiliza el dato clínico, vibración del pecho, luego se esperan los gases en sangre para estar seguros de que la ventilación es apropiada.*

*Entonces primero se tean el respirador con la FIO<sub>2</sub> en 100%, la Paw dos puntos por arriba, frecuencia en 15 hz o 10 Hz dependiendo del peso, tiempo inspiratorio en 33%, y el delta P hasta ver la vibración del pecho.*

### ***Y el flujo base?***

*Nosotros lo seteamos en 20 LPM, pero depende de la institución.*

Entonces el punto numero 10 mencionado anteriormente podría detallarse de la siguiente manera para la estrategia volumen pulmonar óptimo:

- 10. Realizar la programación inicial del respirador.
  - a) Programar el flujo base en 20 LPM
  - b) Programar la FIO<sub>2</sub> en 100%
  - c) Programar el tiempo inspiratorio en 33%
  - d) Si el paciente pesa menos de 1000 grs entonces setear la frecuencia en 15 Hz. Si el paciente pesa mas de 1000 grs entonces setear la frecuencia en 10 Hz

- e) Programar la Paw 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba de la presión media que el paciente tenía en el respirador convencional.
- f) Programar el Power hasta observar vibración del pecho.

***De que depende que los cambios de programación del respirador se hagan en 5 minutos o en 30 minutos?***

*Básicamente depende del estado del paciente, cuanto mas delicado sea el estado del mismo mas rápido se deberán hacer los cambios. Esto no significa que debemos cambiar todos los controles todo el tiempo, en VAFO los cambios suelen ser rápidos, entonces si tenemos gases en sangre, un buen monitoreo hemodinámico y placas radiográficas, no hay que esperar si el medico sabe que la programación no es la apropiada.*

*Cuando el paciente se encuentra estable, se realizan cambios cada 30 minutos o mas, especialmente en la fase de destete, es decir en la fase en la cual estamos bajando la Paw y la FiO<sub>2</sub> ya esta reducida a 40%.*

Indudablemente el experto observa el estado del paciente, y si este no se encuentra estable, entonces realiza cambios en la programación del respirador. Dado que el paciente se encontraba en un respirador convencional con un mal pronóstico, razón por la cual se realiza el cambio a VAFO, es probable que inicialmente se realicen cambios en el respirador de VAFO para realizar el rescate lo mas rápido posible.

De esto surge una pregunta relacionada con el sistema. Si el sistema recomienda una programación dada sobre el respirador, es importante saber cuanto tiempo ha transcurrido desde la ultima programación? O únicamente importa el estado del paciente?

De lo antes expuesto parecería que interesa el estado del paciente, pero sería apropiado preguntarle al experto sobre este tema. En la próxima sesión se realizará la pregunta relacionada con este tema.

***Como sabe el experto en que parte de la curva presión volumen se encuentra?***

*En el momento en que se llega al punto critico de apertura, se observa claramente un mejoramiento en la oxigenación. Esto sucede porque cuando uno logra reclutar buen parte del tejido pulmonar, y en consecuencia mejora la relación ventilación perfusión debido al aumento de la superficie de intercambio gaseoso.*

***Es decir que nos damos cuenta en que parte de la curva de presión estamos observando la oxigenación?***

*Si!, es que no hay otra manera...a medida que se aumento la presión, aumento el volumen que ese pulmón tenía, pero no podemos saber cuanto entró...por esa razón nuestro indicador es la oxigenación. La saturación resulta el mejor indicador por su rapidez, pero siempre es mejor observar los gases en sangre...*

Queda claro que el experto siempre observa la oxigenación, en realidad la saturación, para observar si la presión es adecuada y no el volumen. Con esto se confirma que para saber si se ha llegado a la presión crítica de apertura se observa un cambio abrupto en la saturación del paciente. Esto obliga al sistema a tener datos de saturación anteriores para saber que tan abrupto ha sido el cambio en la oxigenación. Además es necesario preguntarle al experto que tan abrupto es el cambio.

***Que pasa si el usuario del respirador aumenta la presión y no logra el reclutamiento?***

*Si aumentamos la presión y esto comprime el corazón alterando la hemodinámica del paciente, estamos ante la falla de la VAFO...*

Dado que el tratamiento no es infalible, debe establecerse un criterio de falla. Aquí el experto deja en claro que si no se ha alcanzado la presión crítica de apertura, y en consecuencia la oxigenación del paciente no es apropiada, el operador estará obligado a aumentar la presión media en la vía aérea. Sin embargo, si el aumento de presión afecta la hemodinámica del paciente lamentablemente el tratamiento ha fallado.

En la próxima sesión se deberá preguntar como se evalúa la hemodinamia del paciente.

***De que depende que los tiempos para sacar placas varíen entre 2 o 6 horas?***

*Del estado del paciente, del pronostico del paciente...depende...la idea es tener un dato que nos indique como esta reclutado el pulmón. Si la oxigenación es mala, y estamos en la etapa de pulmón reclutado, entonces hay que ver si por modificaciones de la complicancia del pulmón, existe una sobredistensión. Si tenemos mas de 8 espacios intercostales, que se miden en la línea medio clavicular, del lado del hígado, entonces estamos ante un caso de sobredistensión y hay que reducir la presión. Si no hay mas de 8 espacios, podríamos aumentar la presión para lograr un adecuado reclutamiento...*

***Que pasa si los espacios intercostales que se observan en las placas radiográficas son menores a 8 y la oxigenación no es apropiada?***

*Si son menos de 8 espacios, entonces si la presión te lo permite y el estado hemodinámico también, podrías subir la presión para mejorar el volumen pulmonar del paciente.*

Aquí el experto completa las reglas adquiridas en la sesión anterior respecto a las placas radiográficas. La regla es:

- Si la oxigenación es mala y la etapa es reclutado, entonces evaluar los espacios intercostales.
- Si los espacios intercostales observados en la placa radiográfica son menores a 8, entonces hay subdistensión, aumentar la Paw 2 cmH<sub>2</sub>O.
- Si los espacios intercostales observados en la placa radiográfica son mayores a 8, entonces hay sobredistensión, disminuir la Paw.

***Cual es el valor mínimo de Paw para destetar al paciente del respirador VAFO?***

*El respirador no permite programar la Paw por debajo de 5 cmH<sub>2</sub>O. Para esos momentos el medico debió haberse planteado destetar el paciente o pasarlo a ventilación convencional. Sin embargo el valor que determina el destete del oscilador no es la Paw sino el delta P.*

El rango de presión programable permitida es superior a 5.

Luego se pregunta,

***“Cual es el valor mínimo de delta P para destetar al paciente del respirador VAFO?”***

*El respirador no permite programar el delta P por debajo de 7 cmH<sub>2</sub>O, que es prácticamente nada.”*

El experto con esto confirma que en realidad, el proceso de destete del respirador de alta frecuencia no es la Paw sino el delta P. Es decir, el tratamiento de la Paw sin oscilaciones no presenta diferencias respecto al conocido modo CPAP. Entonces de aquí surge la regla:

- Si el delta P recomendado es menor a 8 cmH<sub>2</sub>O recomendar destete.

De la última pregunta parece desprenderse otro concepto, recomendación. Este concepto tiene como atributos los controles del respirador que afectan directamente el estado del paciente.

---

**Resumen de la sesión**

**Preguntas pendientes para la próxima sesión**

Luego del análisis realizado, parecería que el experto se plantea 3 objetivos:

- Determinar el estado de la oxigenación del paciente.
- Determinar el estado de la ventilación del paciente
- Determinar (si es necesario) el estado de la hemodinamia del paciente.

Queda claro que ante un determinado estado de oxigenación del paciente, el experto realiza cambios en la programación de dos controles para modificar (si es necesario) el estado mencionado:

- FIO<sub>2</sub>.
- Paw.

Por otro lado, el estado ventilatorio del paciente, es modificado ( si es necesario) un control del respirador:

- Delta P (control de Power del respirador)

Todavía no esta claro como controla la hemodinámia, ni como se evalúa su estado. Si se ha determinado que en caso de mala oxigenación y en VPO en la etapa de reclutado y los espacios intercostales son 8, es necesario evaluar la hemodinamia del paciente. Esto constituye una regla mas:

- Si la oxigenación del paciente es mala, y la estrategia es VPO, y la etapa es reclutado y los espacios intercostales son 8 entonces evaluar la hemodinamia del paciente.

Además, se sabe que el experto monitoriza la PO<sub>2</sub> y la saturación para concluir respecto a la oxigenación del paciente. De la misma manera, el experto monitoriza la PCO<sub>2</sub> y la vibracion del pecho para concluir respecto a la ventilación, esto fue detallado en el análisis de la sesión numero 2. No esta claro que observa para saber como se encuentra la hemodinámia del paciente.

Las placas radiográficas permitirían saber si se produce sobredistención de los pulmones debido a la presión aplicada. Esto indirectamente acusaría un problema en la hemodinamia del paciente debido a la presión que generan los pulmones sobre la bomba cardiaca.

Entonces en la próxima sesión se intentará obtener información respecto a los atributos de la hemodinamia del paciente.

Sin embargo parecería que los conceptos mas importantes en el dominio de aplicación y la resolución de la tarea del experto son: paciente, oxigenación, ventilación, y hemodinamia.

Entonces se proponen las siguientes preguntas para la próxima entrevista:

1. Como evalúa Ud la hemodinamia del paciente? Que monitoriza para saber el estado hemodinámica del paciente?
2. Como controla la hemodinámia del paciente?
3. Concentrémonos nuevamente en los tiempos en que usted realiza cambios en la programación del respirador. No me ha quedado claro si para usted observa continuamente al paciente y realiza los cambios en el respirador en función del estado del paciente. O cumple con tiempos determinados para tomar decisiones respecto al cambio de programación del respirador?

Luego se le preguntará si esta de acuerdo con los conceptos: oxigenación, ventilación y hemodinamia del paciente. También se le preguntará si los controles del respirador asociados son correctos y completos (están todos).

Se estima que la respuesta de estas preguntas será rápida, por lo que se pasará a la próxima estrategia, escapes de aire. Las preguntas serán:

1. Cuales son las diferencias mas importantes que se encuentran entre las estrategias respecto a la programación del respirador?
2. Existen otros parámetros que se deben monitorizar distintos a los que utilizamos en la estrategia anterior?
3. Existen parámetros que se monitorizan en volumen óptimo que no es necesario monitorizar en escapes de aire?
4. Cuales son las patologías de escape de aire?

### **Reglas preliminares**

- Si la oxigenación del paciente es mala, y la estrategia es VPO, y la etapa es reclutado y los espacios intercostales son 8 entonces evaluar la hemodinamia del paciente.
- Si el delta P a programar menor a 8 cmH<sub>2</sub>O entonces recomendar el destete del paciente.

### **Algunos conocimientos obtenidos...**

Los procedimientos de enfermería necesarios antes de la conexión del paciente al respirador son:

1. Conectar a fuentes de presión de aire y oxígeno (3.5 Kg/cm<sup>2</sup>)
2. Conectar el respirador a la alimentación eléctrica, 220V
3. Chequear visualmente el circuito paciente completo
4. Conectar el tapón en la Y paciente
5. Encender el respirador
6. Chequear que las alarmas se encuentran inactivas
7. Chequear que la luz "start/stop" este apagada
8. Realizar la calibración del circuito
  - a. Girar los controles de *Limit* y *Adjust* al máximo en sentido horario
  - b. Asegurar un flujo base de 20 LPM
  - c. Presionar y mantener presionado el botón de Reset.
  - d. Observar el monitoreo de presión media en la vía aérea.
  - e. Ajustar el tornillo de calibración del circuito paciente hasta lograr que a presión se encuentre en el rango de 39 a 43 cmH<sub>2</sub>O.
9. Realizar el chequeo de funcionamiento del respirador

- a. Asegurar un flujo de 20 LPM
- b. Girar el control de Adjust hasta lograr 19-21 cmH<sub>2</sub>O
- c. Programar:
  - i. Frecuencia: 15 Hz
  - ii. Tiempo inspiratorio: 33%
  - iii. Power : 6.
- d. Presionar Start
- e. Asegurarse que se observan las siguientes medidas:
  - i. Presión media en la vía aérea: 15-23 cmH<sub>2</sub>O
  - ii. Delta P: 56-75 cmH<sub>2</sub>O

10. Realizar la programación inicial del respirador.

- a) Programar el flujo base en 20 LPM
- b) Programar la FIO<sub>2</sub> en 100%
- c) Programar el tiempo inspiratorio en 33%
- d) Si el paciente pesa menos de 1000 grs entonces programar la frecuencia en 15 Hz. Si el paciente pesa mas de 1000 grs entonces programar la frecuencia en 10 Hz
- e) Programar la Paw 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba de la presión media que el paciente tenia en el respirador convencional
- f) Programar el Power hasta observar la vibración del pecho.

11. Cuando se encuentre listo, desconecte el tapón y conecte el tubo endotraqueal del paciente al circuito paciente.

### **Conclusiones.**

Objetivos:

- Determinar y aclarar cuestiones relacionadas con la estrategia de volumen pulmonar optimo.
- Determinar en que se basa la estrategia definida.
- Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores

Se han aclarado las preguntas pendientes de la sesión anterior, y también se han adquirido los conocimientos que determinan las bases de la estrategia *volumen pulmonar óptimo*. También se han determinado nuevos conceptos y se han clarificado conceptos anteriores.

Luego del análisis de la sesión 3, han quedado algunas preguntas pendientes que serán clarificadas en la próxima sesión.

Por lo antes expuesto se han cumplido los objetivos planteados en la sesión anterior.



## **Sesión 4**

### **Preparación de la sesión (numero 4)**

**Información a tratar:** Estrategias de ventilación en VAFO: Volumen pulmonar Optimo y Volumen Pulmonar Mínimo

**Amplitud:** Se quiere determinar algunos puntos que no han quedado claros en la sesión anterior, con el fin de clarificar y educir mas conocimientos relacionados con la estrategia de volumen pulmonar optimo y obtener nuevos conceptos de la estrategia volumen pulmonar mínimo. Además se intentará comprobar y verificar las reglas y conocimientos obtenidos.

**Técnica Adecuada:** Entrevista estructurada.

### **Preparación de las preguntas:**

Los objetivos son:

- Determinar y aclarar cuestiones relacionadas con la estrategia de volumen pulmonar óptimo
- Verificar los conocimientos obtenidos (conceptos, atributos, reglas, etc)
- Determinar nuevos conceptos y clarificar los anteriores.

En función de esto, y del análisis de la sesión anterior, las preguntas que se realizarán luego de la observación de tareas habituales son;

1. Como evalúa Ud la hemodinamia del paciente? Que monitorea para saber el estado hemodinámico del paciente?
2. Como controla la hemodinámia del paciente?
3. Concentrémonos nuevamente en los tiempos en que usted realiza cambios en la programación del respirador. No me ha quedado claro si para usted observa continuamente al paciente y realiza los cambios en el respirador en función del estado del paciente. O cumple con tiempos determinados para tomar decisiones respecto al cambio de programación del respirador?
5. Cuales son las diferencias mas importantes que se encuentran entre las estrategias respecto a la programación del respirador?
6. Existen otros parámetros que se deben monitorizar distintos a los que utilizamos en la estrategia anterior?
7. Existen parámetros que se monitorizan en volumen óptimo que no es necesario monitorizar en escapes de aire?

8. Cuales son las patologías de escape de aire?

En función de la respuesta del experto se realizarán preguntas en forma espontánea para completar la respuesta, si es que esto fuese necesario.

---

## **Transcripción Sesión 4**

---

### **Adquisición de conocimientos.**

**Técnica: Entrevista estructurada.**

**Experto: Dra. Diana Fariña**

**Ingeniero en Conocimiento: Facundo Bermejo**

**Lugar: Hospital Garrahan. Buenos Aires.**

**Día: 18 de Diciembre de 2001**

**Número de Sesión: 4**

**Duración: 50 minutos**

**IC: Como evalúa Ud la hemodinamia del paciente? Que monitoriza para saber el estado hemodinámica del paciente?**

**EX:** La hemodinamia del paciente se observa por medio de parámetros monitorizados, y por medio de datos clínicos. Por ejemplo, si para comprobar la estabilidad hemodinámica, se presiona el esternón del paciente y se observa cuanto tiempo lleva el relleno capilar, en general debería ser cercano a los 5 segundos. Otro dato clínico es la temperatura de los pies y el color del paciente. La presión arterial debe mantenerse dentro de los valores normales...te recuerdo que esos valores normales varían día a día. Los neonatos tiene valores de Presión arterial que dependen del peso, y de la edad gestacional. Luego la diuresis de las últimas horas daría una idea del filtrado renal...creo que es importante preguntar si es normal. Estos datos son muy conocidos en terapia intensiva...para el sistema que estas por hacer yo creo que lo mejor es simplemente que le preguntes al medico si el paciente se encuentra estable hemodinámicamente.

**IC: Y que parámetros se monitorizan?**

**EX:** Los datos mas importantes son, la presión arterial, la diuresis de las últimas horas, la temperatura de los pies del paciente y el relleno capilar...si eso básicamente. Si cualquiera de esos valores no se encuentran dentro de los valores normales, o el volumen sanguíneo es bajo, o la presión arterial es baja o el corazón no trabaja correctamente. Para cada uno de esos casos hay drogas particulares que mejoran el cuadro. En el caso de baja volemia, hay que infundir liquido...

**IC: Como controla la hemodinámia del paciente?**

**EX:** El respirador no controla la hemodinamia del paciente pero la puede afectarla. Recordá que la oxigenación apropiada se logra con una buena relación ventilación perfusión. Si no llega sangre a los pulmones no va a importar mucho que llegue oxígeno!!! Por lo tanto, la idea es no comprometer la hemodinamia cuando queremos mejorar el reclutamiento. Entonces, si aumentamos la presión, por ejemplo, y eso afecta el retorno venoso, bajando la presión arterial, será necesario aumentar la volemia..., es decir, hay que cuidar los efectos hemodinámicos!

La compliancia del paciente suele cambiar en horas. Por lo tanto, el pulmón se distenderá mas con la misma presión aplicada. Si esto sucede, la hemodinamia del paciente se verá afectada. Por lo tanto, si el pulmón ya ha sido reclutado, y la saturación cae, yo sacaría una placa radiográfica para observar la expansión del pulmón. Si hemos superado los 9 espacios intercostales, bajaría la presión, somos nosotros los que estamos haciendo daño con el respirador.

**IC: Entonces parecería que los objetivos principales son siempre la buena oxigenación y la buena ventilación?**

**EX:** Si por supuesto, y siempre cuidando la hemodinamia del paciente dado es la relación entre el gas fresco, oxígeno aportado, y la perfusión, los que garantizan una buena oxigenación. El respirador de alta frecuencia lo que permite es la independencia entre la ventilación y la oxigenación, por lo tanto la buena oxigenación se logra siempre y cuando la relación entre los gases aportados y la hemodinamia del paciente sean apropiados. Cuidar la hemodinamia del paciente yo también diría que es un objetivo importante.

**IC: Concentrémonos nuevamente en los tiempos en que usted realiza cambios en la programación del respirador. No me ha quedado claro si para usted observa continuamente al paciente y realiza los cambios en el respirador en función del estado del paciente. O cumple con tiempos determinados para tomar decisiones respecto al cambio de programación del respirador?**

**EX:** Es el estado del paciente el que determina cuando realizar los cambios. Es decir, hay tiempos lógicos que hay que respetar. Si el paciente está en estado crítico, al borde de la muerte, los intervalos para realizar los cambios son muy pequeños, digamos segundos, o a lo sumo unos pocos minutos. Luego, el mismo paciente, estabilizado, determinará cambios en el respirador de horas.

Como en Argentina hacemos rescate, al principio, cuando el paciente recién es conectado al respirador de alta frecuencia, los intervalos entre los cambios en la programación del respirador son muy cortos, digamos minutos. Luego ante la estabilización del paciente solo se hacen cambios si es necesario en intervalos que pueden durar 4 horas.

**IC: Cuales son las diferencias mas importantes que se encuentran entre las estrategias respecto a la programación del respirador?**

**EX:** La única diferencia es que no aumentamos la presión media cuando se quiere reclutar el pulmón. En esta estrategia, la única etapa en la que se encuentra el pulmón es la de cicatrización. El seteo inicial es exactamente igual, pero la Paw se programa 2 cmH<sub>2</sub>O por debajo de la presión media que se tenía en el respirador convencional. Luego se deja en ese valor tiempo suficiente como para que cicatrice el neumotorax o mejore el cuadro de enfisema intersticial.

En esta estrategia se permiten valores de PCO<sub>2</sub> superiores a los que se permiten con la estrategia de volumen pulmonar optimo. El delta P y la Presión media se programan buscando la cicatrización del tejido a expensas de estar en el borde de lo permitido en CO<sub>2</sub>. Lo mismo sucede con la saturación preductal, digamos que puede estar en 89%, idealmente en 91% y no subir la presión media!.

En este caso, la FIO<sub>2</sub> se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón...

**IC: Podrías enumerarme los parámetros principales a programar en un respirador y decirme que valor le asignarías si tuvieses un paciente en enfisema intersticial?**

**EX:** Si. Como dije, la MAP se programa igual o 1 o 2 cmH<sub>2</sub>O por debajo de la que el paciente tenía programado en el respirador convencional. La frecuencia igual que en la otra estrategia, el tiempo inspiratoria también...y el delta P logrando una PCO<sub>2</sub> inferior a 60 mmHg y superior a 55mmHg. Si la PCO<sub>2</sub> es superior a 60 entonces hay que aumentar el deltaP, si es inferior a 55 hay que disminuir el delta P...

Es decir, solo varían el objetivo de PCO<sub>2</sub>, el objetivo de saturación o Po<sub>2</sub>, de 45 mmHg y la Presión media inicial.

Aquí no se busca la presión de apertura!!!. Queremos mantener vivo al paciente mientras que cicatriza su tejido pulmonar. Luego de la cicatrización, podríamos decir que pasaríamos a estrategia de volumen pulmonar optimo, siguiendo los pasos que habíamos visto anteriormente, o se procede al destete del paciente.

Entonces inicialmente bajas la FIO<sub>2</sub> hasta aproximadamente 60%, y luego bajas la paw, no mas de 3 puntos por debajo de la presión inicial. Si la oxigenación sigue siendo buena, solo hay que esperar hasta que cicatrice el pulmón.

**IC: Entonces el paciente puede ser rescatado no solo de un respirador convencional sino también de la estrategia volumen pulmonar bajo?**

**EX:** Si...no lo habíamos mencionado.

Antes que me olvide, en este tipo de patologías también es importante la posición del paciente. Si hay pérdidas de aire, es decir un neumotorax, el paciente se debe ubicar con el pulmón afectado hacia abajo.

**IC: Como sabemos que el paciente ya ha cicatrizado su herida?**

**EX:** Bueno, los tiempo de cicatrización de los neonatos son muy, pero muy rápidos. En general luego de las 24 a 48 horas ya ha cicatrizado el pulmón. La placa radiografica permite observar si existen o no existen atelectacias masivas de alguno de los pulmones. Por lo tanto se deben sacar placas cada 4 a 6 horas, igual que en la otra estrategia...

**IC: Existen otros parámetros que se deben monitorizar distintos a los que utilizamos en la estrategia anterior?**

**EX:** No, son los mismos.

**IC: Existen parámetros que se monitorizan en volumen óptimo que no es necesario monitorizar en escapes de aire?**

**EX:** No...

**IC: Cuales son las patologías de escape de aire?**

**EX:** Básicamente neumotorax y enfisema intersticial.

## **Análisis**

De la primer pregunta se observa:

### ***“Como evalúa Ud la hemodinamia del paciente? Que monitoriza para saber el estado hemodinámica del paciente?”***

*La hemodinamia del paciente se observa por medio de parámetros monitorizados, y por medio de datos clínicos. Por ejemplo, si para comprobar la estabilidad hemodinámica, se presiona el esternón del paciente y se observa cuanto tiempo lleva el relleno capilar, en general debería ser cercano a los 5 segundos. Otro dato clínico es la temperatura de los pies y el color del paciente. La presión arterial debe mantenerse dentro de los valores normales...te recuerdo que esos valores normales varían día a día. Los neonatos tiene valores de Presión arterial que dependen del peso, y de la edad gestacional. Luego la diuresis de las últimas horas daría una idea del filtrado renal...creo que es importante preguntar si es normal. Estos datos son muy conocidos en terapia intensiva...para el sistema que estas por hacer yo creo que lo mejor es simplemente que le preguntes al medico si el paciente se encuentra estable hemodinamicamente. “*

### ***Y que parámetros se monitorizan?***

*Los datos mas importantes son, la presión arterial, la diuresis de las últimas horas, la temperatura de los pies del paciente y el relleno capilar...si eso básicamente. Si cualquiera de esos valores no se encuentran dentro de los valores normales, o el volumen sanguíneo es bajo, o la presión arterial es baja o el corazón no trabaja correctamente. Para cada uno de esos casos hay drogas particulares que mejoran el cuadro. En el caso de baja volemia, hay que infundir liquido...*

### ***Como controla la hemodinamia del paciente?***

*El respirador no controla la hemodinamia del paciente pero la puede afectarla. Recordá que la oxigenación apropiada se logra con una buena relación ventilación perfusión. Si no llega sangre a los pulmones no va a importar mucho que llegue oxígeno!!! Por lo tanto, la idea es no comprometer la hemodinamia cuando queremos mejorar el reclutamiento. Entonces, si aumentamos la presión, por ejemplo, y eso afecta el retorno venoso, bajando la presión arterial, será necesario aumentar la volemia..., es decir, hay que cuidar los efectos hemodinámicos!*

*La compliancia del paciente suele cambiar en horas. Por lo tanto, el pulmón se distenderá mas con la misma presión aplicada. Si esto sucede, la hemodinamia del paciente se verá afectada. Por lo tanto, si el pulmón ya ha sido reclutado, y la saturación cae, yo sacaría una placa radiográfica para observar la expansión del pulmón. Si hemos superado los 9 espacios intercostales, bajaría la presión, somos nosotros los que estamos haciendo daño con el respirador. “*

Un aumento de presión puede impactar negativamente en la hemodinamia del paciente y en consecuencia aunque se logre abrir la estructura del pulmón, la sangre no logra llegar a los alvéolos para oxigenar. Aquí el experto enumera algunos procedimientos conocidos para verificar si la hemodinamia del paciente es buena.

- Prueba del relleno capilar: presionar el esternón y contabilizar el tiempo para rellenar nuevamente los capilares
- Temperatura de las extremidades: verificar la temperatura de los pies del paciente.
- Presión sanguínea
- Diuresis de las últimas horas.

Sin embargo cada médico sabe cómo verificar si el paciente tiene buena hemodinamia, es recomendable enumerar algunos puntos, o simplemente preguntar el estado de cada parámetro.

La quinta pregunta es muy importante dado que finalmente pudimos determinar cuáles son los objetivos principales del experto:

***“Entonces parecería que los objetivos principales son siempre la buena oxigenación y la buena ventilación?”***

*Si por supuesto, y siempre cuidando la hemodinamia del paciente dado es la relación entre el gas fresco, oxígeno aportado, y la perfusión, los que garantizan una buena oxigenación. El respirador de alta frecuencia lo que permite es la independencia entre la ventilación y la oxigenación, por lo tanto la buena oxigenación se logra siempre y cuando la relación entre los gases aportados y la hemodinamia del paciente sean apropiados. Cuidar la hemodinamia del paciente yo también diría que es un objetivo importante.”*

El experto determina que tiene 3 objetivos cuando programa un respirador de alta frecuencia oscilatorio:

- Determinar el estado de la Oxigenación del paciente: puede ser buena o mala. El médico debe intentar que siempre sea buena. Los controles relacionados en forma directa con la oxigenación son la presión media de la vía aérea, y la FiO<sub>2</sub>. Indirectamente la hemodinamia del paciente afectará la oxigenación debido a la modificación de la relación ventilación perfusión.
- Determinar el estado de la Ventilación del paciente (remoción de CO<sub>2</sub>): Totalmente independiente de la oxigenación. Puede ser buena o mala, y está determinado con la medición de CO<sub>2</sub> del paciente. Los controles que afectan directamente la remoción de CO<sub>2</sub> es el delta P aplicado y el flujo base programado.
- Determinar el estado de la Hemodinamia del paciente: Esto no constituye un objetivo, sino que puede llegar a ser necesario en caso de que la oxigenación no sea buena. Determinado por presiones sanguíneas (Presión arterial, presión venosa central, etc), frecuencia cardíaca, Volemia, etc. El examen clínico determinará si la hemodinamia del paciente es buena o mala. El respirador de alta frecuencia oscilatoria no tiene efectos directos sobre la hemodinamia del paciente, pero si

puede afectarla aumentando las presiones torácicas y disminuyendo el retorno venoso.

Se analizará más en detalle en la unidad correspondiente a la conceptualización.

Luego la pregunta que se le realizó al experto en la sesión fue:

***“Concentrémonos nuevamente en los tiempos en que usted realiza cambios en la programación del respirador. No me ha quedado claro si para usted observa continuamente al paciente y realiza los cambios en el respirador en función del estado del paciente. O cumple con tiempos determinados para tomar decisiones respecto al cambio de programación del respirador?”***

*Es el estado del paciente el que determina cuando realizar los cambios. Es decir, hay tiempos lógicos que hay que respetar. Si el paciente está en estado crítico, al borde de la muerte, los intervalos para realizar los cambios son muy pequeños, digamos segundos, o a lo sumo unos pocos minutos. Luego, el mismo paciente, estabilizado, determinará cambios en el respirador de horas.*

*Como en Argentina hacemos rescate, al principio, cuando el paciente recién es conectado al respirador de alta frecuencia, los intervalos entre los cambios en la programación del respirador son muy cortos, digamos minutos. Luego ante la estabilización del paciente solo se hacen cambios si es necesario en intervalos que pueden durar 4 horas.”*

De lo anterior se desprende que para realizar un cambio en la programación del respirador de alta frecuencia oscilatoria, es necesario tener no solo los datos correspondientes con el estado actual del paciente, sino también datos anteriores al estado actual.

En últimas primeras 5 preguntas el experto aclara que el objetivo es la cicatrización del tejido pulmonar del paciente. Esto se logra si no se ejercen presiones sobre el mismo. Sin embargo esto es impracticable en un respirador convencional debido al proceso de inspiración y exhalación del paciente que produce movimientos torácicos.

El respirador de VAFO permite una mejor cicatrización debido a que la excursión del pecho durante la ventilación mecánica es visiblemente inferior (aunque con más frecuencia). Esto permite una cicatrización más rápida del tejido.

El experto aclara que la idea es bajar las presiones y el delta P para favorecer aún más la cicatrización. Sin embargo aquí son los gases en sangre los que marcarán cuanto se pueden disminuir los valores de los parámetros del respirador. Se aclaró que:

La programación inicial del respirador cambia, ahora se realiza de la siguiente manera:

- La MAP debe programarse inicialmente igual o inferior a la MAP del respirador convencional.
- La FIO<sub>2</sub>, que recordamos que es tóxica en concentraciones altas y durante largos periodos, se debe programar con el fin de que la PO<sub>2</sub> se mantenga entre 45 a 55 mmHg.

- El delta P se debe programar tan bajo como sea posible manteniendo la PCO<sub>2</sub> entre 55 y 60 mmHg. Según la bibliografía además se sabe que el pH debe ser inferior a 7.25
- La saturación debe mantenerse por arriba de 89 % (preductal)
- Se deben sacar placas cada 4 horas observando la evolución del pulmón del paciente.
- La cicatrización toma entre 24 y 48 hs.
- La posición del paciente es importante.
- No existe el concepto de presión de apertura.
- Luego que el paciente logra cicatrizar el pulmón, se pasa a la estrategia de volumen pulmonar óptimo o se desteta al paciente. La placa es el indicador mas preciso.
- Finalmente de las últimas preguntas, se puede inferir que no existen diferencias respecto al monitoreo del paciente.

Por lo tanto, en la estrategia de volumen pulmonar mínimo el estado de oxigenación del paciente tiene una concepción diferente. Esto es, cuando la estrategia es VPO, la oxigenación era buena si la saturación venosa era superior al 91, mientras que en el caso de VPM se se considera oxigenación buena cuando es superior al 89%

De la misma forma, se considera oxigenación buena cuando la PO<sub>2</sub> se encuentra entre 45 y 55 mmHg.

Aquí no existen las etapas de recultado y reclutamiento, sino cicatrización. Además, se pueden inferir las siguientes reglas:

- Si el diagnostico es Enfisema Instersiticial o neumotorax, entonces la estrategia es Volumen pulmonar Minimo
- Si la estrategia es volumen Pulmonar mínimo, entonces la etapa es cicatrización.
- Si la etapa es cicatrización y la PO<sub>2</sub> es menor a 45 mmHg, entonces la oxigenación es mala.
- Si la etapa es cicatrización y la PO<sub>2</sub> es mayor a 45 mmHg, entonces la oxigenación es buena.
- Si la oxigenación es mala y la etapa es cicatrización, entonces aumentar FIO<sub>2</sub>.
- Si la oxigenación es buena y la etapa es cicatrización, y la FIO<sub>2</sub> es mayor a 60%, entonces disminuir FIO<sub>2</sub>.
- Si la oxigenación es buena y la etapa es cicatrización, y la FIO<sub>2</sub> es menor a 60%, y la paw es mayor a Paw\_inicial-3, entonces disminuir Paw.
- Si la oxigenación es buena y la etapa es cicatrización, y la FIO<sub>2</sub> es menor a 60%, y la paw es menor a Paw\_inicial-3, entonces observar placa para ver estado del pulmón (cicatrización finalizada).
- Si cicatrización finalizada, entonces destete o cambio de estrategia.
- Si la etapa es cicatrización y hay gases y la PCO<sub>2</sub> es mayor a 60 mmHg, entonces el estado de la ventilación es malo

- Si la etapa es cicatrización y hay gases y la PCO<sub>2</sub> es menor a 60 mmHg y mayor a 55, entonces el estado de la ventilación es normal.
- Si la etapa es cicatrización y hay gases y la PCO<sub>2</sub> es menor a 55 mmHg, entonces el estado de la ventilación es alto
- Si el estado de la ventilación es malo, entonces aumentar delta P.
- Si el estado de la ventilación es normal, entonces no modificar delta P
- Si el estado de la ventilación es alto, entonces disminuir delta P

### **Conclusiones**

Se han determinado los puntos que no habían quedado claros en la sesión 3, de la estrategia de volumen pulmonar óptimo. Además se obtuvieron nuevos conceptos de la estrategia volumen pulmonar mínimo.

Los objetivos enumerados en la preparación de la sesión, han sido alcanzados.

### **Observación de tareas habituales:**

Con frecuencia la mejor forma de descubrir como hace un juicio un experto, efectúa un diagnóstico o diseña una forma de decisión, es observar a un experto trabajar en un problema real.

En el presente dominio de aplicación, se debe observar como el medico experto en el manejo del respirador de alta frecuencia oscilatoria, rescata un paciente. Por ahora importa el rescate de un paciente con Membrana Hialina.

El Servicio de Terapia intensiva Neonatal del Hospital de niños P. Garrahan, será el lugar de la documentación. No es frecuente este tipo de casos, por lo que la fecha y el horario no se conocen con anterioridad.

No es apropiado documentar en un vídeo dicho procedimiento dado que la emergencia y el consentimiento de los padres en tal momento dificultan esta técnica de documentación. Simplemente se tomarán anotaciones.

Posteriormente, la Dra. D. Fariña, realizará un experimento con un modelo animal en el Colegio de Médicos de Morón, Buenos Aires. El animal utilizado es un conejo, que cumple con los requerimientos necesarios para dicha experiencia. Con el fin de simular la patología SDR de un neonato, se realiza un lavaje del surfactante pulmonar mediante el pasaje de solución fisiológica por el sistema respiratorio. En esta experiencia si se realizó la documentación del procedimiento y de la completa experiencia por medio de videos que se guardan como material didáctico en el Colegio de Médicos de Morón.

El día 7 de Noviembre del 2001 se realizó una visita al servicio de Terapia intensiva neonatal en donde se puede realizar la observación de tareas habituales para el rescate de un paciente que sufría SDR.

A continuación se observan los comentarios de la observación de tareas habituales:

### **Desarrollo de la observación:**

Se observa que:

- Se prepara el respirador VAFO marca Sensormedics 3100 A. Para esto se sigue con un detallado protocolo (mostrado anteriormente). El paciente en este momento se encuentra conectado a un respirador convencional, marca Bear, modelo Bear Cub 750 VS. Enfermería se encarga de esta tarea. Mientras tanto el experto observa la programación del respirador convencional, el monitoreo de saturación, ECG, Presión invasiva, y gases en sangre. También observa al paciente (temperatura, color de la piel, uñas).
- El experto se dirige al Oscilador (Respirador VAFO) y programa el respirador en el siguiente orden:
  - FIO2: se programa igual que como se encontraba en el respirador convencional
  - Flujo: se programa en 20 LPM
  - Asegurándose que el sistema ya fue presurizado, asegura un limite 12 cm H2O

- por arriba de la presión media del respirador convencional.
  - Luego programa la presión media 2 cmH<sub>2</sub>O por arriba de la presión media del respirador convencional.
  - Luego gira el Power para lograr un delta P de 50 cmH<sub>2</sub>O.
- Todo esto se hizo con un tapón en el extremo del circuito paciente. El paciente sigue conectado al respirador convencional.
- Se acerca el oscilador a la cuna radiante de manera que el circuito paciente (semirigido) se encuentre a la altura del tubo endotraqueal. En ese momento se encuentra el siguiente personal asistiendo al paciente:
  - Una enfermera con una bolsa de resucitación.
  - Una enfermera con el Sormedics 3100 A
  - Un medico junto al respirador convencional.
  - El experto frente al paciente, observando de frente los monitores.
- Luego el experto da la orden inicial. Se desconecta el respirador convencional, e instantáneamente se conecta el respirador de alta frecuencia.
- El experto, mirando el paciente, modifica el control de power hasta observar vibraciones del pecho del paciente.
- Luego se produce una espera de unos pocos segundos, aproximadamente 30 segundos. El experto comienza a subir la presión media observando la saturación que se encuentra muy baja, 70 %.
- Inicialmente realiza cambios de 2 cmH<sub>2</sub>O y espera aproximadamente entre 30 y 50 segundos. La saturación aumenta de 70 a 73 cuando la presión aumento 6 cmH<sub>2</sub>O.
- El experto continua aumentando la presión media observando la saturación.
- En el momento en que se presenta una diferencia de 8 cmH<sub>2</sub>O respecto a la presión media original, se observa un aumento de 74 a 85%. En ese momento el experto no modifica la Presión media y espera un intervalo superior a los intervalos anteriores.
- La saturación sigue aumentando rápidamente (en segundos) inicialmente y luego lentamente (en minutos) llegando a 92-93%
- El experto espera 5 minutos mas y observa la saturación que se encuentra en 96%. En ese momento baja la FIO<sub>2</sub> a 90% y espera.
- Luego de 1 minuto, vuelva a bajar la FIO<sub>2</sub> a 80% sin que se modifique la saturación.
- Repite el proceso hasta llegar a 60% y se detiene.
- En este momento solicita muestra de gases en sangre y una placa radiografía.
- Mientras que se realiza este procedimiento, vuelve a bajar la FIO<sub>2</sub> a 50%. En este momento la saturación baja a 93%.

- El experto espera los resultados del laboratorio.
- Los gases muestran el siguiente resultado: PO<sub>2</sub> 53 mmHg, PCO<sub>2</sub> 68 mmHg. La placa muestra 8 espacios intercostales.
- El experto ahora aumenta el delta P. Este se encontraba en 36 cmH<sub>2</sub>O. Lo aumenta a 40 cmH<sub>2</sub>O.
- El experto toca los pies del paciente, observa la temperatura de las extremidades y luego observa el ECG y la Presión arterial. Todo es normal. La saturación se mantiene.
- El experto no hace nada, solo observa si se mantiene todo constante. Luego se retira.
- A los 40 minutos regresa. Todo sigue igual. El experto no hace nada.
- A las 2 horas solicita otro gases en sangre y placa radiografica. No se observan cambios importantes. El experto no hace nada.
- A las 4 horas el experto solicita nuevamente gases en sangre y placas. Se observan 9 espacios intercostales y un incremento en la PO<sub>2</sub>. La saturación aumenta a 96%. El experto reduce la Paw 1 cmH<sub>2</sub>O.
- No se observa cambios en la saturación. El experto vuelve a hacer un cambio a los 2 minutos, reduciendo la Paw otro cmH<sub>2</sub>O.
- La saturación cae a 94%.
- Se esperan 5 minutos y se realiza otro cambio. Se reduce la FiO<sub>2</sub> a 40%.
- La saturación cae a 92%. El experto no hace nada mas.

## **Conclusiones**

De lo observado:

- a. Se pudo observar que los gases en sangre en una terapia intensiva se obtienen en dos minutos aproximadamente. La medición de la saturación se puede observar en tiempo real en un monitor. El experto utiliza esta medición para realizar los cambios mas rápido en busca de la presión de apertura. Al comienzo del rescate, el experto aumenta paulatinamente la presión de la vía aérea de a dos cmH<sub>2</sub>O hasta lograr la presión de apertura. Esto lo puede observar en la saturación, en donde se producen cambios positivos importantes.
- b. Algunos cambios se realizan únicamente con los datos de la Paw, delta P, FIO<sub>2</sub> y saturación de paciente. No es necesario tener nos gases en sangre para sacar conclusiones.
- c. No se presentan incoherencias con lo adquirido hasta el momento.
- d. Por lo tanto se procederá a adquirir conocimientos relacionados con la segunda estrategia ventilatoria de alta frecuencia, estrategia de escape de aire.

## UNIDAD 6

### CONCEPTUALIZACIÓN

---

#### **Introducción**

La conceptualización permite al IC formar el marco inicial o mapa mental del dominio de la aplicación. Representa la primera etapa de la segunda fase de la metodología IDEAL y consiste básicamente en el entendimiento del dominio del problema y de la terminología usada.

Para Buchanan, la etapa de conceptualización consiste en hacer explícitos los conceptos clave y las relaciones relevantes. En efecto, de la adquisición surgen unos conocimientos sin estructurar, que se organizan en esta etapa, de forma que puedan usarse etapas posteriores de la metodología, para definir propiedades de los conceptos y establecer valores por defecto, para algunos atributos de la aplicación. Esta forma estructurada de conocimientos se denomina conceptualización, que da lugar a la representación externa de los conocimientos que es independiente de los medios de la implementación y, en particular, de las herramientas.

Una vez que se ha identificado el dominio, el siguiente paso consiste en estructurar los conocimientos para modelizar el comportamiento del experto en la solución del problema. Las sesiones de adquisición de los conocimientos iniciales deben comenzar con un solo experto quien puede demostrar, trabajando sobre varios ejemplos, lo que significa resolver el problema particular. Habiendo desarrollado algún sentido de lo que es el problema a tratar, el IC puede comenzar a articular, en un lenguaje semiformal, lo que cree que está pasando en las sesiones de solución del problema.

La conceptualización conlleva dos etapas. La primera etapa corresponde con la actividad de **análisis**, y la segunda etapa de **síntesis**. A lo largo de esta unidad se presentarán los conocimientos estratégicos, tácticos y fácticos en la etapa de análisis, y como dichos conocimientos formarán parte en mayor o menor medida, en la etapa de síntesis, de los modelos dinámicos y estáticos que conforma el modelo conceptual del sistema. La labor analítica y sintética debe estar procedidas por una actitud cautelosa y seguidas por otra corroborativa que vienen dadas todas ellas por las cuatro reglas del método cartesiano, reglas de la evidencia, regla del análisis, regla de la síntesis y regla de la prueba.

El análisis se denomina razonamiento regresivo, o hacia atrás, de la meta o solución hacia lo que se necesita para obtenerla; mientras que la síntesis se llama razonamiento hacia delante o de los datos a la solución.

El modelo conceptual, al definir los conceptos, relaciones y funciones, también muestra la secuencia de pasos según la cual el experto ejecutará su tarea, las inferencias que lleva a cabo, y la transformación de datos noticias y conocimientos que usa. Es decir, este modelo representa el comportamiento de expertos en la solución de las tareas que le conciernen, describiendo qué, dónde, cómo cuándo, por qué los conocimientos del experto entran en juego para efectuar su tarea.

Los pasos a seguir para producir una conceptualización o una representación externa de los conocimientos son, de acuerdo con la bibliografía consultada:

- Identificación de conceptos y registro de sus atributos y valores asociados en un diccionario de conceptos.
- Diseño del mapa de conocimientos.
- Establecimientos del modelo dinámico de proceso y control.
- Modelización y estructuración de los conocimientos
- Producción conceptual de un modelo conceptual a partir de la identificación de los conceptos y sus interacciones.

Estos pasos no se llevan a cabo de un modo secuencial, no es necesario tener completa y finalizada la identificación de conceptos para comenzar el modelo dinámico. Por lo tanto, la conceptualización se presenta a continuación de la adquisición, pero eso no significa que se realice en ese momento, sino que se fue avanzando a medida que se avanzaba en la adquisición.

Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, se puede decir que modelizar implica construir dos modelos, uno estático y otro dinámica. El modelo estático contiene los siguientes documentos:

- Glosario
- Diccionario de términos
- Tabla concepto atributo valor
- Mapa de conocimientos

Mientras que el modelo dinámico contiene,

- Tareas
- Procedimientos
- Estrategias
- Metaconocimientos
- Restricciones
- Mapa de conocimientos.

El diccionario de conceptos tendrá los diferentes conceptos, o subconjuntos de conceptos funcionales del mas alto nivel, como así también la terminología clave. En el mismo se especificará su utilidad, función, sinónimos y acrónimos, los atributos que definen, sus valores y de donde pueden ser derivados.

La tabla concepto-Atributo-Valor permite representar por cada concepto, que atributos encierra y, de cada atributo especificar los diferentes valores que puede llegar a poseer a lo largo de la resolución del problema.

Finalmente, uno de los elementos más importantes que resume el modelo dinámico y al modelo estático es el Mapa de conocimientos, el cual conforma el Modelo conceptual completo del comportamiento del Experto.

## **Identificación, Comparación y Categorización de Conceptos**

La noción de concepto se utiliza en un sentido amplio, refiriéndose tanto a cosas concretas como objetos, personas, cosas, como abstractas. Un concepto puede ser cualquier cosa acerca de la cual se quiere decir algo y, por lo tanto, podría también ser la descripción de una tarea, función, acción, estrategia, proceso de razonamiento, etc.

Seguidamente se muestra la tabla 6.1 que muestra los términos, conceptos, recolectados en las secciones transcriptas.

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
<b>Alvéolos</b>	Unidades anatómicas del pulmón. Lugar donde se produce el intercambio gaseoso.
<b>ARM</b>	Asistencia Respiratoria Mecánica. Recurso terapéutico que busca disminuir el esfuerzo respiratorio del paciente, favorecer la ventilación alveolar y reestablecer los valores de los gases en sangre del paciente a límites normales
<b>Aspiración de Meconio</b>	Patología dada por la aspiración de Meconico en pacientes neonatales en el momento del parto.
<b>Atelectasia</b>	Colapso de los alvéolos. Las paredes alveolares se colapsan eliminando el gas que contienen y en consecuencia disminuyendo la superficie de intercambio gaseoso.
<b>Barotrauma</b>	Barotrauma se refiere al daño que se produce en los alvéolos cuando son sometidos a presiones de distensión excesivas. Cuando esto ocurre, las paredes alveolares se ven sometidas a tensiones de desgarramiento mayores que las que pueden soportar y pueden producirse grietas a través de las cuales sale el aire hacia el espacio pleural.
<b>C</b>	Complacencia del sistema respiratorio, ver complacencia
<b>Carina</b>	Termino que define el componente anatómico correspondiente a la primera bifurcación del árbol bronquial.
<b>Circuito Paciente</b>	Sistema Físico reusable o descartable que permite llevar los gases (mezcla de oxígeno y de aire) del respirador al paciente. Consta de una rama inspiratoria y de una rama exhalatoria.
<b>CmH2O</b>	Unidad de medición de presión. Indica centímetros de agua.
<b>Complacencia</b>	Propiedad Mecánica del Pulmón. Relación entre el volumen entregado al pulmón, y la presión generada en la incorporación del volumen referido anteriormente.

<b>CPAP</b>	Modo proporciona una presión positiva continua basal en las vías aéreas (nivel de CPAP) y permite que el paciente respire de manera espontánea sobre ese nivel. Se utiliza para mejorar el reclutamiento de alvéolos y mantenerlos sin que se colapsen, de forma que permanezcan expandidos y participen en el intercambio gaseoso, incrementando así la capacidad residual funcional. Este método no requiere necesariamente el uso de un respirador, se puede realizar simplemente con una bolsa de venteo con válvula.
<b>Delta P</b>	Diferencia de Presión encontrada entre el máximo de presión y el mínimo de presión durante un ciclo en alta frecuencia.
<b>Destete</b>	Término que define la acción de desconectar al paciente del respirador. El destete no es instantáneo y su duración y pasos están determinados por la patología del paciente, su pronóstico y la programación del respirador.
<b>Diagnóstico</b>	Determinación que el médico hace de una enfermedad en vista de lo signos y síntomas del paciente.
<b>Diuresis</b>	Cantidad de orina del paciente.
<b>Ductus Arterioso</b>	Conducto que comunica durante la vida fetal la arteria pulmonar y la aorta. Un neonato tiene grandes posibilidades de poseer ductus. El Shunt dependerá de su desarrollo, edad gestacional, drogas, etc.
<b>ECG</b>	Electrocardiograma de superficie.
<b>FiO2</b>	Fracción Inspirada de oxígeno
<b>Frecuencia Respiratoria</b>	Numero de inspiraciones por unidad de tiempo
<b>Hemodinamia</b>	Estado general relacionado con la presión arterial, presión venosa central, frecuencia respiratoria. etc.
<b>HFOV</b>	Acrónimo de VAFO en ingles, ver VAFO
<b>Hipercarbia</b>	Término relacionado con la alta concentración de CO <sub>2</sub> en sangre arterial.
<b>Hipotensión</b>	Término que indica presión sanguínea media por debajo del valor normal. También puede referirse a la presión sistólica.
<b>Hipoxia</b>	Término que indica baja concentración de oxígeno en sangre arterial
<b>Inertancia</b>	Constante que determina la oposición al cambio (símil inercia de sistemas móviles)
<b>Inotropicos</b>	Drogas que permitan aumentar el inotropismo del corazón del paciente al que se le administra. Esto afecta directamente la contractibilidad del corazón.

<b>Intercostales</b>	Termino que se refiere al espacio comprendido entre dos costillas. La cantidad de espacios intercostales con mayor contraste (debido al espacio gaseoso de los pulmones) indica la extensión pulmonar del paciente.
<b>MAP</b>	Término de origen ingles, ( <i>Mean Airway Pressure</i> ), que significa Presión Media en la Vía aérea, ver Presión Media
<b>Meconio</b>	Sustancia conformada por diferentes líquidos frecuentemente aspirada por pacientes
<b>Membrana Hialina</b>	Patología asociada a pacientes neonatales. La falta de desarrollo de las células que constituyen los alvéolos pulmonares, afecta directamente la producción de surfactante, y esto afecta directamente la compliancia del paciente.
<b>Modos Ventilatorios</b>	Los distintos tipos de respiradores tienen diferentes modos de operación denominados modos ventilatorios que el operador debe adaptar en relación con las necesidades del paciente. Para comprender estos modos de operación, es necesario conocer dos definiciones básicas:
<b>Monitor Multiparamétrico</b>	Monitor que muestra en pantalla múltiples signos del paciente: ECG, Presión invasiva, Temperatura, Saturación, onda pletismográfica, etc.
<b>Normocarbica</b>	Concentración normal de CO <sub>2</sub> en sangre arterial
<b>Paw</b>	Término que indica la Presión de la vía aérea del paciente.
<b>PCO<sub>2</sub></b>	Presión Parcial de dióxido de carbono. Este dato es parte constitutiva del análisis de gases en sangre.
<b>PCV</b>	Presión venosa central
<b>PEEP</b>	PEEP (Positive End Exhalation Pressure): este procedimiento no se considera un modo respiratorio en sí, dado que lo que permite, es que una cierta cantidad de presión de aire permanezca en los alvéolos entre el final de una respiración y el comienzo de otra. Se combina con respiraciones mandatorias. Su objetivo es mantener los alvéolos expandidos entre ciclos respiratorios. Se aplica principalmente en pacientes con síndrome de diestres respiratorio del adulto, patología en la que el pulmón se transforma en algo inmanejable, se llena de líquidos, los alvéolos se colapsan, etc. Algunos médicos, consideran a este modo como un parámetro más a programar durante respiraciones mandatorias, así como con espontáneas se utiliza CPAP de la misma manera, sin llegar a ser un modo ventilatorio en si mismo
<b>Placas</b>	Radiografías
<b>Pleura</b>	Membrana que rodea los pulmones separándolos del resto de los órganos que conforman la anatomía del tórax
<b>Pneumotorax</b>	Rotura de la pleura pulmonar con escape de gases

<b>PO2</b>	Presión Parcial de Oxígeno. Este dato es parte constitutiva del análisis de gases en sangre.
<b>Post</b>	Acrónimo utilizado para representar Recién nacido de Pre-Término
<b>Prematuro</b>	Nacido antes de las 38 semanas de gestación calculadas desde el primer día de la última menstruación.
<b>Presión de apertura</b>	Presión en la vía aérea necesaria para abrir las vías aéreas en un proceso de reclutamiento
<b>Presión de cierre</b>	Presión de vía aérea correspondiente al cierre de las vías aéreas
<b>Presión Intrapleural</b>	presión en el espacio ocupado por líquido entre el pulmón y la pared torácica
<b>Presión Limite</b>	Presión máxima permitida en la vía aérea. Este límite está determinado por el respirador, y es un límite de seguridad. De esta forma, el usuario garantiza que el paciente nunca recibirá mas presión que la determinada por este límite.
<b>Presión Media</b>	Presión Media de un ciclo respiratorio. Es decir, este valor esta determinado por la media de todos los valores de presión en un ciclo respiratorio. Matemáticamente corresponde a integral de la señal de presión en función del tiempo en el intervalo correspondiente a un ciclo respiratorio, dividido por el intervalo de tiempo del correspondiente ciclo. Siempre se refiere a la presión ejercida en la vía aérea superior del paciente. En el momento en que el paciente se encuentra ventilado con un respirador, la presión media de la vía aérea se puede controlar con el mismo respirador.
<b>Presión sistólica</b>	Presión arterial en el momento en que el ventrículo izquierdo realiza una contracción (sístole ventricular)
<b>Proximal</b>	Este termino se utiliza para referirse a la cercanía del paciente. Por ejemplo, si se dice "Presión proximal" se está refiriendo a que la presión a la cual se hace referencia es la mas próxima al paciente.
<b>Pt</b>	Acrónimo utilizado para representar Recién nacido de Post-Término
<b>R</b>	Resistencia del sistema respiratorio, ver Resistencia
<b>Resistencia</b>	Propiedad Mecánica del Pulmón. Relación entre la presión generada y el flujo entregado; Utilizando la Ley de Ohm (modelo matemático simplificado), Resistencia = (Presión 1- Presión 2) / Flujo; donde la presión 1 es la presión en uno de los extremos del conducto aéreo por donde circula el flujo de gas, Presión 2 corresponde al otro extremo del conducto, Flujo es el flujo que atravieza el conducto, y Resistencia corresponde a la resistencia del conducto entre las ubicaciones donde se estan haciendo las mediciones de presión 1 y 2.

<b>Respiraciones espontáneas</b>	Aquellas en las que el paciente tiene la capacidad de controlar el inicio y fin del ciclo respiratorio, el volumen, la presión, el flujo, etc
<b>Respiraciones mandatorias</b>	Se producen cuando el respirador ejerce el total control sobre las características de la respiración. Se programan parámetros como el volumen corriente, el flujo máximo, la forma de la onda de flujo, tiempos, presión límite, etc. Sin embargo las respiraciones pueden ser disparadas tanto en forma permanente por el respirador (Respiraciones Controladas o Control), o bien pueden ser disparadas por el paciente por medio de un esfuerzo inspiratorio (Respiraciones Asistidas o Assist). También se utiliza el modo denominado Assist / Control
<b>Respirador</b>	La función básica de un respirador es, en primer lugar, proveer gas al paciente según determinadas condiciones de presión, flujo, volumen y tiempo, y en algunos casos, entregar medicación a través de nebulizaciones. Para ello debe contar con un sistema de acondicionamiento del gas que será entregado al paciente (filtrado, humidificación, calentamiento), monitorear continuamente la ventilación y la mecánica respiratoria, proveer sistemas de soporte de ventilación, contar con un sistema de alarmas en caso de situaciones anormales y presentar los datos de manera adecuada
<b>Respirador Convencional</b>	Dispositivo mecánico, neumático y electrónico que permite realizar ARM en forma convencional utilizando modos convencionales.
<b>RN</b>	Acrónimo utilizado para representar personas recién nacidas
<b>RNAP</b>	Acrónimo utilizado para representar Recién nacido de alto peso al nacer
<b>RNBP</b>	Acrónimo utilizado para representar Recién nacido de bajo peso al nacer
<b>RNT</b>	Acrónimo utilizado para representar Recién nacido de Término
<b>Saturación</b>	Medición realizada con un equipo de monitoreo, saturómetro, que indica en forma relativa la cantidad de sangre combinada con oxígeno.
<b>Saturación Postductal</b>	Medición de la saturación luego del ductus arterio-venoso.
<b>Saturación Preductal</b>	Medición de la saturación antes del ductus arterio-venoso
<b>SDR</b>	Síndrome de Diestress Respiratorio. También es denominado Membrana Hialina.

<b>Sistema de Control</b>	Es el encargado de procesar las órdenes que recibe del operador y transformarlas en las acciones correspondientes. Asimismo, procesa la información de los sensores y decide el uso de alarmas y sistemas ventilatorios de respaldo. En los respiradores actuales, el sistema de control es microprocesado, y sigue las órdenes grabadas en la memoria por el fabricante
<b>Sobredistendido</b>	Término utilizado en el momento en que se produce una distensión excesiva de los alvéolos.
<b>Surfactante</b>	Fosfolípido tensoactivo presente en los pulmones que mejora la complacencia del pulmón debido a una disminución de la tensión superficial de los alvéolos.
<b>Temperatura periférica</b>	Temperatura del paciente a nivel periférico
<b>Tendencia del oxígeno</b>	Término que se refiere a la derivada de la saturación en función del tiempo. Este dato es importante con el fin de pronosticar el estado del paciente y acelerar los cambios de la programación del respirador.
<b>Tidal</b>	Término que se refiere al volumen que se logra en un ciclo respiratorio. También es denominado volumen corriente.
<b>Tiempo inspiratorio</b>	Tiempo de duración de la inspiración, tomado desde el disparo del ciclo respiratorio hasta el ciclado (término de la inspiración)
<b>VAFO</b>	Ventilación de Alta Frecuencia Oscilatoria. método de asistencia mecánica respiratoria en el que se utilizan frecuencias mucho mayores a las utilizadas en la ventilación convencional y en la respiración espontánea (60-200 rpm / 1-20 Hz o más) y volúmenes mucho menores que los administrados durante la CMV (del orden del espacio muerto pulmonar, 1 a 4.5 ml/kg de peso).
<b>Variables de ciclado</b>	Las variables de fin de inspiración, también denominadas variables de ciclado, pueden ser el flujo, la presión, el tiempo y el volumen. Casi todos los respiradores actualmente existentes en el mercado incluyen entre sus modos el modo PS, el cual tiene un ciclado por flujo.
<b>Variables de Disparo</b>	Las variables de disparo ( <i>trigger</i> variable) son aquellas que ocasionan el inicio de la inspiración al alcanzar un valor preseteado. Las más antiguas son el tiempo (el respirador inicia la ventilación acorde a una frecuencia determinada, en forma independiente de los esfuerzos inspiratorios del paciente), la presión (el respirador sensa el esfuerzo inspiratorio del paciente en función de una leve disminución de la presión en la vía aérea e inicia la ventilación) y el flujo (se sensa una disminución en el flujo base).

<b>VARIABLES LÍMITE</b>	Valores programados de presión, volumen o flujo, que pueden o no alcanzar su valor máximo pre-programado antes de fin de inspiración, pero nunca superan dicho límite. Estas variables no determinan el fin de inspiración. En neonatos se utiliza como variable limitante la presión, pero como variable de fin de inspiración, el tiempo.
<b>VÍA AÉREA</b>	Lugar por donde pasan los gases hacia el pulmón. Se dividen en vía aérea artificial, circuito paciente y tubo endotraqueal, y vía aérea del paciente, vías aéreas del sistema respiratorio

*Tabla 6.1. Conceptos.*

La identificación de conceptos, o subconjuntos funcionales, del mas alto nivel, así como la terminología clave, se describen en un diccionario de conceptos. Para cada uno de los conceptos del diccionario se especificará: su utilidad o función, sinónimos y acrónimos, los atributos que lo definen, sus valores, y de donde pueden derivarse los datos. De esta forma se aíslan los rasgos sobresalientes, es decir, los atributos, propiedades o características que discriminan los conceptos de la tarea.

En el presente trabajo se han logrado identificar los siguientes conceptos:

- Paciente,
- Oxigenación
- Ventilación
- Hemodinámia
- Recomendación.

De los conceptos mencionados, es importante mencionar las circunstancias que condujeron a establecer dicha clasificación.

Existe un *paciente* que esta conectado a un respirador y del que, en función del diagnóstico, y del estado actual, se desea obtener una *recomendación* respecto a su tratamiento, referido únicamente al manejo del respirador, que mejore o mantenga su estado actual.

Cuando se refiere al estado actual, se está refiriendo a tres puntos de vista relacionados con la terapia respiratoria del neonato en una terapia intensiva, *oxigenación, ventilación, y hemodinamia* del paciente. La recomendación, que será una programación del respirador, se infiere gracias a los conocimientos actuales del estado de la oxigenación y de la ventilación del paciente. Por último, pero no menos importante, también deberá observarse la hemodinamia del paciente, la cual puede estar modificada por el mismo respirador.

Concepto	Función	Sinónimos y acrónimos	Atributos	Derivado de
<b>Paciente</b>	Tomar datos relacionados con la identificación del paciente. Además establecer los datos más importantes en la inferencia de reglas con el fin de determinar la recomendación final que constituye el tratamiento.	Enfermo, neonato, prematuro.	Nombre, Peso, Diagnóstico, Estrategia Ventilatoria, Etapa, Espacios Intercostales, Gases.	Historia clínica, radiografía de tórax, diagnóstico inicial, ficha de alta de paciente
<b>Oxigenación</b>	Representar la oxigenación del paciente.	Oxigenación del paciente.	FIO2 nueva, Paw nueva, PO2 nueva, Saturación nueva, Tendencia, Estado	Registro del monitoreo de gases en sangre, saturómetro, y de monitoreo del respirador.
<b>Ventilación</b>	Representa la ventilación del paciente.	Ventilación de Paciente, lavado de CO2.	PCO2, Delta P, vibración del pecho, Estado	Lectura del registro de gases en sangre y del respirador relacionadas con la CO2 y el delta P.
<b>Hemodinámia</b>	Representa la hemodinámia del paciente	Estado Hemodinámico del paciente.	Presión arterial, Diuresis, Temperatura perisférica, Relleno capilar Estado.	Registro del monitoreo de la Presión arterial, Diuresis, relleno capilar, y temperatura periférica
<b>Recomendación</b>	Especifica la recomendación o tratamiento que se le debe realizar al paciente con el fin de optimizar la programación del respirador al que se encuentra conectado	Recomendación, Programación del respirador, Salida, Tratamiento	Oxigenación, Ventilación, Hemodinamia, Paw, DeltaP, FIO2, Flujo, Frecuencia,	Oxigenación, Paciente, Hemodinamia, Ventilación.

Tabla 6.2.Descripción de Conceptos

Una vez presentado el diccionario de conceptos, se da comienzo a la descripción de la tabla Concepto-Atributo-Valor (tabla 6.2), que alberga las características de los conceptos que se utilizan en el desarrollo del proyecto. De esta manera, al registrar los atributos de cada concepto, se proporciona una lista de todos los elementos que se pueden usar, o que la experta utiliza al inferir las metas del sistema Experto.

La siguiente tabla, tabla 6.3, representa la tala Concepto-Atributo-Valor que describe los elementos que conforman cada concepto que será utilizado para desarrollar la tarea.

<b>Concepto</b>	<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
<b><i>Paciente</i></b>	Nombre	Cadena de caracteres
	Peso	300-5000 grs
	Diagnóstico	Enfisema
		Neumotorax
		SDR
	Estrategia	Volumen pulmonar Óptimo
		Volumen pulmonar Mínimo
	EIC	3..12
	Etapa	Reclutamiento
		Reclutado
Cicatrización		
Gases	Si/No	
<b><i>Oxigenación</i></b>	FiO2_nueva	21..100
	Paw_nueva	3..45
	PO2_nueva	30..200
	Sat_nueva	60..100
	Estado	Mala
		Buena
	Recomendación	TRUE / FALSE
	Tendencia	Creciente
Decreciente		
Estable		

<b>Ventilación</b>	DeltaP_nuevo	5..90
	PCO2_nueva	30..200
	Estado	Alta
		Normal
		Mala
	Vibración	Enérgicamente.
		Normal
		Poco
		Nula
	Recomendación	TRUE
		FALSE
<b>Hemodinamia</b>	Presión arterial	Alta
		Normal
		Baja
	Diuresis	Mala
		Buena
	Temperatura periférica	Normal
		Alta
		Baja
	Relleno Capilar	Bueno
		Malo
	Estado	Bueno
		Malo
<b>Recomendación</b>	Frecuencia	3..15
	Paw	3..45
	FIO2	21..100
	DeltaP	5..90
	Flujo	5..60

*Tabla 6.3. Tabla Concepto Atributo Valor*

### **Descripción de atributos**

A continuación se muestran tablas en donde se definen cada uno de los atributos mencionados, detallando para cada uno de ellos, la descripción, el tipo de valor, el rango de valores, número de valores por caso, la fuente de donde se obtuvo, etc.

**Concepto Oxígeno**

Información/Atributo	Sat_nueva	Paw_nueva	Paw_inicial	FiO2_nueva	PO2_nueva	Estado	Tendencia
Nombre	Saturación	Paw, Presión de vía aérea	Paw, Presión de vía aérea inicial.	FiO2	PO2	Estado de la Oxigenación	Tendencia
Descripción	Porcentaje de hemoglobina en sangre saturada con oxígeno.	Presión media en la vía aérea del paciente	Presión media en la vía aérea del paciente en el momento en que se conectó el paciente al respirador	Fracción inspirada de oxígeno administrada al paciente	Presión parcial de oxígeno en sangre arterial del paciente	Estado general de la oxigenación del paciente en el momento de la consulta.	Tendencia de las mediciones de oxigenación
Tipo de valor	Unidad: %. Resolución: 1%	Unidad: cmH2O. Resolución: 0,1 cmH2O	Unidad: cmH2O. Resolución: 0,1 cmH2O	Porcentual.	Valor entero en mm Hg. Resolución 1 mmHg	-	Texto
Rango de valores	80..100	3 ..45	3 ..45	21 ..100	30 .. 200	Buena, mala	Creciente, Estable, decreciente.
Numero de valores por caso	Uno	Uno	Uno	Uno	uno	Uno	Uno
Fuente	El dato es incorporador por el usuario. Este dato se puede observar en el saturómetro, monitor multiparamétrico utilizado, o medición de gases en sangre.	El dato es incorporado por el operador, y se puede determinar directamente por la Paw monitorizada en el respirador	El dato es incorporado por el operador, y se puede determinar directamente por la Paw monitorizada en el respirador en el momento correspondiente.	El dato es incorporado por el operador, y se puede determinar directamente por la FiO2 programada en el respirador	El dato ingresado por el usuario, proviene del análisis de gases en sangre. El dato es importante pero no esencial para determinar una conclusión.	El dato se infiere por las reglas del sistema a partir de los valores de los atributos Sat_nueva, Paw_nueva, FiO2_nueva y PO2_nueva (opcional).	Incorporado por el usuario en caso que sea necesario.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

Detalles acerca del método para obtener esta información	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	La información será incorporada por el operario en el momento de la primera consulta al sistema. Este dato queda guardado en memoria.	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	Esta es una variable intermedia que permite inferir los valores de los atributos del concepto Recomendación.	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.
Confiabilidad de los datos de entrada	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.		Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.
Uso	Permite determinar en forma rápida la oxigenación del paciente.	Permite inferir cambios en la Paw actual dependiendo de la oxigenación del paciente	Permite inferir cambios en la Paw o en la FIO2 actual dependiendo de la oxigenación del paciente, la FIO2 actual, y la etapa.	Permite inferir reglas respecto al tratamiento del paciente. Este valor junto con el de la variable oxigenación:estado determinan la recomendación del sistema relacionadas con la FiO2.	Permite determinar el valor de la variable intermedia: oxigenación:estado. El valor de oxigenación permitirá finalmente determinar la recomendación.	Permite determinar el valor de los atributos Paw, y FIO2 del concepto Recomendación.	Permite la ejecución de metareglas para la recomendación especial de espera.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

Formato de los resultados de salida	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario.	Esta variable, como otras, debe ser incorporada por el usuario. El sistema deberá preguntar al usuario el valor que observa del análisis de gases en sangre.	Es una variable intermedia, solo modifica la memoria de la base de conocimientos.	
Material de soporte	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1, 2, 3 y 4.	Sesión 1 y 2.

*Tabla 6.4 Atributos Oxígeno.*

**Concepto Ventilación**

Información/Atributo	DeltaP_Nuevo	PCO2_Nueva	Vibración	Estado
Nombre	Delta P nuevo	PCO2	Vibración	Estado
Descripción	Último dato ingresado por el usuario correspondiente a la diferencia entre al valor máximo de presión y el valor mínimo de presión durante un ciclo en VAFO	Presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial del paciente	Vibración del tórax del paciente cuando este se encuentra conectado al respirador de VAFO	Estado general de la ventilación del paciente.
Tipo de valor	Unidad: CmH2O, Precisión: 0,1 cmH2O	Valor entero en mm Hg. Resolución: 1 mmHg	Cadena de caracteres	Cadena de caracteres
Rango de valores	7..90	30.. 200	Visible, No visible	Alta, Normal, Mala
Numero de valores por caso	Uno	Uno	Uno	Uno
Fuente	El dato es incorporado por el operador, y se puede determinar directamente por el Delta P monitorizada en el respirador	El dato ingresado por el usuario, proviene del análisis de gases en sangre. El dato es importante, para determinar una conclusión relacionada con la ventilación del paciente, es decir, programación de los control deltaP del respirador.	El dato es incorporado por el operador.	Es inducido por el SE en función de los datos de PCO2 y vibración del pecho
Detalles acerca del método para obtener esta información	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	La información será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema.	Se puede determinar directamente por inspección visual	Existen reglas que en función del antecedente (Ventilacion:PCO2_Nueva, Ventilacion:Vibración, Paciente:Diagnóstico) concluyen el valor del atributo Ventilación:Estado
Confiabilidad de los datos de entrada	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomarán como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Se tomarán como valido.	Dependerá enteramente del valor de los atributos PCO2_nueva y Ventilacion:Vibración, incorporado por el operador

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

				en el momento de la consulta
Uso	Permite determinar si los cambios en el delta P son posibles, y el valor exacto de la nueva programación de deltaP	Permite determinar el valor de la variable delta P, y Recomendación: Ventilación que constituyen la salida del sistema	La vibración del pecho es útil para recomendar el valor del delta P cuando no hay gases disponibles.	En función del Estado de la ventilación (valor asignado al atributo) se obtiene una recomendación de la programación del delta P.
Formato de los resultados de salida	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Esta variable, como otras, debe ser incorporada por el usuario. El sistema deberá preguntar al usuario el valor que observa del análisis de gases en sangre, si es que este está disponible (ver descripción de atributo Paciente: Gases, y Ventilación: Vibración.	Esta es una variable intermedia y no tiene formato de salida
Material de soporte	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en las sesiones de adquisición 1, 2, 3, y 4, como así también la bibliografía enunciada.			

*Tabla 6.5. Atributos Ventilación*

**Concepto Paciente**

Información/Atributo	Nombre	Diagnóstico	Estrategia	Etapas	EIC	Gases	Peso
Nombre	Nombre del Paciente	Diagnóstico de paciente	Estrategia	Etapas	Espacios intercostales	Gases en sangre	Peso del paciente
Descripción	Nombre completo del paciente del que se realiza la consulta	Patología de base del paciente	Estrategia Ventilatoria	Etapas Ventilatoria	Cantidad de espacios intercostales observados en una placa radiográfica de torax.	Disponibilidad de Gases en sangre del paciente.	Peso en gramos del paciente en el momento del nacimiento
Tipo de valor	Cadena de Caracteres	Cadena de caracteres	Cadena de Caracteres	Cadena de Caracteres	Número Entero	Cadena de caracteres	Numero Entero
Rango de valores		SDR, Enfisema intersticial, Neumotorax	Estrategia de Volumen Pulmonar Óptimo, Estrategia de Volumen Pulmonar Mínimo	Cicatrización Reclutamiento Reclutado	1..12	SI, NO	300..5000
Numero de valores por caso	Uno	Uno	Una	Una	Uno	Una	Uno
Fuente	Al realizar la consulta de un paciente nuevo, se grabará un archivo con todos los datos cargados por el usuario.	El dato proviene del diagnóstico inicial, motivo por el cual el paciente fue conectado a un respirador de alta frecuencia oscilatoria. Es el medico quien debe determinar el valor.	Se infiere a partir del valor del atributo Paciente:Diagnostico.	Se infiere a partir del valor del atributo Paciente:Estrategia.	El dato es incorporado por el usuario en el momento de realizar la consulta por medio	El usuario debe responder al sistema por medio de la pantalla.	El usuario debe responder al sistema por medio de la pantalla.

					de una pantalla		
Detalles acerca del método para obtener esta información	El atributo Paciente:Nombre es el que determina el nombre del archivo. De esta manera, en la próxima consulta, el usuario busca los datos por medio del nombre del paciente. El archivo elegido determina el valor del atributo en la consultas posteriores.	La determinación de la enfermedad determina la estrategia ventilatoria.	En el archivo del paciente se guarda la información sobre el diagnóstico. Este permitirá establecer el valor de la mejor estrategia ventilatoria del paciente	En el archivo del paciente se guarda la información sobre el diagnóstico. Este permitirá establecer el valor de la mejor estrategia ventilatoria del paciente, y esta a su vez de la etapa.	La información se obtiene del conteo de espacios observador en una placa radiografica en la línea clavicular media derecha del paciente.	Se le preguntará al usuario por medio de la pantalla.	Se le preguntará al usuario por medio de la pantalla.
Confiabilidad de los datos de entrada	Se tomarán siempre como válidos	El dato será ingresado por el operador. El sistema no debe permitir que se establezca una enfermedad diferente a las enfermedades que maneja el sistema	Se tomarán siempre como válidos	Se tomarán siempre como válidos	Se tomarám siempre como válidos	Se tomarám siempre como válidos	Se tomarám siempre como válidos

Uso	Permite saber de quien son los datos observador. No es utilizado para inferir valores de atributos.	Permite determinar la estrategia ventilatoria aplicada al paciente	Permite determinar la etapa ventilatoria del paciente	Permite determinar los umbrales para la inferencia del valor del atributo estado del concepto oxigenación y del concepto ventilación	Permite determinar mediante inferencia de las reglas, recomendar el tratamiento sobre el paciente	La respuesta positiva habilitará las reglas que tengan los atributos Oxigenación: PO2_Nuevo y Ventilación: P CO2_nuevo en sus consecuentes.	Permite inferir la programación de la Frecuencia Respiratoria del respirador.
Formato de los resultados de salida	Por pantalla, cadena de caracteres	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario.	No es una variable de salida. En cuanto se determina el valor del atributo, se inferirá la etapa en la que se encuentra el paciente.	No es una variable de salida, sino intermedia. Modifica la base de conocimientos.	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla	Es una variable intermedia.	Esta variable no es de salida, sino de entrada. El sistema debe preguntar el valor al usuario por pantalla
Material de soporte	Este atributo solo es necesario para brindar información básica respecto al paciente.						

*Tabla 6.6. Atributos Paciente*

**Concepto Recomendación**

Información/Atributo	DeltaP	FiO2	Oxigenación	Ventilación	Paw	Frecuencia	Flujo_base
Nombre	Delta P	FiO2	Oxigenacion	Ventilacion	Paw, Presión de vía aérea	Frecuencia Respiratoria	Flujo
Descripción	Valor de delta P recomendado para la Programación nueva, inferido por el sistema.	Fracción inspirada de oxígeno recomendada	Recomendación de la oxigenacion del paciente	Recomendación de la ventilacion del paciente	Recomendación de la Presión media en la vía aérea del paciente.	Recomendación de la Frecuencia respiratoria del paciente.	Recomendación del flujo base a programar
Tipo de valor	Unidad: CmH2O, Presición: 0,1 cmH2O	Porcentual.	Boolean	Boolean	Unidad: cmH2O. Resolución: 0,1 cmH2O	Unidad: Hz. Resolución: 1 Hz	Unidad: LPM, resolución: 1 LPM
Rango de valores	7 a 90	21..100	TRUE, FALSE	TRUE, FALSE	3 ..45	3..15	5..60
Numero de valores por caso	Uno	Uno	Uno	Uno	Uno	Uno	Uno
Fuente	El dato es inferido por el sistema en función de los atributos del concepto ventilación, del diagnóstico del paciente y de la programación actual del respirador	El dato es inferido por el sistema en función de los atributos del concepto oxigenación, del diagnóstico del paciente y de la programación actual del respirador.	Inferido por las reglas del sistema.	Inferido por las reglas del sistema.	Inferido por las reglas del sistema.	Inferido por las reglas del sistema.	Inferido por las reglas del sistema.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

Detalles acerca del método para obtener esta información	La información necesaria para inferir el valor será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema. La valor del atributo es resultado del disparo de las reglas.	La información necesaria para inferir el valor será incorporada por el operario en el momento de la consulta al sistema. La valor del atributo es resultado del disparo de las reglas.	Se infiere por medio de las reglas.	Se infiere por medio de las reglas.	Se infiere por medio de las reglas.	Se infiere por medio de las reglas.	Se infiere por medio de las reglas.
Confiabilidad de los datos de entrada	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.	Los datos se tomaran como válidos siempre que el dato se encuentre dentro del rango permitido.
Uso	El valor del atributo es el que se le informará al usuario para modificar (si es necesario) la programación del respirador	Permite inferir reglas respecto al tratamiento del paciente. Este valor junto con el de la variable oxigenación determinan la recomendación del sistema relacionadas con la FiO2.	Permite determinar si existe alguna recomendación del sistema relacionada con la modificación de la programación del respirador para mejorar la oxigenación del paciente	Permite determinar si existe alguna recomendación del sistema relacionada con la modificación de la programación del respirador para mejorar la ventilación del paciente	Permite mostrar el valor recomendado al usuario.	Permite mostrar el valor recomendado al usuario.	Permite mostrar el valor recomendado al usuario.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

Formato de los resultados de salida	Este dato de salida se mostrará en pantalla junto con los otros parámetros de programación del respirador	Este dato de salida se mostrará en pantalla junto con los otros parámetros de programación del respirador	Es una variable intermedia.	Es una variable intermedia.	Este dato de salida se mostrará en pantalla junto con los otros parámetros de programación del respirador	Este dato de salida se mostrará en pantalla junto con los otros parámetros de programación del respirador	Este dato de salida se mostrará en pantalla junto con los otros parámetros de programación del respirador
Material de soporte	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.	Material que sustenta las reglas y la importancia de este atributo se pueden observar en la sesiones de adquisición 2, 3, y 4.

*Tabla 6.7. Atributos Paciente*

**Concepto Hemodinámia**

Información/Atributo	Diuresis	Estado	Presion_arterial	Relleno_capilar	Temperatura_extremid ades
Nombre	Duiresis	Estado	Presion Arterial	Relleno capilar	Temperatura Extremidades
Descripción	Diuresis de las últimas horas.	Estado de la hemodinamia del paciente.	Presión arterial del paciente.	Relleno Capilar del paciente	Temperatura de las extremidades del paciente
Tipo de valor	Cadena de caracteres	Cadena de caracteres	Cadena de caracteres	Cadena de caracteres	Cadena de caracteres
Rango de valores	Buena, Mala	Buena, Mala	Normal, Mala	Bueno, Malo	Normal, Mala
Numero de valores por caso	Uno	Uno	Uno	Uno	Uno
Fuente	El usuario debe ingresar el valor	Infiere el sistema por medio de las reglas.	El usuario debe ingresar el valor	El usuario debe ingresar el valor	El usuario debe ingresar el valor
Detalles acerca del método para obtener esta información	Los datos serán incorporados por pantalla, en tiempo de ejecución	El SE toma los valores de los atributos Diuresis, temperatura extremidades, Presion_arterial, Relleno_capilar e infiere al valor del atributo	Los datos serán incorporados por pantalla, en tiempo de ejecución	Los datos serán incorporados por pantalla, en tiempo de ejecución	Los datos serán incorporados por pantalla, en tiempo de ejecución
Confiability de los datos de entrada	Se tomarán como verdaderos siempre que se mantengan dentro del rango permitido				
Uso	Permitirá definir el valor del atributo Hemodinamia:Estado	Como variable intermedia permite recomendar al usuario.	Permitirá definir el valor del atributo Hemodinamia:Estado	Permitirá definir el valor del atributo Hemodinamia:Estado	Permitirá definir el valor del atributo Hemodinamia:Estado
Formato de los resultados de salida	No es una variable de salida.	No es una variable de salida.	No es una variable de salida.	No es una variable de salida.	No es una variable de salida.
Material de soporte	Sesión 3.	Sesión 3.	Sesión 3.	Sesión 3.	Sesión 3.

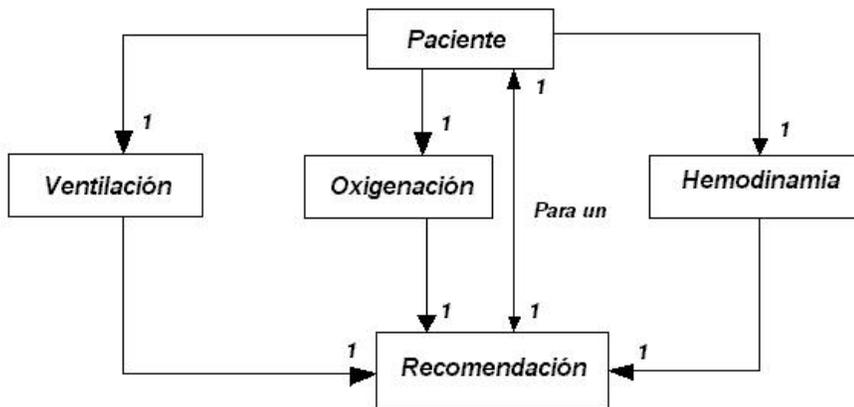
Tabla 6.8. Atributos Hemodinamia.

## **Relaciones entre conceptos**

En esta etapa, se establecen las relaciones entre los conceptos obtenidos y mencionados anteriormente. La idea es poder representar gráficamente el modelo mental que la experta tiene sobre el aspecto táctico del problema. En el gráfico 6.1 se muestra el Modelo relacional completo del proyecto, a partir del cual se pueden obtener las deferentes relaciones manifiestas entre los conceptos.

Se sabe que:

- Un paciente tiene una oxigenación determinada.
- Un paciente tiene un estado ventilatorio único.
- Un paciente tiene un estado hemodinámico único
- Existe una recomendación única respecto a la programación del respirador.
- Un paciente, un estado ventilatorio, una oxigenación y una hemodinamia determinan una recomendación.
- Una recomendación de la programación del respirador es para un paciente.



**Gráfico 6.1 Modelo relacional completo del proyecto**

Seguidamente se desarrolla una descripción del modelo mental estratégico que la experta posee del problema. Es importante mencionar los siguientes puntos que afectan en forma directa el árbol de descomposición funcional.

- Las tareas del medico en terapia intensiva son continuas, sin dejar un solo momento de monitorizar al paciente. Es decir, la tarea no tiene comienzo ni fin, salvo que el paciente sea dado de alta o muera.
- Los datos a monitorizar dependen tanto de la patología de base como así también del estado del paciente.

Los elementos que se encuentran representados a partir del tercer nivel en el gráfico 6.2, que se muestra a continuación, son descritos bajo la propuesta de Pazos [Pazos J, 1996] para la representación de pasos de alto nivel, subpasos de la Tarea, y subpasos de bajo nivel.

## **Marco Teórico General**

### **Paso 1. Diagnóstico y tratamiento del neonato en Terapia Intensiva.**

El momento del nacimiento representa un cambio brusco desde las condiciones de vida intrauterina dependiente, al ambiente aéreo extrauterino. En unos segundos, el neonato debe ajustarse a nuevos patrones de oxigenación, circulación sanguínea, metabolismo, excreción y demás. De la rapidez y propiedad con que se logran estas funciones depende que el neonato evolucione sin trastornos. Conocer el estado general al nacer con la precisión que permita tomar las medidas justas para el bienestar del niño fue siempre la preocupación de los médicos.

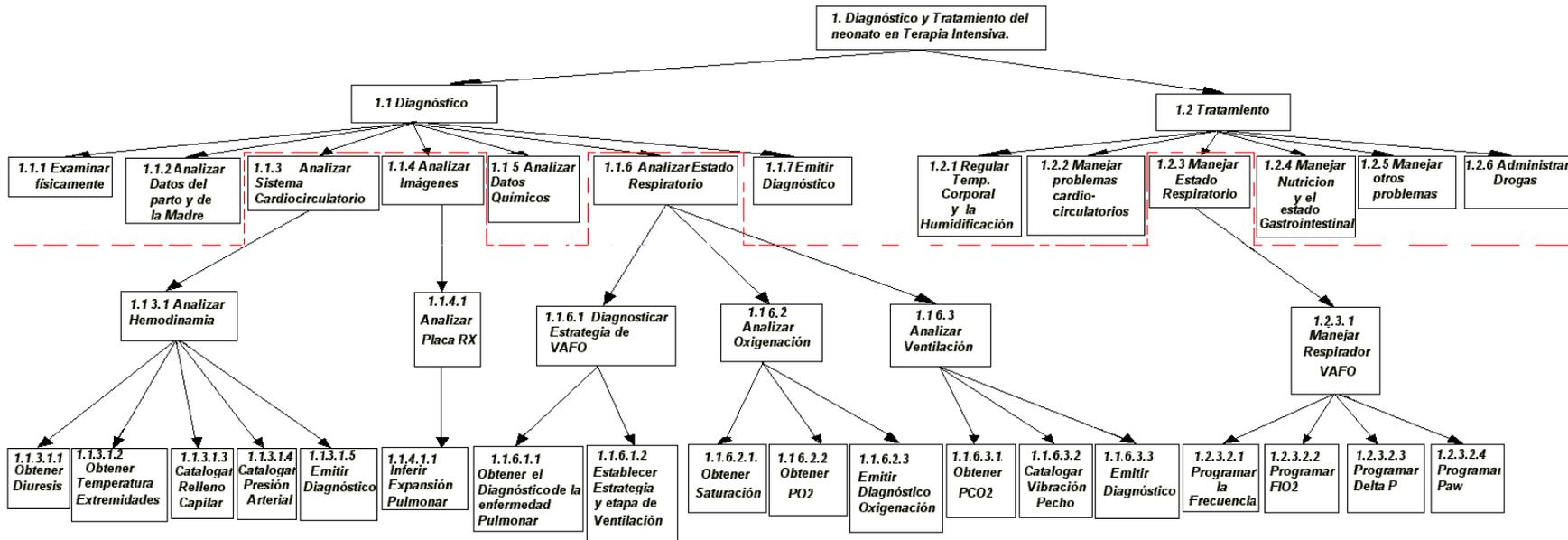


Gráfico 6.2. Representación de pasos de alto nivel, subpasos de la Tarea, y subpasos de bajo nivel

Conocer el estado general implica conocer parámetros monitorizados y datos clínicos e históricos de la Madre y del parto, esto es, Diagnosticar. Luego, en función del diagnóstico, se realizará el tratamiento, lo cual implica alguna acción con el fin de mejorar el cuadro del paciente. Estas acciones son las detalladas en el cuadro anterior.

Por lo tanto, los pasos son:

1.1 Diagnóstico

1.2 Tratamiento

## **1.2 Diagnóstico**

El principal objetivo del diagnóstico es el de inferir, en vista de los signos y síntomas del paciente, la afección que este padece. Una vez determinada, se debe realizar el tratamiento adecuado.

Para lograr esto, el médico debe:

- 1.1.1 Realizar un examen físico del paciente: esto implica observar el peso, la contextura física, la piel, el color de la piel, los movimientos del paciente, el llanto, etc.
- 1.1.2 Analizar datos históricos de la Madre y del Parto. Los datos de la madre son importantes dado que permiten inferir potenciales problemas debido a problemas de la madre, (enfermedades venéreas, edad de la madre, etc). Por otro lado, los datos del parto son, el puntaje de Apgar, el puntaje de Silverman y Andersen, asfixia, hemorragias, edad gestacional, etc. Por el reconocimiento de la importancia y fundamental asociación que tienen los antecedentes biológicos y patológicos de los padres, y particularmente de la Madre, con hechos gestacionales y del parto, se establece que toda condición de nacimiento es en gran parte consecuencia de hechos sucedidos en la gestación y durante el parto. De ahí que idealmente se considere la etapa perinatal como un conjunto y se procure la vigilancia médica del embarazo como una acción siempre deseable para observar las condiciones de crecimiento y propiciar que el nacimiento suceda de la manera mas adecuada. Al mismo tiempo, permiten tener un marco de referencia para concluir el diagnóstico mas adecuado luego del parto.
- 1.1.3 Analizar el Sistema Cardiocirculatorio. En terapia intensiva, todos los sistemas son importantes de monitorizar. En particular, el sistema cardiocirculatorio es uno de los mas monitorizados dado que es el sistema que puede verse mas afectado. Por ejemplo, el aumento de presión de la vía aérea afecta el retorno venoso, y esto a su vez el volumen minuto cardiaco. Por lo tanto, una modificación de la Paw, puede afectar indirectamente el sistema cardiocirculatorio. De la misma manera, las drogas, la temperatura ambiente, el equilibrio salino, etc. puede afectar al sistema.
- 1.1.4 Analizar Imágenes. El medico de terapia intensiva utiliza para inferir un diagnóstico, imágenes en medicina. Se entiende por esto, el conjunto de todas las imágenes que resultan de diversos estudios, tales como: ecocardiogramas, placa de rayos x, angiografías, tomografías computadas, resonancias magnéticas nucleares, etc.
- 1.1.5 Analizar datos químicos. Esto es un conjunto de datos que se obtienen del laboratorio que permiten observar el estado de diversos órganos, o sistemas. Un

ejemplo es esto puede ser la concentración de proteínas en sangre, el ph o la albumina.

- 1.1.6 Analizar el estado respiratorio. El Sistema respiratorio es uno de los últimos sistemas en desarrollarse totalmente. El surfactante pulmonar comienza a ser sintetizado luego de la sexta semana. Por esta razón, es común que los pacientes recién nacidos de pretermino tengan problemas pulmonares. Entonces, los médicos se ven obligados a un continuo análisis del desarrollo y estado pulmonar mientras que el paciente se encuentra internado.
- 1.1.7 Emitir Diagnóstico. Luego del análisis de cada uno de los puntos mencionados anteriormente, el médico debería emitir el diagnóstico del paciente.

### **Paso 1.2 Tratamiento.**

La cantidad de patologías que un paciente neonatal internado en terapia intensiva es muy grande y diversa. No es el objetivo de esta obra detallar cada uno de los tratamientos aplicables, sino hablar de conjunto de tratamientos.

Los grupos mas importantes son aquellos relacionados con:

- 1.2.1 Regular la temperatura Corporal y la humidificación: En este grupo de actividades, el medico intenta regular la temperatura corporal del paciente. Existen diversos dispositivos que ayudan con este propósito, tales como incubadoras, cunas radiantes servocontroladas, sistemas de humidificación ambiente, etc. El uso de respiradores artificiales con gases comprimidos obligan a utilizar humidificadores servocontrolados que mantienen en buen estado el sistema respiratorio del paciente. Manejar la humidificación: El uso de respiradores artificiales con gases comprimidos obligan a utilizar humidificadores servocontrolados que mantienen en buen estado el sistema respiratorio del paciente.
- 1.2.2 Manejar problemas cardiocirculatorios: esto es un grupo de procedimiento que permiten tratar problemas en la hemodinamia del paciente, cardiacos, arteriales, etc.
- 1.2.3 Manejar la Nutrición y del estado gastrointestinal: El paciente neonatal debe mantener una correcta nutrición para completar su desarrollo en forma óptima y con el tratamiento de enfermedades y trastornos del sistema gastrointestinal
- 1.2.4 Manejar el sistema Respiratorio: debido al la falta de desarrollo del sistema respiratorio es común el tratamiento del sistema respiratorio.
- 1.2.5 Manejar otros problemas: Los pacientes neonatales tienen diversos problemas, imposible de enumerar en la obra. Cada una de estas patologías (malformaciones, problemas genéticos, manejo del equilibrio ácido –base, etc.) tiene procedimientos propios y un tratamiento especial apropiado para cada caso. Todos estos procedimientos están representados por esta tarea.
- 1.2.6 Administrar Drogas. Todas las patologías, tienen en general como tratamiento, la administración de drogas.

### **Paso 1.1.1 Examinar físicamente al paciente.**

Este examen practicado por el médico, se subdivide en dos tareas: examen general y examen segmentario. El examen general es la observación de las siguientes características del paciente: Peso, medidas, posición, movilidad, y piel. También es importante saber la clasificación del paciente recién nacido (RN), pretermino, término o posttermino.

El examen segmentario se basa en la observación de la cabeza, las fontanelas, los ojos, la Nariz, la boca, los oídos, el cuello, el tórax, el abdomen, el ombligo y cordón umbilical, los genitales, la región anal, las extremidades, u el examen neurológico.

### **Paso 1.1.2 Analizar Datos del Parto y de la Madre**

En una gestación amenazada de interrupción prematura, las medidas a tomar pueden ser diferentes según si el feto presenta un crecimiento adecuado o retardado para su edad gestacional. En el retardo del crecimiento intrauterino, la causa más común es la mala nutrición fetal que puede deberse a que la madre recibe una ingesta calórica insuficiente o que dichos aportes calóricos y de oxígeno no lleguen a feto. En este último caso, la alteración puede ser producida por patologías maternas propias de la gestación (hipertensión inducida por el embarazo) o con concomitantes con ella (hipertensión arterial crónica).

Es conveniente la aplicación sistemática de una conducta diagnóstica y terapéutica normalizada ya sea para prevenir el nacimiento de niños de pretermino o para disminuir la morbi-mortalidad neonatal en los casos en que nazcan.

### **Paso 1.1.3 Analizar sistema cardiocirculatorio.**

Desde la quinta semana de vida intrauterina, la circulación fetal está bien establecida, pero el corazón del prematuro es relativamente menos contráctil, tiene mayor contenido de agua y se adapta menos a la sobrecarga cualquier estrés circulatorio. El ritmo cardíaco, es de 150 y 160 por minuto e inversamente proporcional a la edad gestacional y postnatal, la presión arterial varía entre 40 a 50 mmHg, y además, el 77% de los niños que nacen antes de las 31 semanas de gestación tiene ductos permeables y el 90% de los que nacen antes de las 28 semanas también lo tienen, presentando síntomas y signos atribuibles a él. Hay numerosos factores que afectan la presión arterial de los prematuros, enfermedades cardiovasculares, y endocrinas de la madre, tipo de parto, ligadura precoz tardía del cordón, hemorragia fetomaterna, asfisia (liberación de catecolaminas), ventilación mecánica, etc.

Es decir, el sistema circulatorio, puede ser problemático y en consecuencia debe ser diagnosticado en forma continua por el médico.

En la resolución del problema, analizar el sistema cardiocirculatorio, posee la siguiente tarea: Analizar hemodinamia.

#### **Paso 1.1.4 Analizar Imágenes**

En la actualidad, el progreso tecnológico ha permitido otorgarle al control prenatal una mayor complejidad, al poder disponerse de métodos innovadores, con lo que es posible obtener una mayor precisión diagnóstica, la que debe representar mejores expectativas terapéuticas.

#### **Paso 1.1.5 Analizar datos Químicos**

Es importante para un control integral del paciente neonatal, conocer datos que se obtienen mediante análisis químicos. Cada uno de estos datos puede estar relacionado con diversas patologías, de diversos órganos. Se pueden mencionar dentro de estos análisis, los siguientes: análisis de bilirrubina conjugada directa y no conjugada, análisis de iones, análisis de gases en sangre, análisis de glucosa en sangre, tiempo de protrombina, etc.

#### **Paso 1.1.6 Analizar estado Respiratorio**

El manejo de los recién nacidos con dificultad respiratoria exige una amplia base sostén fisiológico general, monitoreo de las funciones vitales y sostén ventilatorio efectivo. La ventilación mecánica de los recién nacidos cambia constantemente con el tiempo debido a que el estado del paciente cambia con el tiempo rápidamente. Esto exige un cuidadoso monitoreo del paciente para que el tratamiento sea el correcto.

Este paso se compone de

- 1.1.6.1 Diagnosticar Patología Pulmonar.
- 1.1.6.2 Analizar Oxigenación.
- 1.1.6.3 Analizar Ventilación.

#### **Paso 1.1.7 Emitir Diagnóstico**

Finalmente, el médico intensivista, luego del análisis físico, del análisis del parto del paciente y de la historia clínica de la madre, del análisis del estado del sistema cardiocirculatorio y del sistema respiratorio, y si fuese necesario, del análisis de las imágenes, debería emitir un diagnóstico. Este finalmente permitiría determinar el mejor tratamiento para revertir la situación actual del paciente, mantenerla o mejorarla según el caso.

## **Alcance de la Tesis**

A continuación se describen los pasos de la tarea que son objeto del desarrollo en la presente obra. Los pasos de Alto nivel, subpasos de la tarea y pasos de bajo nivel se realizan según lo señalado por pasos para su descripción. En el gráfico anterior se puede observar la línea punteada que delimita el alcance de la tesis.

### **Pasos de alto nivel**

Los pasos que deberá ejecutar el sistema experto, son los siguientes:

1.1.3 Analizar sistema circulatorio

1.1.4 Analizar imágenes

➤ Analizar Estado Respiratorio

1.2.3 Manejar Estado Respiratorio

### **Paso 1.1.3 Analizar Sistema circulatorio**

El análisis del sistema circulatorio conlleva un conjunto de estudios que no son parte de la tarea para la resolución del problema. En el dominio de aplicación, es de interés el paso Analizar hemodinámica. Este es solo uno de los pasos que conforman el análisis del sistema circulatorio, pero es el único de interés para la experta en la resolución del problema.

#### *Propósito:*

Determinar problemas sobre el sistema circulatorio relacionados con la ventilación mecánica.

Para llevar a cabo esta tarea, el sistema debe realizar el siguiente paso: Analizar Hemodinamia.

#### *Entrada*

El resultado de la ejecución del paso Analizar Hemodinamia.

#### *Razonamiento:*

Existen dos posibles razones que causan problemas en la oxigenación del paciente, una es una programación inapropiada de los controles relacionados con este parámetro fisiológico, la otra razón es una inadecuada perfusión sanguínea del lecho pulmonar. Es decir, la relación ventilación perfusión afectada.

Si existe una mala oxigenación, y los parámetros programados parecen apropiados, es necesario analizar la hemodinamia del paciente. Si la hemodinamia del paciente es mala, será necesario revertir el problema aplicando la droga apropiada con relación al problema hemodinámico (inotrópicos, vasoconstrictores, etc.)

#### *Salida:*

Dado que en el dominio de aplicación solo interesa el estado hemodinámico, la salida es el estado hemodinámico del paciente.

#### **Paso 1.1.4 Analizar Imágenes**

Como se mencionó anteriormente, son muchas las clases de imágenes que se pueden obtener de un paciente. Entre ellas se puede mencionar ecocardiografía, ultrasonido, radiografías de torax, angiografía digital, tomografía axial computada, etc.

En el dominio de aplicación, solo es importante la radiografía de tórax, por lo que el único subpaso de este paso de alto nivel es: *Analizar Placa RX*.

##### *Propósito:*

Analizar las imágenes obtenidas del paciente que permitan establecer el estado clínico actual.

##### *Entrada:*

El resultado de la ejecución de los subpasos de la tarea. Se ha establecido que la imagen utilizada es la placa de RX. Sin embargo, esta manera de abordar la resolución del problema, permitirá adicionar mas tipos de análisis de otras imágenes en medicina.

##### *Razonamiento:*

Cada uno de los subpasos permitirá asignar valores a los atributos del paciente. Por ejemplo, en el caso del análisis de la placa de RX, se le asigna un valor al atributo espacios intercostales (esto esta en relación directa con el reclutamiento del pulmón del paciente).

##### *Salida:*

Asignación de valor a diferentes atributos del paciente que determinan el estado clínico general del mismo.

#### **Paso 1.1.6 Analizar Estado Respiratorio**

Como se mencionó anteriormente, el estado respiratorio del paciente es importante debido a la falta de desarrollo del mismo en pacientes neonatales. El continuo monitoreo es necesario dado que las características del sistema respiratorio cambian constantemente, y en consecuencia es necesario realizar cambios en el tratamiento.

##### *Propósito:*

Determinar el estado general del paciente relacionado con el sistema respiratorio.

##### *Entrada:*

La asignación de las características dadas por cada uno de los subpasos de la tarea:

Paso 1.1.6.1 Diagnosticar Estrategia de VAFO

Paso 1.1.6.2 Analizar Oxigenación

Paso 1.1.6.3 Analizar Ventilación

*Razonamiento:*

Este paso resulta ser el paso mas importante y con mas conocimientos implícitos. Existe una gran cantidad de reglas asociadas, que dependiendo del estado del paciente, y de su diagnóstico finalmente determinará el tratamiento sugerido. Básicamente se intenta determinar el estado del sistema respiratorio actual del paciente.

*Salida:*

Determinación de la oxigenación del paciente, determinación de la ventilación del paciente, y establecimiento del diagnóstico del paciente, asignando la estrategia y etapa apropiada en la que se encuentra el mismo. Todos estas características son asignadas en los subpasos mencionados.

### **Paso 1.2.3 Manejar Estado Respiratorio**

Luego de establecer el estado general del paciente (oxigenación, ventilación, hemodinamia) y determinar la estrategia de ventilación óptima, es necesario establecer la programación del respirador, esto *es Manejar el estado respiratorio* del paciente.

Hoy, el sistema experto que se está desarrollando es para el manejo del estado respiratorio del paciente, orientado a la programación del respirador de alta frecuencia oscilatoria. Sin embargo, con el fin de dejar abierta la posibilidad de modificar el sistema, y agregarle en algún momento, el manejo respiratorio con otro tipo de dispositivos, se propone un paso de alto nivel, *Manejar Estado Respiratorio*, que hoy posee un solo subpaso, *Manejar Respirador VAFO*; pero que con una pequeña modificación puede tener otro tipo de dispositivo.

*Propósito:*

Establecer la programación del dispositivo que permite asistir mecánicamente al paciente con su ventilación.

*Entrada:*

El resultado de la asignación de valores, resultado de la ejecución de los subpasos. Por el momento, el único subpaso es: *Manejar Respirador VAFO*

*Razonamiento:*

Este paso de alto nivel, es el paso que ofrece una recomendación final sobre la programación del dispositivo utilizado para la asistencia ventilatoria mecánica. El diagnóstico del paciente, junto con las características del dispositivo, darán como

resultado la asignación de valores de parámetros ventilatorios. Estos parámetros pueden programarse directamente desde el dispositivo utilizado.

La presente obra solo esta orientada a la programación del dispositivo: Respirador de alta frecuencia oscilatoria, Marca Sensormedics, Modelo 3100 A.

*Salida:*

Asignación de valores a los atributos del paciente relacionados con la ventilación mecánica: Paw, Flujo, frecuencia, Delta P, etc.

### **Subpasos de la tarea**

Pazos [Pazos J 1996] propone subdividir cualquier paso que conste en más de un pequeño número de acciones de entrada, modos de razonamiento y acciones de salida. Anteriormente se han definido los pasos de alto nivel que deberá ejecutar el sistema experto, describiendo cada uno de los subpasos en que se desglosarán los paso de alto nivel.

#### **SubPaso 1.1.2.1 Analizar hemodinamia**

*Propósito:*

Determinar el estado hemodinámico del paciente que se puede inferir a partir de los signos observados por el médico.

Para llevar a cabo la tarea requerida el sistema debe realizar los siguientes pasos:

- 1.1.2.1.1      Obtener diuresis
- 1.1.2.1.2      Obtener temperatura extremidades.
- 1.1.2.1.3      Catalogar relleno capilar
- 1.1.2.1.4      Catalogar Presión arterial
- 1.1.2.1.5      Emitir diagnóstico (del estado hemodinámico)

*Entrada- Origen de la Entrada*

Las características obtenidas de cada uno de los subpasos que componen la tarea Analizar hemodinamia.

*Razonamiento*

De acuerdo con los valores asignados en la catalogación se infiere el estado de la hemodinamia del paciente.

*Salida*

El estado de la hemodinamia del paciente.

**Paso 1.1.2.2 Analizar Placa RX (rayos x)**

El médico analiza la placa radiográfica con el fin de observar el grado de reclutamiento en y así asignar una valor de presión media sobre la vía aérea apropiado. Además, en caso de sobredistensión puede acusar efectos adversos hemodinámicos. La tarea se compone de los siguientes pasos:

1.1.4.1.1 Inferir Expansión Pulmonar

*Propósito:*

Determinar el grado de reclutamiento del pulmón del paciente.

*Condición inicial:*

Una oxigenación de paciente mala, en estrategia de volumen pulmonar óptimo, en la etapa de pulmón reclutado.

*Entrada – Origen de la Entrada*

El resultado la cantidad de espacios intercostales realizado en el subpaso 1.1.4.1.1 *contar espacios intercostales*.

*Razonamiento:*

Si la cantidad de los espacios intercostales medidos sobre la línea claviclar media derecha (lado del hígado), supera los 8 espacios, estamos ante una presencia de sobredistención. En dicho caso, la presión media aplicada al paciente en su vía aérea debe ser reducida.

Si la cantidad de los espacios interocostales, medidos en el lugar mencionado anteriormente, es inferior a los 8 espacios, existe subdistención, y consecuente aumento de alvéolos colapsados que disminuyen la superficie de intercambio gaseoso. En dicho caso, la relación ventilación perfusión se ve afectada, impactando negativamente en la ventilación del paciente, aumentando la presión parcial de CO<sub>2</sub> en sangre. En este caso, la presión media aplicada sobre la vía aérea del paciente debe ser aumentada.

*Salida – Destino de la salida*

Dependiendo del resultado, se debe aumentar o disminuir la Paw.

**Paso 1.1.6.1 Diagnosticar Estrategia VAFO**

Dependiendo de la estrategia tomada, no solo cambian los valores y umbrales para la catalogación de la oxigenación y ventilación, sino también los pasos a seguir. Es decir la estrategia debe ser el primer paso que realiza el medico para determinar cuales serán los siguientes. Este paso se subdivide en dos subpasos

1.1.6.1.1 Obtener el Diagnostico de la Enfermedad Pulmonar

1.1.6.1.2 Establecer estrategia y etapa de ventilación

Sin duda, este paso tiene una cantidad de subpasos difícil de enumerar, que no son objeto de la presente obra. En la resolución del problema, y con el fin de determinar la estrategia ventilatoria que se debe utilizar con el paciente en cuestión, el medico usuario debe incorporar el valor de la característica solicitada

*Propósito:*

Determinar la estrategia apropiada para el paciente en función de su patología pulmonar.

*Entrada:*

El resultado de la asignación de los atributos realizado en los subpasos 1.1.6.1.2 y 1.1.6.1.1.

*Razonamiento:*

Al establecer la enfermedad pulmonar, se encadena hacia delante una serie de inferencias que determinan finalmente el valor final recomendado de la programación del respirador. Es decir, la enfermedad pulmonar diagnosticada, determina la estrategia y la etapa. Luego, a partir de este punto se desencadenan una serie de razonamientos que, dependiendo de la oxigenación, la ventilación, la hemodinamia, la placa de RX, y la programación actual del respirador, determinarán el valor final de la programación del respirador recomendada.

*Salida:*

El establecimiento de los valores mínimos y máximos aceptables para determinar el estado de oxigenación y ventilación del paciente; como así también, el conjunto de pasos a seguir.

### **Paso 1.1.6.2 Analizar Oxigenación**

En ventilación oscilatoria de alta frecuencia, la oxigenación del paciente es independiente de la ventilación. Esta característica permite programar algunos parámetros del respirador, dependiendo del estado de oxigenación actual del paciente, e independientemente del valor de la ventilación. Los controles o parámetros relacionados con la oxigenación son: Paw, presión media en la vía aérea del paciente, y FIO<sub>2</sub>, fracción inspirada de oxígeno.

*Proposito:*

Determinar la oxigenación del paciente.

*Razonamiento:*

La oxigenación del paciente puede ser buena o mala, y para determinar esto es necesario realizar los subpasos 1.1.6.2.1, 1.1.6.2.2, y 1.1.6.2.3. El resultado de estos subpasos, junto con la determinación de la estrategia ventilatoria y la etapa ventilatoria, inferirán el valor de la oxigenación del paciente.

*Salida:*

El estado de la oxigenación del paciente que se determina a partir de las características que se tengan provenientes de los subpasos mencionados.

**Paso 1.1.6.3 Analizar Ventilación**

Como se mencionó en el paso anterior, la ventilación es independiente de la oxigenación, y esta puede verse modificada en función de los valores asignados sobre la programación del respirador. El control que modifica la ventilación del paciente es: Delta P.

*Propósito:*

Determinar el valor de la ventilación del paciente

*Razonamiento:*

La ventilación, puede ser alta normal o mala, dependiendo de los valores determinados en los subpasos 1.1.6.3.1, 1.1.6.3.2 y 1.1.6.3.3. Es necesario mencionar que los umbrales para asignar el valor de la ventilación del paciente será dependiente no solo del valor asignado en los subpasos mencionados, sino también de la estrategia de VAFO.

*Salida:*

La determinación del atributo estado, del concepto Ventilación.

**Paso 1.2.3.1 Manejar Respirador VAFO**

Una vez diagnosticado en estado del paciente, es necesario realizar los cambios en la programación del respirador.

*Propósito:*

Determinar la nueva programación del respirador. Para eso es necesario realizar los subpasos

- 1.2.3.2.1 Programar la Frecuencia
- 1.2.3.2.2 Programar la FIO<sub>2</sub>
- 1.2.3.2.3 Programar el delta P
- 1.2.3.2.4 Programar la Paw

La ejecución de cada uno de estos subpasos determina finalmente la programación total del respirador de alta frecuencia oscilatoria.

*Entrada:*

Valor de la oxigenación del paciente

Valor del estado de la ventilación del paciente

Programación anterior del respirador

Cantidad de espacios intercostales de la placa de Rx del paciente

Valor del estado hemodinámico del paciente

*Razonamiento:*

Los valores de oxigenación, y ventilación del paciente, y si fuese necesario, del estado hemodinámico del paciente, determinarán junto con la etapa y estrategia en la que se encuentre el usuario, los valores a programar. De esta forma, se determina el valor final de cada parámetro en la programación del respirador.

*Salida:*

Determinación de Paw, Delta P, FIO<sub>2</sub>, Flujo base, y frecuencia respiratoria.

**Subpasos de Bajo Nivel**

**Paso 1.1.3.1.1 Obtener Diuresis**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Diuresis (del concepto hemodinamia). Los valores posibles son Mala y Buena.

*Entrada:*

El medico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla.

*Razonamiento:*

La diuresis debe ser buena para que el estado hemodinámico del paciente sea bueno. Es decir, si el medico observa una diuresis mala del paciente en las últimas horas, es probable que la hemodinamia no sea buena. Por lo tanto, en caso de que se incorpore un valor de Malo al atributo Diuresis del concepto Hemodinamia, se asignará un valor de Mala al valor del atributo estado del mismo concepto.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

### **Paso 1.1.3.1.2 Obtener Temperatura extremidades**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Temperatura\_extremidades (del concepto hemodinamia). Los valores posibles son Baja, Normal y Alta.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla.

*Razonamiento:*

La temperatura de las extremidades del paciente debe ser normal para que el estado hemodinámico del paciente sea bueno. Es decir, si el medico observa una temperatura baja en las piernas o en los brazos del paciente, es probable que la hemodinámia no sea buena. Por lo tanto, en caso de que se incorpore un valor de Bajo al atributo Temperatura\_extremidades del concepto Hemodinamia, se asignará un valor de Mala al valor del atributo estado del mismo concepto.

En caso de que se le asigne un valor de Normal o Alta, al atributo Temperatura\_extremidades, no se puede concluir nada respecto al valor del atributo estado (del concepto Hemodinamia).

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

### **Paso 1.1.3.1.3 Catalogar Relleno Capilar**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Relleno\_capilar (del concepto hemodinámia). Los valores posibles son Malo y Bueno.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla. Es el profesional, quien con su experiencia deberá realizar las pruebas clínicas estándares para asignar el valor apropiado al atributo. Todas estas pruebas son ampliamente conocidas y no es necesario aclarar como se realizan.

*Razonamiento:*

El relleno capilar debe ser Bueno para que el estado hemodinámico del paciente sea bueno. Es decir, si el médico observa un Relleno Capilar malo del paciente, es probable que la hemodinámia no sea buena. Por lo tanto, en caso de que se incorpore un valor de Malo al atributo Relleno\_Capilar del concepto Hemodinamia, se asignará un valor de Mala al valor del atributo estado del mismo concepto.

En general la prueba mas conocida es la de la presión sobre el esternón del paciente. El medico presiona con su pulgar sobre el tórax del paciente, en la región del esternón. La presión se realiza con la fuerza suficiente como para reducir el contenido sanguíneo en la zona. Para eso es necesario presionar aproximadamente 3 o 4 segundos. Luego se retira el pulgar y se observa la zona que había sido presionada. El tiempo normal de relleno capilar es de unos 4 a 5 segundos. Si el tiempo necesario para que se rellene el contenido sanguíneo es superior, entonces el relleno capilar es malo.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.1.3.1.4 Catalogar Presión Arterial**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Presion\_arterial (del concepto hemodinamia). Los valores posibles son Baja, Normal y Alta

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla.

*Razonamiento:*

Si la presión arterial del paciente es Baja, es probable que el estado hemodinámico del paciente sea Malo. En caso que la presión arterial sea bueno o normal, no se puede concluir nada respecto al estado hemodinámico del paciente.

Es necesario mencionar que los valores de presión para determinar si un paciente tiene presión normal, baja o alta depende de múltiples factores (edad gestacional, dias de nacimiento, drogas administradas, sexo, problemas en el parto, temperatura, cuadros virosicos, asfixia, problemas congénitos, etc), y en consecuencia no es posible establecer valores absolutos. Es el medico, que analizando el caso, puede determinar si para ese paciente, ese día, con las drogas administradas, etc, tiene una presión arterial normal para el caso.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.1.3.1.5 Emitir Diagnóstico**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Estado del concepto Hemodinamia.

*Entrada:*

El resultado de los pasos 1.1.3.1.1, 1.1.3.1.2, 1.1.3.1.3, 1.1.3.1.4 y 1.1.3.1.5, que permitieron asignar valores a los atributos Diuresis, Temperatura\_extremidades, Relleno\_capilar y Presión\_capilar del concepto Hemodinamia.

*Razonamiento:*

Si el valor del atributo Diuresis es Mala, entonces el valor del atributo Hemodinamia:Estado es Malo. Si el valor del atributo Temperatura\_extremidades es Baja, entonces el valor del atributo Hemodinamia:Estado es Malo. Si el valor del atributo Presion\_arterial es Baja, entonces el valor del atributo Hemodinamia:Estado es Malo. Si el valor del atributo Relleno\_capilar es Malo, entonces el valor del atributo Hemodinamia:Estado es Malo.

*Salida:*

Asignación del valor del concepto Hemodinamia:Estado.

**Paso 1.1.4.1.1 Inferir Expansión Pulmonar**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Eic del concepto Paciente.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla cuando le sea requerido. El médico deberá tener una placa radiográfica del tórax del paciente, reciente respecto a la consulta del sistema. De esa placa, interesa la cantidad de espacios intercostales que se miden sobre la línea media clavicular derecha del paciente. Se le aclarará al usuario donde deben ser contados los espacios intercostales

*Razonamiento:*

Si el valor asignado al atributo Eic (espacios intercostales) del concepto Paciente es 8, entonces el reclutamiento del pulmón es correcto. Sin embargo, si es menor a 8, el pulmón se encuentra subreclutado, y será necesario recomendar un incremento de Paw para revertir el cuadro. Por otro lado, si el valor asignado al atributo Eic es mayor a 8, entonces el pulmón del paciente se encuentra sobredistendido, y será necesario recomendar reducir la Paw.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

**Paso 1.1.6.1.1 Diagnosticar Enfermedad Pulmonar**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Diagnóstico del concepto Paciente. El sistema experto considera 3 patologías, Síndrome de Diestress Respiratorio (o Membrana Hialina), Enfisema Intersticial, y Neumotorax.

*Entrada:*

El medico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla en el momento que realice una consulta. El diagnóstico determina la estrategia a utilizar y este dato es importante dado que es mediante el cual algunas reglas no quedan activas o otras si. Además los umbrales para el análisis de la oxigenación del paciente (paso 1.1.6.2) se modifican dependiendo del diagnóstico del paciente.

*Razonamiento:*

Este paso no conlleva un razonamiento, solo esta relacionado con la asignación del valor del atributo.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos. Este dato será utilizado en el paso 1.1.6.1.2 para determinar la estrategia apropiada.

**Paso 1.1.6.1.2 Establecer estrategia y Etapa de ventilación**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Estrategia y al atributo Etapa del concepto Paciente.

*Condición Inicial:*

Es necesario la ejecución de los paso 1.1.6.1.1

*Entrada:*

El resultado de la ejecución del paso 1.1.6.1.1. Este paso asignó el valor del atributo Diagnostico del concepto Paciente.

*Razonamiento:*

Si el atributo Diagnostico es Enfisema, entonces se asigna como valor del atributo Estrategia, VPM (volumen pulmonar mínimo), y como valor del atributo Etapa, Cicatrización.

Si el atributo Diagnóstico es SDR, entonces se asigna como valor del atributo Estrategia, VPO (volumen pulmonar óptimo), y el valor del atributo etapa se le pregunta al usuario por medio de una pantalla. Los valores posibles son: Reclutamiento y Reclutado.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.1.6.2.1 Obtener Saturación**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Sat\_nueva del concepto Oxigenación.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla de consulta.

*Razonamiento:*

No tiene razonamiento. El usuario debe incorporar el valor de la saturación que observa en el monitor correspondiente.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.1.6.2.1 Obtener PO2**

Propósito:

Asignar un valor al atributo PO2\_nueva del concepto Oxigenación.

*Condición Inicial:*

Este no siempre se encuentra disponible. Por esta razón, es necesario que en tiempo de ejecución se le pregunte al usuario si dispone de los datos de gases en sangre. En caso de que si estén disponibles, el valor del atributo Gases del concepto paciente será SI. Esta es la condición necesaria para que se catalogue la PO2.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla de consulta.

*Razonamiento:*

No tiene razonamiento. El usuario debe incorporar el valor de la PO2 que observa en el monitor correspondiente o en el análisis de gases en sangre.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

### **Paso 1.1.6.2.3 Emitir Diagnóstico Oxigenación**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Estado del concepto Oxigenación.

*Condición Inicial:*

Es necesario la ejecución del los pasos 1.1.6.2.1, y 1.1.6.1.2

*Entrada:*

El resultado de la ejecución de los pasos 1.1.6.2.1, 1.1.6.2.2 (opcional) y 1.1.6.1.2. Es decir, los valores de los atributos: Sat\_nueva, PO2\_nueva del concepto Oxigenación y Estrategia y Etapa del concepto Paciente.

*Razonamiento:*

El razonamiento permitirá inferir el valor del estado de la oxigenación del paciente, atributo estado del concepto Oxigenación, a partir de los valores asignados a los atributos PO2 y Saturación. El sistema debe permitir además, inferir el estado de la oxigenación aunque no se tengan los valores de los gases en sangre. De esta manera, si están disponibles, el valor del atributo PO2 será tomado en cuenta, mientras que si los gases en sangre no están disponibles, no será tenido en cuenta.

Para esto se utiliza el valor del atributo Gases del concepto Paciente. Cuando este tenga asignado un SI, la PO2 si se tomará como un atributo válido.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

### **Paso 1.1.6.3.1 Obtener PCO2**

Propósito:

Asignar un valor al atributo PCO2\_nueva del concepto Ventilación.

*Condición Inicial:*

Este no siempre se encuentra disponible. Por esta razón, es necesario que en tiempo de ejecución se le pregunte al usuario si dispone de los datos de gases en sangre. En caso de que si estén disponibles, el valor del atributo Gases del concepto paciente será SI. Esta es la condición necesaria para que se catalogue la PCO2.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla de consulta.

*Razonamiento:*

No tiene razonamiento. El usuario debe incorporar el valor de la PCO<sub>2</sub> que observa en el monitor correspondiente o en el análisis de gases en sangre.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos

**Paso 1.1.6.3.1 Catalogar Vibración del Pecho**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Vibración del concepto Ventilación.

*Entrada:*

El médico usuario asigna el valor del atributo por medio de la pantalla de consulta.

*Razonamiento:*

No tiene razonamiento. El usuario debe incorporar el valor del atributo que observa directamente. La vibración del pecho del paciente se observa a simple vista.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos

**Paso 1.1.6.2.3 Emitir Diagnóstico Ventilación**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Estado del concepto Ventilación.

*Condición Inicial:*

Es necesario la ejecución de los pasos 1.1.6.3.2, y 1.1.6.1.2

*Entrada:*

El resultado de la ejecución de los pasos 1.1.6.3.2, 1.1.6.3.1 (opcional) y 1.1.6.1.2. Es decir, los valores de los atributos: Vibración, PCO2\_nueva del concepto Ventilación y Estrategia y Etapa del concepto Paciente.

*Razonamiento:*

Al igual que el atributo Estado del concepto Oxigenación, el atributo Estado del concepto Ventilación, es inferido por el sistema a partir de los valores Vibración del pecho y PCO2, obtenidos en los pasos 1.1.6.3.1 y 1.1.6.3.2. Luego, si la variable Gases del concepto paciente tiene como valor un SI, se toma para inferir el valor del Estado el valor de la PCO2 y vibración. En caso contrario, solo se toma el valor correspondiente al atributo Vibración del pecho del paciente.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.2.3.2.1 Programar Frecuencia**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Frecuencia del concepto Recomendación.

*Entrada:*

El valor del atributo Peso del concepto Paciente

*Razonamiento:*

El experto ha aclarado que la frecuencia del respirador depende del peso del paciente. Por lo tanto, se infiere el valor de la Frecuencia respiratoria del paciente a partir del peso del paciente. Existen tablas en la bibliografía consultada que indican que en neonatología la frecuencia a programar es 10 Hz si el peso es superior a 2000 grs, y 15 Hz si el peso es inferior al valor mencionado.

*Salida:*

Memoria de la base de conocimientos.

#### **Paso 1.2.3.2.1 Programar FIO2**

Propósito:

Asignar un valor al atributo FIO2 del concepto Recomendación.

*Condición Inicial:*

Pasos 1.1.6.2.1, 1.1.6.2.2, 1.1.6.2.3 y 1.1.6.1.2

*Entrada:*

Valor del atributo Oxigenacion:FIO2, Oxigenacion:Estado, y Paciente:Etapa

*Razonamiento:*

De acuerdo con la Etapa en la que se encuentre el paciente, y el estado de la oxigenación, y la FIO2 anterior, se asignará un valor nuevo al atributo FIO2 del concepto Recomendación

*Salida:*

Se mostrará el valor inferido en pantalla y se le permitirá al usuario expandir la explicación del porque de la nueva programación.

### **Paso 1.2.3.2.1 Programar Delta P**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Delta P del concepto Recomendación.

*Condición Inicial:*

Pasos 1.1.6.3.1 (opcional), 1.1.6.3.2, 1.1.6.3.3 y 1.1.6.1.2

*Entrada:*

Valor del atributo Ventilacion:Vibración, Ventilación:PCO2, y Paciente:Etapa

*Razonamiento:*

De acuerdo con la Etapa en la que se encuentre el paciente, y el estado de la ventilacion, y el delta P anterior, se asignará un valor nuevo al atributo Delta P del concepto Recomendación

*Salida:*

Se mostrará el valor inferido en pantalla y se le permitirá al usuario expandir la explicación del porque de la nueva programación.

**Paso 1.2.3.2.1 Programar Paw**

Propósito:

Asignar un valor al atributo Paw del concepto Recomendación.

*Condición Inicial:*

Pasos 1.1.6.2.1, 1.1.6.2.2, 1.1.6.2.3 y 1.1.6.1.2

*Entrada:*

Valor del atributo Oxigenacion:FIO2, Oxigenacion:Estado, y Paciente:Etapa

*Razonamiento:*

De acuerdo con la Etapa en la que se encuentre el paciente, y del estado de la oxigenación, la FIO2 anterior y la Paw, se asignará un valor nuevo al atributo Paw del concepto Recomendación

Salida:

Se mostrará el valor inferido en pantalla y se le permitirá al usuario expandir la explicación del porque de la nueva programación.

**Seudoreglas**

**Como inferir el Diagnóstico de la Hemodinámia**

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>La hemodinámia del paciente se observa por medio de parámetros monitorizados, y por medio de datos clínicos. Por ejemplo, si para comprobar la estabilidad hemodinámica, se presiona el esternón del paciente y se observa cuanto tiempo lleva el relleno capilar, en general debería ser cercano a los 5 segundos. Otro dato clínico es la temperatura de los pies y el color del paciente. La presión arterial debe mantenerse dentro de los valores normales...te recuerdo que esos valores normales varían día a día. Los neonatos tiene valores de Presión arterial que dependen del peso, y de la edad gestacional. Luego la diuresis de las últimas horas daría una idea del filtrado renal...creo que es importante preguntar si es normal. Estos datos son muy conocidos en terapia intensiva...</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Diuresis, o la Temperatura Periférica, o la Presión Arterial, o el Relleno capilar no se encuentra dentro de los valores normales, entonces el Estado Hemodinámico del paciente es Malo
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Hemodinamia11, [],     {Hemodinamia:Diuresis != Mala;},     {Hemodinamia:Estado = Mala;});  MakeRule( Hemodinamia10, [],     {Hemodinamia:Relleno_capilar != Malo;},     {Hemodinamia:Estado = Mala;});  MakeRule( Hemodinamia12, [],     {Hemodinamia:Temperatura_extremidades != Baja;},     {Hemodinamia:Estado = Mala;});  MakeRule( Hemodinamia13, [],     {Hemodinamia:Presion_arterial != Baja;},     {Hemodinamia:Estado = Mala;});  MakeRule( Hemodinamia2, [],     {Hemodinamia:Diuresis != Buena And Hemodinamia:Relleno_capilar </pre>

	<pre>                 != Bueno And Hemodinamia:Temperatura_extremidades                 != Normal                  And Hemodinamia:Presion_arterial != Normal;},                 {Hemodinamia:Estado = Buena;}             </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Hemodinamia10, Hemodinamia11, Hemodinamia12, . Hemodinamia13, Hemodinamia2</b>

### Como Inferir la Expansión Pulmonar

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Si tenemos mas de 8 espacios intercostales, que se miden en la línea medio clavicular, del lado del hígado, entonces estamos ante un caso de sobredistensión y hay que reducir la presión. Si no hay mas de 8 espacios, podríamos aumentar la presión para lograr un adecuado reclutamiento...</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la cantidad de espacios intercostales es inferior a 8, entonces aumentar la Paw 2 cmH2O. Si la cantidad de espacios intercostales es superior a 8, entonces reducir la Paw 1 cmH2O
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( EIC_2, [],   {Paciente:Eic &lt; 8;},   {Recomendación:Oxigenacion = TRUE; Recomendación:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva + 2;}; MakeRule( c, [],   { Paciente:Eic &gt; 8;},   { Recomendación:Oxigenacion = TRUE; Recomendación:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva - 1;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>EIC_2, EIC_3</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Si es mala, hay que observar los espacios intercostales y ver si hay sobredistensión que afecte la hemodinamia del paciente aunque los espacios pueden ser 8, y la hemodinamia puede estar comprometida por otro problema..hemorragias, falta de liquido, etc.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Cantidad de espacios intercostales es 8, entonces observar el estado hemodinámico del paciente
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( EIC_4, [],   { Paciente:Eic != 8; },   { Hemodinamia:Diuresis = Null; Hemodinamia:Relleno_capilar = Null; Hemodinamia:Temperatura_extremidades = Null; Hemodinamia:Presion_arterial = Null; Hemodinamia:Estado = Null;</pre>

	<pre>AskValue( Hemodinamia:Diuresis ); AskValue( Hemodinamia:Relleno_capilar ); AskValue( Hemodinamia:Temperatura_extremidades ); AskValue( Hemodinamia:Presion_arterial ); } );</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>EIC_4</b>

### Como inferir la Estrategia y la Etapa de la Ventilación

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<p><i>Sí, nosotros usamos el oscilador principalmente en dos tipos de patologías, SDR (Síndrome de Diestress Respiratorio), y patologías de escapes de aire, es decir neumotorax y enfisema intersticial. Cada patología determina la estrategia ventilatoria a utilizar...</i></p> <p><i>... Entonces, primero en la etapa de reclutamiento, la FIO2 está en 100%, siempre...</i></p> <p><i>... Cuando llegamos a la etapa de pulmón reclutado, entonces la oxigenación...</i></p>
<b>Formulación externa de la regla</b>	<p>Si el Diagnóstico es SDR, entonces la Estrategia es VPO.</p> <p>Si la Estrategia es VPO, entonces preguntar al Medico cual es la Etapa.</p> <p>Si el Diagnostico es Neumotorax o Enfisema Instersticial, entonces la Estrategia es VPM</p> <p>Si la Estrategia es VPM, entonces la Etapa es Cicatrización</p>
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( SDR, [],   { Paciente:Diagnostico != SDR; },   { Paciente:Estrategia = VPO;     AskValue( Paciente:Etapa );     Assert( Paciente:Etapa ); } );  MakeRule( neumotorax, [],   { Paciente:Diagnostico != Neumotorax; },   { Paciente:Estrategia = VPM; } );  MakeRule( Enfisema, [],   { Paciente:Diagnostico != Enfisema; },   { Paciente:Estrategia = VPM; } );  MakeRule( Etapa1, [],   { Paciente:Estrategia != VPM; },   { Paciente:Etapa = Cicatrizacion; } ); </pre>

<b>Nombre de la Regla</b>	<b>SDR, neumotorax, Enfisema, Etapa1</b>
---------------------------	--

**Cómo inferir el Diagnóstico de la Oxigenación**

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<p>... Entonces si estamos con una membrana hialina, utilizamos la estrategia de volumen Pulmonar Óptimo....</p> <p>...Bajas la FiO2 cuando llegas a la presión de apertura, manteniendo la oxigenación del paciente bien, digamos PO2 de 50-60 mmHg en una membrana hialina, con una saturación postductal de 88 a 93% o 91% a 96% preductal...</p>
<b>Formulación externa de la regla</b>	<p>Si la saturación postductal es mayor a 88% o la preductal mayor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es buena.</p> <p>Si hay gases en sangre y la PO2 se encuentra entre 50 a 60 mmHg entonces la oxigenación es buena.</p> <p>Si la saturación postductal es menor a 88% o la preductal menor a 91% y la estrategia es Volumen Pulmonar Óptimo, entonces la oxigenación es mala.</p> <p>Si hay gases en sangre y la PO2 es menor a 50 mmHg entonces la oxigenación es mala.</p>
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Saturacion1, [],   { ( Paciente:Etapa #= Reclutamiento Or Paciente:Etapa #= Reclutado )     And Oxigenacion:Sat_nueva &gt; 91; },   { Oxigenacion:Estado = Buena; } ); SetRulePriority( Saturacion1, 10 );  MakeRule( Saturacion2, [],   { ( Paciente:Etapa #= Reclutamiento Or Paciente:Etapa #= Reclutado )     And Oxigenacion:Sat_nueva &lt; 92; },   { Oxigenacion:Estado = Mala; } ); SetRulePriority( Saturacion2, 10 );  MakeRule( PO2_1, [],   { Paciente:Gases #= SI And ( Paciente:Etapa #= Reclutamiento                                 Or Paciente:Etapa #= Reclutado )     And Oxigenacion:PO2_nueva &gt; 50; },   Oxigenacion:Estado = Buena );         </pre>

	<pre> MakeRule( PO2_2, [],   { Paciente:Gases != SI And ( Paciente:Etapa != Reclutamiento                                 Or Paciente:Etapa != Reclutado )     And Oxigenacion:PO2_nueva &lt; 51; },   Oxigenacion:Estado = Mala );         </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Saturación1, Saturacion2, PO2_1, PO2_2</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<p><i>Lo mismo sucede con la saturación preductal, digamos que puede estar en 89%, idealmente en 91% y no subir la presión media!</i></p> <p><i>En este caso, la FIO2 se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón...</i></p>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es cicatrización y la saturación del paciente es mayor a 89% entonces la oxigenación es Buena.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Saturacion3, [],     {Paciente:Etapa #= Cicatrizacion And Oxigenacion:Sat_nueva &gt; 89; },     { Oxigenacion:Estado = Buena; } );  MakeRule( Saturacion4, [],     { ( Paciente:Etapa #= Cicatrizacion ) And Oxigenacion:Sat_nueva &lt; 90; },     { Oxigenacion:Estado = Mala; } );         </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Saturacion3, Saturacion4</b>

### Como Inferir el Diagnóstico de la Ventilación

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Bueno, al mismo tiempo que haces los cambios en la Paw tenes que ir cambiando la amplitud. Acá el target, el objetivo es lograr una PaCO2 que este entre 45 y 55 mmHg. Los cambios de Co2 son muy rápidos y en general no constituye un problema. El dato clínico mas importante es la vibración del pecho. Esto es importante porque los gases en sangre no siempre están disponibles y hay suficiente datos clínicos que dicen que si la vibración del pecho es visible, entonces el delta P es correcto. Si hay gases es obvio que se usa la PCO2.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	<p>Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO2 es menor a 45 mmHg entonces la ventilación es alta</p> <p>Si los gases en sangre están disponibles y la estrategia es VPO y la PCO2 es mayor a 55 mmHg entonces la ventilación es baja.</p> <p>Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y existe vibración del pecho entonces la ventilación es normal.</p> <p>Si los gases no se encuentran disponibles y la estrategia es VPO y no existe vibración del pecho entonces la ventilación es baja.</p>
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( PCO2_1, [],     {Paciente:Gases != SI And ( Paciente:Etapa != Reclutamiento Or Paciente:Etapa != Reclutado )     And Ventilacion:PCO2_nueva &lt; 45; },     { Ventilacion:Estado = Alta; } );  MakeRule( PCO2_2, [],     {Paciente:Gases != SI And ( Paciente:Etapa != ReclutamientoOr Paciente:Etapa != Reclutado )     And Ventilacion:PCO2_nueva &gt; 55; },     { Ventilacion:Estado = Mala; } );  MakeRule( PCO2_3, [],     {Paciente:Gases != SI And ( Paciente:Etapa != Reclutamiento Or Paciente:Etapa != Reclutado )     And Ventilacion:PCO2_nueva &lt; 55 And Ventilacion:PCO2_nueva &gt; 45; },     { Ventilacion:Estado = Normal; } );         </pre>

<b>Nombre de la Regla</b>	<b>PCO2_1, PCO2_2, y PCO2_3</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<p><b>Palabras del Experto</b></p>	<p><i>(en Estrategia VPM y Etapa Cicatrización)...y el delta P logrando una PCO2 inferior a 60 mmHg y superior a 55mmHg. Si la PCO2 es superior a 60 entonces hay que aumentar el deltaP, si es inferior a 55 hay que disminuir el delta P...</i></p> <p><i>...y el delta P logrando una PCO2 inferior a 60 mmHg y superior a 55mmHg. Si la PCO2 es superior a 60 entonces hay que aumentar el deltaP, si es inferior a 55 hay que disminuir el delta P...</i></p> <p><i>Es decir, solo varían el objetivo de PCO2, el objetivo de saturación o Po2, de 55 mmHg y la Presión media inicial...</i></p>
<p><b>Formulación externa de la regla</b></p>	<p>Si hay datos de Gases en sangre disponibles, y la PCO2 es inferior a 55 mmHg, entonces la Ventilación es alta.</p> <p>Si hay datos de Gases en sangre disponibles, y la PCO2 es superior a 60 entonces la ventilación es Mala.</p>
<p><b>Formulación en la Herramienta</b></p>	<pre> MakeRule( PCO2_4, [],     {Paciente:Gases != SI And Paciente:Etapa != Cicatrizacion And Ventilacion:PCO2_nueva &lt;55;},     { Ventilacion:Estado = Alta;} );  MakeRule( PCO2_5, [],     { Paciente:Gases != SI And Paciente:Etapa != Cicatrizacion And Ventilacion:PCO2_nueva &gt; 60; },     { Ventilacion:Estado = Mala; } );  MakeRule( PCO2_6, [],     {Paciente:Gases != SI And Paciente:Etapa != Cicatrizacion And     Ventilacion:PCO2_nueva &lt; 60 And Ventilacion:PCO2_nueva     &gt; 55; },     { Ventilacion:Estado = Normal; } );         </pre>
<p><b>Nombre de la Regla</b></p>	<p>PCO2_4, PCO2_5, PCO2_6</p>



Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>El dato clínico mas importante es la vibración del pecho. Esto es importante porque los gases en sangre no siempre están disponibles y hay suficiente datos clínicos que dicen que si la vibración del pecho es visible, entonces el delta P es correcto, sino hay que cambiar el valor un...</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	<p>Si no hay gases disponibles, entonces observar el pecho del paciente.</p> <p>Si la vibración del pecho es enérgica (se observa), entonces la ventilación es Alta.</p> <p>Si la vibración del pecho es nula o poco (no se observa), entonces la ventilación es Mala.</p> <p>Si la Vibración del Pecho es normal, entonces la ventilación es Normal.</p>
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Vibracion1, [],   { Paciente:Gases #= NO; },   { AskValue( Ventilacion:Vibracion );   Assert( Ventilacion:Vibracion ); } );  MakeRule( Vibracion2, [],   { Ventilacion:Vibracion #= Enérgicamente; },   { Ventilacion:Estado = Alta; } );  MakeRule( Vibracion3, [],   { Ventilacion:Vibracion #= Nula Or   Ventilacion:Vibracion #=   Poco; },   { Ventilacion:Estado = Mala; } );  MakeRule( Vibracion4, [],   { Ventilacion:Vibracion #= Normal; },   { Ventilacion:Estado = Normal; } ); </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Vibracion1, Vibracion2, Vibracion3, Vibracion4.</b>



**Cómo inferir la Programación de la Frecuencia**

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si el peso del paciente es inferior a los 2000 grs, la frecuencia debería ser 15 Hz, en caso contrario 10Hz
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Frecuencia, [],   {Paciente:Peso&gt;2000; },   { Recomendación:Frecuencia = 10;}  MakeRule( Frecuencia1, [],   {Paciente:Peso&lt;2000; },   { Recomendación:Frecuencia = 15;} </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Frecuencia, Frecuencia1</b>

### Cómo inferir la Programación de la FIO2

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Entonces, primero en la etapa de reclutamiento, la FIO2 está en 100%, siempre, y se aumenta la presión para reclutar el pulmón. Luego, cuando el pulmón se encuentra reclutado, se reduce la FIO2 a 40%. Y luego cuando la FIO2 es menor a 40%, se reduce la paw.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la FIO2 es mayor a 40% y la etapa es pulmón reclutado y la oxigenación es buena entonces se debe reducir la FIO2.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre>MakeRule( FIO2_1, [],     {Paciente:Etapa #= Reclutado And     Oxigenacion:FIO2_nueva &gt; 40     And Oxigenacion:Estado #= Buena; },{     Recomendación:Oxigenacion = TRUE;     Recomendación:FIO2 = Oxigenacion:FIO2_nueva*0.9;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>FIO2_1</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<p><i>Lo mismo sucede con la saturación preductal, digamos que puede estar en 89%, idealmente en 91% y no subir la presión media!.</i></p> <p><i>En este caso, la FIO2 se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón...</i></p>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es Cicatrización y la Oxigenación es mala y la FIO2 es menor a 100 entonces programar la FIO2 en 100%
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre>MakeRule( FIO2_3, [],     { Paciente:Etapa #= Cicatrizacion And     Oxigenacion:Estado #=     Mala And Oxigenacion:FIO2_nueva &lt; 100; },     { Recomendación:Oxigenacion = TRUE;</pre>

	Recomendación:FIO2 = 100;}
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>FIO2_3</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>La oxigenación del paciente en el momento del reclutamiento, siempre es mala, hasta que se recluta el pulmón, y entonces la FIO2 siempre debe ser 100%, estamos en un rescate!. La oxigenación no es buena en el reclutamiento por definición, si es buena, entonces estamos en la etapa de pulmón reclutado!!</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la etapa es reclutamiento, entonces la FIO2 es 100%
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre>MakeRule( FIO2_5, [],   {Paciente:Etapa #= Reclutamiento And Oxigenacion:Estado #=Mala And Oxigenacion:FIO2_nueva &lt; 100; },   { Recomendación:FIO2 = 100;     Recomendación:Oxigenacion = TRUE;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>FIO2_5.</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Entonces inicialmente bajas la FIO2 hasta aproximadamente 60%, y luego bajas la paw, no mas de 3 puntos por debajo de la presión inicial. Si la oxigenación sigue siendo buena, solo hay que esperar hasta que cicatrice el pulmón.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es cicatrización, la oxigenación es buena, la FIO2 es mayor a 60%, y la diferencia entre la Presión inicial y la actual es mayor a 3 cmH2O, entonces disminuir la FIO2 un 10%
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre>MakeRule( FIO2_6, [],   {Paciente:Etapa #= Cicatrizacion And Oxigenacion:Estado #=Buena And Oxigenacion:FIO2_nueva &gt; 60 And (     Oxigenacion:Paw_inicial - Oxigenacion:Paw_nueva&gt;3 ); },   {Recomendación:Oxigenacion = TRUE;     Recomendación:FIO2 = Oxigenacion:FIO2_nueva * 0.9;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>FIO2_6</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la etapa es reclutamiento, y la oxigenación es buena, entonces recomendar la reducción de la FiO2, e informar que es probable que el pulmón está reclutado.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( FIO2_6, [],     { Paciente_actual:Etapa #= Reclutamiento And     Oxigenacion_actual:Estado #= Buena;},     { Recomendacion_actual:FIO2 =     Oxigenacion_actual:FIO2_nueva * 0.9;     Recomendacion_actual:Oxigenacion = TRUE;     OpenWriteFile( FIO2.txt, APPEND );     WriteLine( "Dado que:" );     WriteLine( "El paciente tiene una oxigenación buena." );     WriteLine( "Usted informó que el pulmón del paciente no se     encontraba reclutado. Es probable que si esté reclutado!" );     WriteLine( "A partir de este momento, no se recomiendan     aumentos en la Paw, sino una reduccion de la FIO2. El     objetivo en esta etapa es reducir la concentración de oxigeno. "     );     WriteLine( "Por lo tanto, se recomienda llevar la FiO2 de " #     Oxigenacion_actual:FIO2_nueva # " a " #     Recomendacion_actual:FIO2 # % );     WriteLine( "El pulmón parece estar reclutado. Compruebe con     Placa Rx y obtenga gases en sangre." );     WriteLine( "Se recomienda esperar entre 10 a 15 minutos para     realizar la siguiente consulta. " );     WriteLine( " " );     CloseWriteFile( ); }; </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Reclutamiento_2</b>

**Como inferir la Programación del Delta P**

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Después el dato más importante es la PCO2. Es decir, inicialmente se utiliza el dato clínico, vibración del pecho, luego se esperan los gases en sangre para estar seguros de que la ventilación es apropiada. La idea es que luego de saber si la ventilación es mala, se aumentará el valor del delta P, y en caso contrario aumentaremos el valor...siempre un 10 % aproximadamente</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	<p>Si la Ventilación es Alta, entonces reducir el delta P actual.</p> <p>Si la Ventilación es Mala, entonces se debe aumentar el Delta P actual un 10%</p> <p>Si la Ventilación el Normal, entonces no modificar el delta P actual.</p>
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( DeltaP1, [],   { Ventilacion:Estado #= Alta; },   { Recomendación:Ventilacion = TRUE;     Recomendación:DeltaP = Ventilacion:DeltaP_nuevo * 0.9; }  MakeRule( DeltaP2, [],   {Ventilacion:Estado #= Mala; },   { Recomendación:Ventilacion = TRUE;     Recomendación:DeltaP = Ventilacion:DeltaP_nuevo * 1.1; }  MakeRule( DeltaP3, [],   { Ventilacion:Estado #= Normal; },   { Recomendación:Ventilacion = TRUE;     Recomendación:DeltaP = Ventilacion:DeltaP_nuevo; } </pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>DeltaP1, DeltaP2, DeltaP3</b>

### Como Programar la Paw

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>En este caso, la FIO2 se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón...  La presión no hay que aumentarla. Si la FIO2 ya está en 100%, bueno...entonces si subila medio punto si la oxigenación es mala, pero la idea es manejar la oxigenación con la FIO2...</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es Cicatrización, y la Oxigenación es mala y la FIO2 es 100, entonces aumentar la Paw 0.5 cmH2O.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	MakeRule( Cicatrizacion_Paw, [], { Paciente:Etapa != Cicatrizacion And Oxigenacion:Estado != Mala And Oxigenacion:FIO2_nueva != 100; }, { Recomendación:Oxigenacion = TRUE; Recomendación:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva + 0.5;}
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Cicatrizacion_Paw</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Cuando tenes la FiO2 menor a 40%, por lo menos nosotros, empezas a bajar la MAP. En Estados Unidos lo llevan a 21%!! Acordate que el oxigeno es malo.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la FIO2 es menor a 40% y la etapa es pulmón reclutado, entonces reducir la presión 2 cmH2O
<b>Formulación en la Herramienta</b>	MakeRule( FIO2_4, [], {Paciente:Etapa != Reclutado And Oxigenacion:FIO2_nueva < 40 And Oxigenacion:Estado != Buena; }, { Recomendación:Oxigenacion = TRUE; Recomendación:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva - 2;}
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>FIO2_4</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la oxigenación es buena, y la FiO2 es mayor a 60%, y además, si la diferencia entre la presión inicial y la actual es menor de 3 cmH2O , entonces reducir la Paw 0.5 cmH2O.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Cicatrizacion_Paw1, [], { If ( Oxigenacion_actual:Paw_inicial != Null ) Then AskValue( Oxigenacion_actual:Paw_inicial ); Paciente_actual:Etapa      !=      Cicatrizacion      And Oxigenacion_actual:Estado != Buena And Oxigenacion_actual:FIO2_nueva &gt; 60 And (      (      Oxigenacion_actual:Paw_inicial      - Oxigenacion_actual:Paw_nueva      &lt;      3      )      Or      ( Oxigenacion_actual:Paw_inicial      - Oxigenacion_actual:Paw_nueva != 3 ) );};  { Recomendacion_actual:Oxigenacion = TRUE; Recomendacion_actual:Paw = Oxigenacion_actual:Paw_nueva - 0.5; Recomendacion_actual:FIO2      = Oxigenacion_actual:FIO2_nueva;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Cicatrización_Paw1</b>

Estado de la Regla	Texto de la Regla
<b>Palabras del Experto</b>	<i>En este caso, la FIO2 se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón...La presión no hay que aumentarla.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es Cicatrización, y la Oxigenación es buena y la diferencia entre la presión inicial y la presión actual es menor a 3 cmH2O, entonces disminuir la Paw 0.5 cmH2O.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Cicatrizacion_Paw2, [], Paciente_actual:Etapa != Cicatrizacion And Oxigenacion_actual:Estado != Buena And Oxigenacion_actual:FIO2_nueva &lt; 60 And ( Oxigenacion_actual:Paw_inicial - 3 &lt; Oxigenacion_actual:Paw_nueva );};  {Recomendacion_actual:Oxigenacion = TRUE; Recomendacion actual:Paw = Oxigenacion actual:Paw nueva</pre>

	- 0.5;}
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Cicatrizacion_Paw2</b>

<b>Estado de la Regla</b>	<b>Texto de la Regla</b>
<b>Palabras del Experto</b>	<i>En este caso, la FIO2 se sube a expensas de bajar la Paw para que cicatrice el pulmón..La presión no hay que aumentarla.</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es Cicatrización, y la Oxigenación es buena y la FIO2 es menor a 60%,y la diferencia entre la presión inicial y la presión actual es mayor a 3 cmH2O, entonces mantener la presión, reducir la FiO2 actual.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre> MakeRule( Cicatrizacion_Paw3, [],   {If ( Oxigenacion_actual:Paw_inicial != Null )     Then AskValue( Oxigenacion_actual:Paw_inicial );   Paciente_actual:Etapa != Cicatrizacion And   Oxigenacion_actual:Estado != Buena And ( (   Oxigenacion_actual:FIO2_nueva &lt; 60 ) Or (   Oxigenacion_actual:FIO2_nueva != 60 ) ) And (   Oxigenacion_actual:Paw_inicial -   Oxigenacion_actual:Paw_nueva &gt; 3 )};};   { Recomendacion_actual:Oxigenacion = TRUE;   Recomendacion_actual:Paw =   Oxigenacion_actual:Paw_nueva;   Recomendacion_actual:FIO2 =   Oxigenacion_actual:FIO2_nueva * 0.9;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Cicatrizacion_Paw3</b>

<b>Estado de la Regla</b>	<b>Texto de la Regla</b>
<b>Palabras del Experto</b>	<i>Incrementas la Paw intentando llegar a la presión de apertura. Entonces, primero en la etapa de reclutamiento, la FIO2 está en 100%, siempre, y se aumenta la presión para reclutar el pulmón...</i>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la Etapa es Reclutamiento, y la oxigenación es mala, entonces aumentar la Paw 2 cmH2O
<b>Formulación en la Herramienta</b>	MakeRule( Reclutamiento_1, [],

<b>Herramienta</b>	<pre>{ Paciente:Etapa #= Reclutamiento And Oxigenacion:Estado #= Mala; }, {Recomendación:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva + 2; Recomendación:Oxigenacion = TRUE;}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Reclutamiento_1</b>

<b>Estado de la Regla</b>	<b>Texto de la Regla</b>
<b>Formulación externa de la regla</b>	Si la etapa es reclutamiento, el estado de la oxigenación del pacient es mala, la FiO2 es 100%, y la presión es superior a 30 cmH2O, entonces mantener la programación anterior y informar posible falla de la terapia.
<b>Formulación en la Herramienta</b>	<pre>MakeRule( Falla, [], { Paciente_actual:Etapa #= Reclutamiento And Oxigenacion_actual:Estado #= Mala And Oxigenacion_actual:Paw_nueva &gt; 30 And Oxigenacion_actual:FIO2_nueva #= 100;},  { Recomendacion_actual:FIO2 = Oxigenacion_actual:FIO2_nueva; Recomendacion_actual:Paw = Oxigenacion_actual:Paw_nueva; Recomendacion_actual:Oxigenacion = TRUE; PostMessage( "POSIBLE FALLA DE RESCATE EN HFOV. OBSERVAR EXPLICACIÓN PARA MAS INFORMACIÓN" );}</pre>
<b>Nombre de la Regla</b>	<b>Falla</b>

## **Formulas**

Es necesario utilizar fórmulas que permitan calcular valores de atributos en función del estado actual del paciente. La mayoría de las fórmulas están destinadas al cálculo de la Paw, de la Fracción inspirada de oxígeno y del delta P.

El Experto ha aclarado que las modificaciones del valor actual respecto a la nueva recomendación, son del 10 %. Por esta razón las fórmulas tienen la siguiente forma:

*Valor recomendado = valor actual \* 1.1 en caso de incremento.*

*Valor recomendado = valor actual \* 0.9 en caso de decremento.*

Otras fórmulas utilizadas son las que suman algún valor al valor actual para obtener el valor recomendado. Algunas de las seudoreglas mostradas anteriormente utilizan fórmulas de la forma:

*Valor recomendado = valor actual + constante (en caso de incremento)*

*Valor recomendado = valor actual – constante (en caso de decremento)*

Donde *constante* es un valor determinado por el experto.

## **Mapa de Conocimientos**

A continuación se mostrará el mapa de conocimientos. Este es un método para representar sobre el papel las conexiones que efectúa el cerebro cuando entiende hechos acerca de algo. Es decir, un mapa de conocimientos representa el proceso de inferir valores de los atributos, los enlaces entre los atributos y los valores inferidos.

El Mapa de conocimientos es la principal representación externa de los seudoformalismos, en especial las seudoreglas, y del diagrama que los representa, comunica visualmente enlaces y relaciones complejas clara y concisamente.

Los pasos desarrollados con el fin de conseguir el Mapa de Conocimientos será explicados a continuación.

1. Identificar las decisiones de la tarea hechas por el SE. La meta del SE es la recomendación sobre una nueva programación del respirador. Es decir, la meta consiste en determinar los valores de la Paw (presión media en la vía aérea del paciente, del Delta P, de la FiO<sub>2</sub>, de la Frecuencia y del Flujo. Todos estos son los atributos del concepto Recomendación.
2. Diseñar el bloque de la decisión meta. El propósito del SE es tomar una decisión respecto a un concepto. En este caso, el concepto meta, que se muestra en el centro del papel, es el concepto Recomendación.
3. Añadir atributos para inferir la decisión meta. Así se añaden todos los atributos que están implicados en inferir o calcular el valor de la decisión meta.
4. Ampliar el Mapa de Conocimientos. Para ello, hay que añadir los atributos usados para inferir o calcular los valores de cada uno de los atributos empleados para inferir la decisión meta
5. Registrar múltiples usos de un atributo. En este caso particular, es uno a uno.
6. Crear un estado externo de los seudoformalismos. Se realiza una equiparación de los nombres de los atributos definidos con los nombres de los conceptos de los formalismos. Los nombres de los atributos fueron sutilmente modificados en algunos casos manteniendo el significado y la mayor cantidad de palabras dichas por el experto.
7. Evitar duplicar inferencias usando una notación especial. No fue necesaria.
8. Completar el Mapa de conocimientos. Si incluyeron los atributos adicionales necesarios para la inferencia de los atributos mas externos a la red.

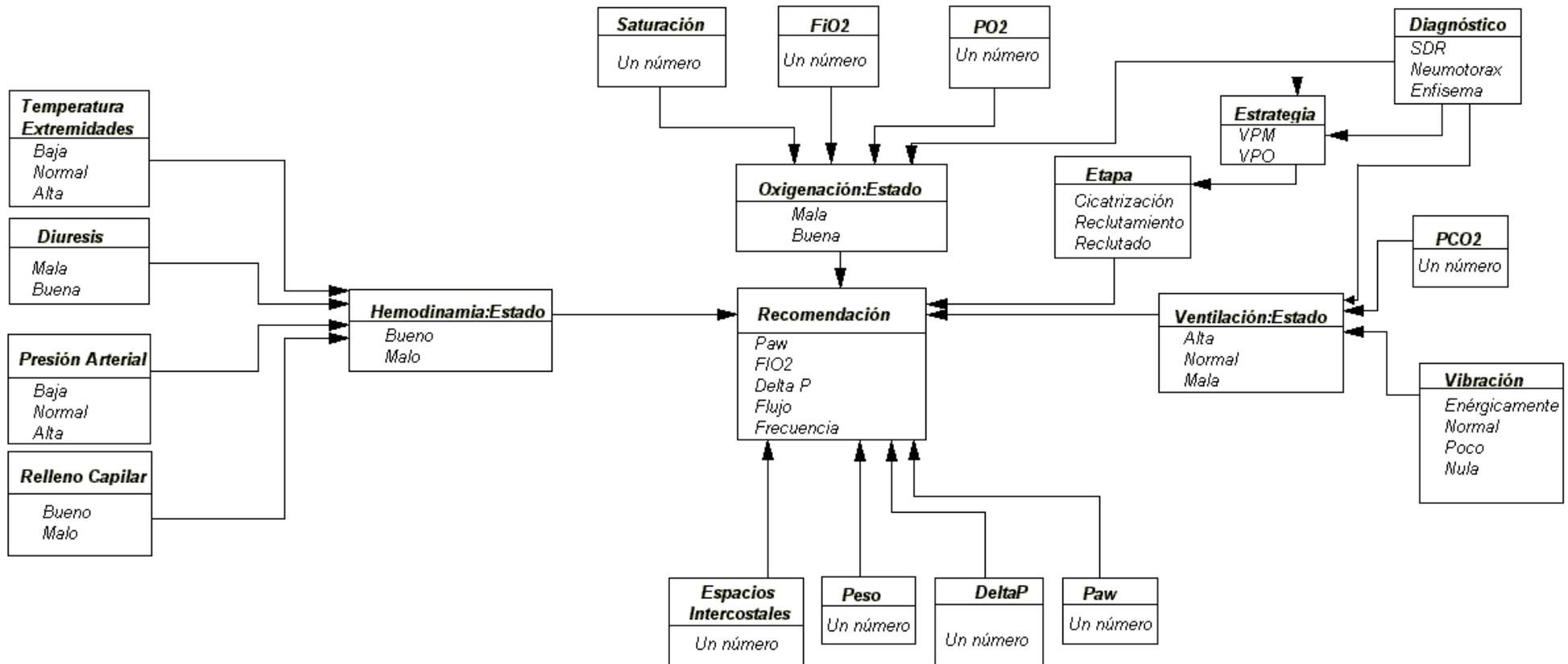


Gráfico 6.3. Mapa de Conocimientos

## **Comprobaciones**

Una vez diseñados, en la etapa de síntesis de los dos submodelos, el estático y el dinámico que conforman el modelo conceptual, hay que realizar un conjunto de comprobaciones para eliminar subjetividades, considerar condiciones desconocidas y, o, verificar la completud y consistencia del modelo global.

De esta manera, se comprueba que los atributos que se encuentran en la periferia se pueden establecer mediante las siguientes formas:

1. Se obtiene el valor de una fuente externa, un fichero
2. Se le solicita al usuario que introduzca los valores.

Por otro lado, se aseguró que el MC (mapa de conocimientos) y el submodelo dinámico contienen enlaces y valores para manejar condiciones desconocidas. En particular esto sucede en el momento en que el SE debe utilizar datos que pueden llegar a ser desconocidos en el momento de la consulta. Esto sucede por ejemplo cuando es necesario inferir el valor del atributo estado del concepto Oxigenación, o del atributo estado del concepto Ventilación. En ambos casos es necesario tener disponibles los valores de los atributos PO<sub>2</sub> y PCO<sub>2</sub> respectivamente.

Por tal motivo, el SE deberá poder concluir el valor del atributo a inferir independientemente de la disponibilidad del dato. De esta manera, la pantalla presentada al futuro usuario deberá tener algún procedimiento que permita agregar el dato si este estuviese disponible y no considerarlo en caso contrario. Este tema será retomado cuando se desarrolle el capítulo correspondiente a la Formalización.

**UNIDAD N 7**  
**FORMALIZACIÓN**

---

**Introducción**

Una vez que se finaliza la conceptualización de conocimientos del experto, se deben expresar dichos conocimientos de una manera formal. La siguiente etapa tiene como objetivo expresar los conocimientos sobre el problema y su resolución en estructuras que puedan ser utilizadas por una computadora. Estas estructuras finalmente generarán comportamientos inteligentes que modelizan el comportamiento del experto. Son justamente estas estructuras que reciben el nombre de formalismos o técnicas de representación de conocimientos.

Por otro lado, se encuentra la estrategia de control. Este componente de resolución de problemas deberá determinar el orden de realización de las tareas. Es decir, las tareas que realiza tienen que ver con; decidir que hacer, cómo hacerlo, evaluar alternativas, etc.

El motor de inferencias, a diferencia de la estrategia de control, es una técnica de razonamiento de propósito general independiente del dominio, que razonan con los formalismos mencionados anteriormente, para resolver problemas.

Por lo tanto, en la unidad anterior se logró una representación externa a la computadora, del conocimiento del experto en estructuras generales no computables que modelan la conducta en la solución de problemas. Ahora se plantea crear modelos formales, es decir una representación computable o “semicomputable” de los conocimientos y conducta del experto, formado por una base de conocimientos, un motor de inferencias, y una estrategia de control.

Con el fin de representar los conocimientos del experto en la computadora, el IC tiene que utilizar una técnica de representación de conocimientos. Para simular el razonamiento o conducta del experto, comprobará que las técnicas de inferencia y control disponibles permiten resolver el problema tal cual lo hace el experto.

Entonces, a partir de los metaconocimientos, los conocimientos estratégicos, tácticos y fácticos del modelo conceptual, se creará un modelo formal que los contenga.

**Selección de Formalismos**

El formalismo de representación escogido para el desarrollo del trabajo, ha sido un sistema híbrido entre los sistemas de Producción y los Marcos.

Los sistemas de Producción están compuestos por las siguientes partes, la Base de Hechos, una base de reglas, y las estrategias de control. La base de hechos o memoria de trabajo, almacena información sobre la tarea y las metas a alcanzar. La Base de reglas está formada por un conjunto de reglas o producciones de la forma *si...entonces*, donde la parte *si...* se denomina antecedente de la regla, y la parte *...entonces* consecuente de la regla. El antecedente representa condiciones o lista de conocimientos a verificar, mientras que el consecuente representa acciones a realizar si

los antecedentes son ciertos. Parte de estas acciones pueden ser; incluir datos en la memoria de trabajo, solicitar datos al usuario, modificar datos, etc.

Por otro lado, los Marcos representan cada uno de los conceptos y los atributos asociados, descritos en la unidad anterior. Minsky [Minsky, 1975] definió los Marcos como una estructura de datos que representa situaciones estereotipadas construidas sobre situaciones similares ocurridas anteriormente. Así se puede aplicar a situaciones nuevas, conocimientos de situaciones, eventos u conceptos previos.

Dentro del Marco, existe conocimiento precedimental que se refiere a como utilizar el marco, que se espera que suceda, así como el conjunto de acciones que se deben llevar a cabo tanto si las expectativas se cumplen como si estas fallan.

Esta representación, Marcos y Sistemas de producción, permite esbozar el modelo conceptual de una forma natural, permitiendo distinguir los diferentes elementos que participan en el diagnóstico y el tratamiento.

### **Representación de los conocimientos en Marcos**

Existen dos tipos de Marcos, los Marcos clase, y los Marcos instanciados. Los primeros se utilizan para representar conceptos, clases o situaciones genéricas dadas por un conjunto de propiedades, unas con valores o y otras sin valores asignados, que son comunes al concepto. Los Marcos instanciados, permiten representar la situación de conceptos particulares en el momento de realizar un diagnóstico y tratamiento, es decir, en el momento de solicitar una recomendación.

Los Marcos clase serían los mostrados en la tabla 7.1:

<b>Marcos Clase</b>	
	<i>Paciente</i>
	<i>Oxigenación</i>
	<i>Ventilación</i>
	<i>Hemodinamia</i>
	<i>Recomendación</i>

*Tabla 7.1. Marcos Clase*

Mientras que los Marcos Instanciados serían los mostrados en la tabla 7.2.

<b>Marcos Instanciados</b>	
	<i>Paciente Actual</i>
	<i>Oxigenación Actual</i>
	<i>Ventilación Actual</i>
	<i>Hemodinámia Actual</i>
	<i>Recomendación Actual</i>

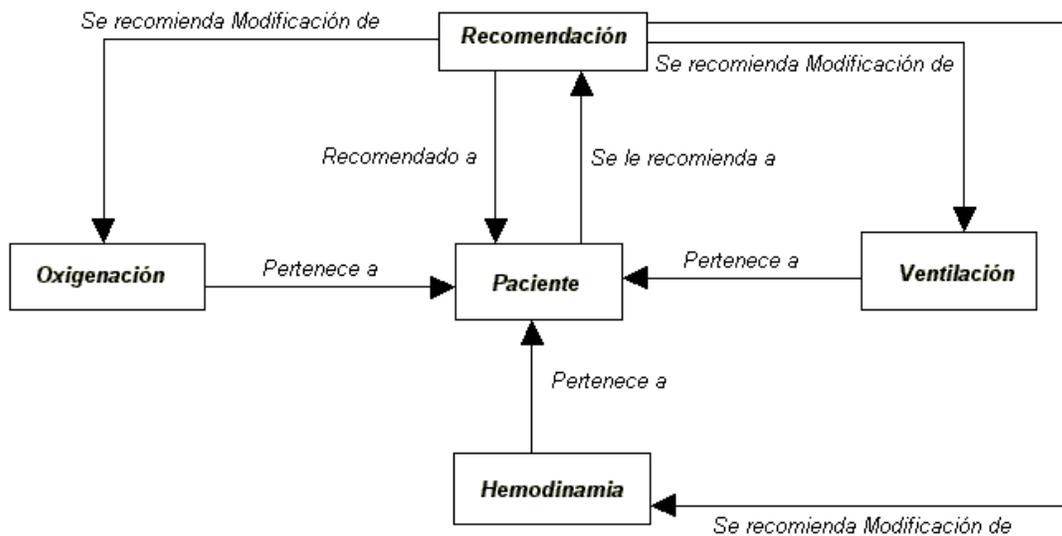
*Tabla 7.2 Marcos Instanciados*

### **Relaciones entre Conceptos**

El formalismo de Marcos permite representar relaciones entre conceptos del dominio, con relaciones entre marcos clase, entre marcos instancias y entre marcos clases y marcos instancia, formando un sistema basado en Marcos (SMB).

Como se ha mostrado hasta aquí, se han identificado 5 conceptos, y las relaciones entre ellos son las mostradas en la figura 7.1. En dicha figura se pueden ver las relaciones que se explican a continuación.

- ***Se le recomienda a***, y ***Recomendado a***, definidas entre los marcos clase Paciente y Recomendación, representan la recomendación inferida por el sistema que es apropiada para el tratamiento del paciente, basado en el estado actual del mismo.
- ***Pertenece a***, relación definida entre los conceptos paciente y oxigenación, representa el estado general de la oxigenación del paciente.
- ***Pertenece a***, relación definida entre los conceptos paciente y ventilación, representa el estado general de la ventilación del paciente.
- ***Pertenece a***, relación definida entre los conceptos paciente y hemodinamia, representa el estado general de la hemodinamia del paciente.
- ***Se Recomienda Modificación de***, relación definida entre los marcos Recomendación y oxigenación, representa la modificación de la oxigenación recomendada a partir del estado actual de la oxigenación del paciente, para realizar el tratamiento adecuado.
- ***Se Recomienda Modificación de***, relación definida entre los marcos Recomendación y ventilación, representa la modificación de la oxigenación recomendada a partir del estado actual de la ventilación del paciente, para realizar el tratamiento adecuado.
- ***Se Recomienda Modificación de***, relación definida entre los marcos Recomendación y hemodinámia, representa la modificación de la hemodinámia recomendada a partir del estado actual de la hemodinámia del paciente, para realizar el tratamiento adecuado.



*Figura 7.1. Representación de Relaciones entre Jerarquías de Marcos*

### **Propiedades de los conceptos**

A continuación se muestran los dos tipos de propiedades que se utilizan cuando se intenta formalizar una BC en marcos, estas son, propiedades de clase y propiedades de instancia. La diferencia que existe entre estas propiedades es que las propiedades de clase representan atributos o características genéricas de un concepto o clase, mientras que las propiedades de instancia se rellenan en cada instancia con valores concretos que dependen del elemento de la clase que se este representando.

En la figura que se muestra a continuación, figura 7.2, se representan las propiedades mencionadas. Las propiedades de instancias se representan por medio del símbolo □.

### **Facetas de Propiedades**

Las facetas las usa el motor de inferencia para mantener la integridad semántica de los datos, es decir, para comprobar que los valores introducidos en las propiedades realmente pertenecen al tipo especificado en la obtención de valores y en la asignación de valores por defecto.

En cualquier propiedad o relación que se define, se deben definir las facetas *tipo ranura*, *cardinalidad mínima*, *cardinalidad máxima* y *multivaluada*.

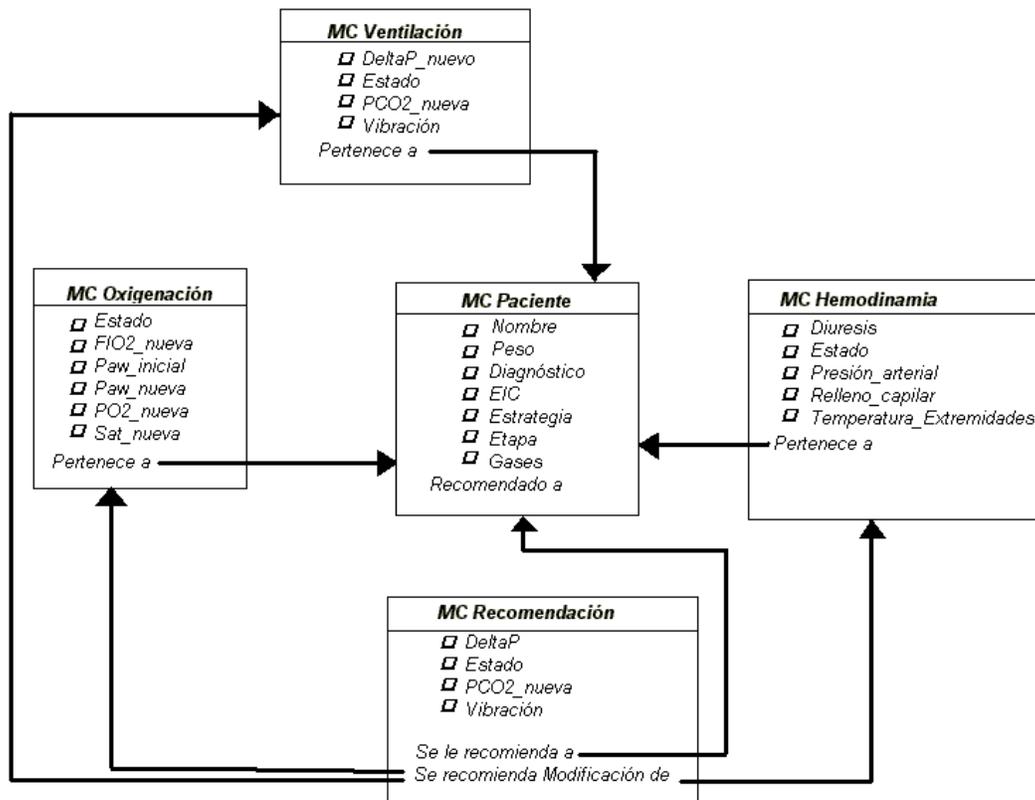


Figura 7.2. Facetas

La faceta **Tipo Ranura** establece el tipo de datos con que se rellenará la propiedad o relación garantizando que los valores pertenezcan al tipo específico de ella.

La **cardinalidad Mínima** establece el número mínimo con que se rellena la ranura siempre que esta se complete. De la misma manera, la **cardinalidad Máxima** establece el valor máximo que se permite en la ranura. Finalmente la faceta **Multivaluada** informa si la propiedad puede tener más de un valor o no.

Es necesario mencionar que para cada una de las propiedades de instancia definidas en un marco clase, se deben definir las facetas: valores permitidos, valores por omisión, si necesario, si añadido, y si borro.

Los **valores permitidos** especifican el conjunto de valores válidos que puede tomar la propiedad instancia. Por ejemplo, esta puede ser, un tipo de datos, un rango de valores o un puntero a un marco clase. Los valores por **valores por omisión** definen los valores que debe tomar la propiedad de instancia en un marco instanciado si no se conoce de forma explícita otro valor. A diferencia de este último, **si necesario** almacenará un procedimiento o regla que se ejecuta al solicitar el valor de una propiedad de instancia en un marco instanciado si no se conoce de forma explícita otro valor.

**Si Modifico**, almacenará un procedimiento al ejecutar antes de modificar un valor de una propiedad de un marco instanciado. Al ejecutarse, este procedimiento podrá modificar, borrar, o añadir valores en otras ranuras, disparando así sus procedimientos, si este fuera el caso.

**Si Borro**, almacenará el procedimiento que se activará en el momento en que se borre el valor de una propiedad de un marco instanciado. De la misma manera que en la faceta anterior, esta ejecución, puede automáticamente añadir, modificar o borrar.

A continuación, en las tablas 7.3, 7.4, 7.5, y 7.6 se pueden observar los marcos clase.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<b>MC Paciente</b>	<b>Tipo de Ranura</b>	<b>C Mini/Max</b>	<b>Multivaluada</b>	<b>Propiedad General</b>	<b>Valores Permitidos</b>	<b>Valor por Omisión</b>	<b>Si necesito</b>	<b>Si Modifico</b>	<b>Si Borro</b>
<b>Nombre</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	Conjunto de caracteres	-	-	-	-
<b>Peso</b>	Numérico	1/1	NO	-	[300..5000]	-	-	-	-
<b>Diagnóstico</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[SDR, Enfisema, Neumotorax ]	-	-	-	-
<b>EIC</b>	Numérico	1/1	NO	-	[1..12]	-	-	-	-
<b>Estrategia</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[VPM, VPO]	-	-	-	-
<b>Etapa</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[Cicatrización, Reclutando, Reclutado]	-	-	-	-
<b>Gases</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[SI, NO]	-	-	-	-

*Tabla 7.3. MC Paciente*

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<b>MC Oxigenación</b>	<b>Tipo de Ranura</b>	<b>C Mini/Max</b>	<b>Multivaluada</b>	<b>Propiedad General</b>	<b>Valores Permitidos</b>	<b>Valor por Omisión</b>	<b>Si necesito</b>	<b>Si Modifico</b>	<b>Si Borro</b>
<b>Estado</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[Buena, Mala]	-	-	-	-
<b>FIO2_nueva</b>	Numérico	1/1	NO	-	[21..100]	-	-	-	-
<b>Paw_inicial</b>	Numérico	1/1	NO	-	[5..50]	-	-	-	-
<b>Paw_nueva</b>	Numérico	1/1	NO	-	[5..50]	-	-	-	-
<b>PO2_nueva</b>	Numérico	1/1	NO	-	[30..200]	-	-	-	-
<b>Sat_nueva</b>	Numérico	1/1	NO	-	[80..100]	-	-	-	-

*Tabla 7.4. MC Oxigenación*

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<b>MC Ventilación</b>	<b>Tipo de Ranura</b>	<b>C Mini/Max</b>	<b>Multivaluada</b>	<b>Propiedad General</b>	<b>Valores Permitidos</b>	<b>Valor por Omisión</b>	<b>Si necesito</b>	<b>Si Modifico</b>	<b>Si Borro</b>
<b>DeltaP_nuevo</b>	Numérico	1/1	NO	-	[7..90]	-	-	-	-
<b>Estado</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[Alta, Normal, Mala]	-	-	-	-
<b>PCO2_nuevo</b>	Numérico	1/1	NO	-	[30..200]	-	-	-	-
<b>Vibración</b>	Conj. De Caracteres	1/1	NO	-	[Nula, Poco, Normal, Enérgicamente]	-	-	-	-

*Tabla 7.5. MC Ventilación*

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

<b>MC Recomendación</b>	<b>Tipo de Ranura</b>	<b>C Mini/Max</b>	<b>Multivaluada</b>	<b>Propiedad General</b>	<b>Valores Permitidos</b>	<b>Valor por Omisión</b>	<b>Si necesito</b>	<b>Si Modifico</b>	<b>Si Borro</b>
<b>DeltaP</b>	Numérico	1/1	NO	-	[7..90]	-	-	-	-
<b>FIO2</b>	Numérico	1/1	NO	-	[21..100]	-	-	-	-
<b>Flujo_base</b>	Numérico	1/1	NO	-	[5..60]	20	-	-	-
<b>Frecuencia</b>	Numérico	1/1	NO	-	[3..15]	10	-	-	-
<b>Oxigenación</b>	Booleana	1/1	NO	-	[TRUE, FALSE]	-	-	-	-
<b>Paw</b>	Numérico	1/1	NO	-	[5..50]	-	-	-	-
<b>Ventilación</b>	Booleana	1/1	NO	-	[TRUE, FALSE]	-	-	-	-

*Tabla 7.6 MC. Recomendación*

## **Sistemas de Producción**

Los formalismos basados en acciones describen los conocimientos del dominio como un conjunto de acciones básicas. Los principales formalismos son los sistemas de producción y los guiones. Un sistema de producción, al igual que la lógica, utiliza las implicaciones como base de su representación, y está formado por los siguientes elementos: base de hechos, base de reglas y estrategia de control.

La base de hechos, o memoria de trabajo, almacena información sobre la tarea y las metas a alcanzar. La base de reglas, formada por un conjunto de reglas o producciones, presentan la forma *si...entonces*. La parte si de la regla se llama antecedente, y representa una lista ordenada de cosas a verificar. La parte entonces se llaman consecuente y representa las acciones a realizar si los antecedentes son ciertos. Las acciones incluyen o borran hechos de la base de conocimientos, solicitan datos al usuario o se los proporcionan.

Finalmente, la estrategia de control es el mecanismo que examina la base de hechos y determina la regla que dispara, encadenando así la regla en unos ciclos de funcionamiento que reciben el nombre de ciclos de resolución.

Los sistemas de producción son una de las técnicas de representación de conocimientos mas utilizadas para expresar formalmente los conocimientos de un dominio. Los dominios borrosos, con muchos hechos, en los que el conocimientos experto no suele estar bien definido ni exteriorizado, y de naturaleza imprecisa, por ejemplo, medicina clínica, es uno de los dominios mas apropiados para ser representados por esta técnica.

La arquitectura de un sistema de producción está formada por tres elementos, base de hechos o memoria de trabajo, base de reglas o producciones, y una estrategia de control. La base de hechos (BH) y la Base de reglas (BR) forman la base de conocimientos del sistema.

Básicamente la BH presenta tres estados,

- Estado inicial, que representa la situación origen del problema.
- Estados Metas, que representan la situación objetivo que se quiere alcanzar.
- Estados intermedios, que representan estados entre el estado inicial y meta, y representan en cada instante, le estado del problema.

La estrategia de control es el mecanismo que examina en cada ciclo de funcionamiento los datos y hechos de la BH y determina la regla que se dispara. La ejecución de la regla modifica la BH al añadir o borrar hechos de ella.

## **Razonando Sobre Marcos**

Como fue mencionado anteriormente, el sistema a utilizar es un sistema híbrido que consta de un sistema Basado en Marcos, y Reglas que razonan sobre los mismos.

Una vez que los datos sobre el estado actual del sistema son cargados en el sistema, este comenzará a disparar las reglas con el fin de llegar al estado final buscado, la meta.

El estado actual del paciente dependerá de los valores asignados en los atributos de los conceptos oxigenación, ventilación y hemodinamia. Luego, la salida del sistema

será una recomendación que indirectamente impacta sobre la oxigenación y ventilación del paciente.

Para lograr dicho cometido, se ejecutará una función, disparada por el evento de presionar un botón de la pantalla correspondiente, que a través de un encadenamiento hacia delante, elegirá la regla mas adecuada para ese instante, a la vez que irá obteniendo y almacenando el valor de las diferentes propiedades de los marcos instanciados. El sistema se detendrá en el instante que se logre identificar el valor de la atributo oxigenación y el atributo ventilación del concepto Recomendación.

## **SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

---

### **Introducción**

Una vez que se finaliza la formalización de conocimientos, es necesario abordar el problema de seleccionar la herramienta a utilizar en la implementación del sistema. Para eso será necesario seleccionar una herramienta que permita trasladar el modelo formal del comportamiento del experto hacia el modelo comprendido por una computadora.

### **Criterio de selección de la Herramienta**

La herramienta Kappa PC de *Intellcorp, Inc*, posee características compatibles y permite una representación computable del modelo conceptual, dado que brinda un entorno de desarrollo que permite:

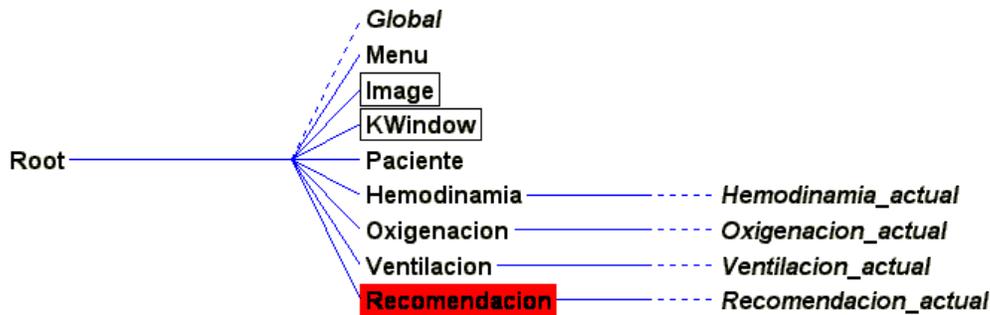
- Prototipo Rápido, con reutilización y actualización de los conocimientos nuevos a incorporar, es decir, prototipo incremental (esto es consistente con la metodología IDEAL)
- Ambiente de desarrollo gráfico. La herramienta consta de una gran gama de objetos gráficos.
- Implementación de Marcos. La herramienta permite representar cada marco clase y cada marco instancia. Esto puede ser visualizado gráficamente y es de fácil implementación. Además permite la definición de las propiedades de clase de los diferentes marcos, utilizando ranuras que se pueden definir en cada objeto.
- Entorno de programación orientada a objetos. Esto permite un desarrollo rápido de aplicaciones, y bajo costo de mantenimiento.
- Lenguaje de programación de alto nivel. Kappa PC tiene 280 funciones predefinidas que incrementa la productividad de desarrollo y permite alto nivel de abstracción al desarrollar la aplicación.
- Razonamiento basado en reglas. Esto permite incorporar experiencia, heurísticas y reglas, con el fin de realizar aplicaciones más inteligentes. Además, como se había mencionado anteriormente, en la unidad 7, es necesario una herramienta que permita esta característica.
- Compartición de datos y conocimientos entre aplicaciones. Esto permite la integración y manipulación con bases de datos, planilla de cálculos, lenguaje de programación, gráficos y archivos ASCII. Esto es de fundamental importancia en el desarrollo de la aplicación dado que los datos serán guardados para ser utilizados por otros programas y no solo por el SE.

## **Implementación del Sistema.**

### **Representación de la base de Conocimientos**

Entonces, para representar la Base de Conocimientos formalizada en marcos se utilizó objetos clase, y para representar marcos instancia se utilizó instancia de objetos. Luego, una vez implementada la jerarquía de marcos, se prosiguió con la definición de las propiedades de clase de los diferentes marcos, utilizando las ranuras se puede definir cada objeto, y se ha descrito el valor que debería poseer durante la ejecución del sistema. Las propiedades instancia también se definen en Kappa PC en los objetos clase, conservándose invariable durante la ejecución del sistema.

A continuación se muestra el Gráfico 8.0, que describe en forma gráfica lo antes mencionado. Como se puede observar esto es la implementación desarrollada en la Formalización.



**Grafico 8.0. Objetos Clase y Objetos Instancia.**

Luego, se prosigue con la implementación de las reglas, que colaboran en la inferencia del diagnóstico y tratamiento de la Ventilación de Alta frecuencia Oscilatoria en pacientes Neonatales.

El siguiente paso debe ser la incorporación de algún medio que permite la activación de los mecanismos de razonamiento, es decir la Implementación de control. Estos son conocimientos que se corresponden con las metarreglas que han sido obtenidas de la experta al resolver la tarea.

Al mismo tiempo es necesario, desarrollar la interfaz del usuario. Esto se ha realizado en forma gradual, teniendo en cuenta no solo la apreciación que ha realizado la experta que podría dar un punto de vista muy particular, sino también se ha consultado profesionales del medio, ingenieros, médicos, enfermeras, empresarios, etc. Además se sabe que el diseño inadecuado de la interfaz de usuario puede condenar al sistema a un fracaso.

## **Interfaz de Usuarios**

En el momento de realizar la interfaz del usuario, es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

1. El sistema puede llegar a funcionar en una Terapia Intensiva Neonatal. Por lo tanto, el ambiente de trabajo será ruidoso debido a las alarmas de los equipos médicos y poco iluminado
2. Las consultas se harán en tiempo real y necesitan respuestas rápidas y certeras. Según los futuros usuarios, es necesario que el sistema acuse su salida, la recomendación de la programación, en forma rápida. Luego, si el usuario lo desea, deberá permitir explicar el porque de cada parámetro programado.
3. Los usuarios utilizarán el sistema bajo un entorno de estrés dado por la complejidad de la situación. Se recuerda que el Respirador para VAFO es utilizado en rescate, esto es, cuando el paciente neonatal no puede ser ventilado con un respirador convencional. Por lo tanto, el paciente tiene un alto riesgo de morir. Las decisiones deben hacerse con responsabilidad y rápidamente.
4. Los usuarios no utilizan computadoras normalmente. Los médicos intensivistas no utilizan PC para su trabajo en la terapia.

Por lo tanto, será necesario diseñar una interfaz que permita:

1. Ser utilizada en cualquier PC, en particular LapTops. De esta manera puede ser rápidamente transportada al lugar que se necesite, si esto fuese necesario.
2. La salida del sistema solo debe mostrar la programación recomendada, sin explicaciones. Luego, mediante algún botón deberá permitir explicar el porque de cada parámetro en particular.
3. El sistema solo debe tomar los datos necesarios y evitar hacer preguntas de datos que no son necesarios para el caso.
4. Las pantallas deben ser claras y deben tener botones grandes para permitir acceder a ellos fácilmente.

Por todo lo mencionado, la interfaz se ha desarrollado en forma gradual, teniendo en cuenta las apreciaciones de los usuarios, y el aporte de ideas que permitieron modificaciones de la distribución de pantallas.

### **Consideraciones Especiales**

De las distintas entrevistas informales, y de los requisitos expuestos en unidades anteriores, se sabe que:

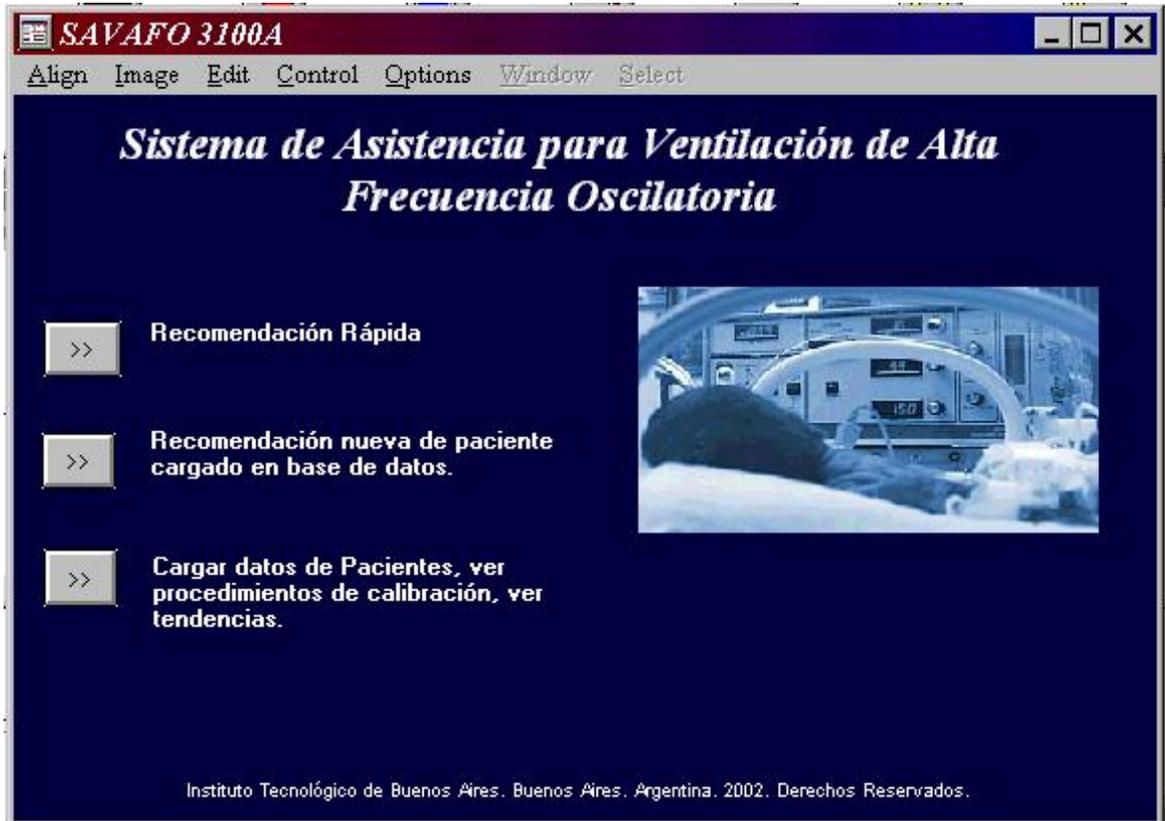
- El Sistema Experto tomará los datos de dos potenciales fuentes, por el Usuario en tiempo de ejecución, o de una base de datos externa. Es decir, el sistema debe tener una opción que indique que el usuario puede hacer una consulta rápida, ingresando los datos de ese momento del paciente. Y por otro lado, el sistema debe tener una opción que indique al usuario que los datos se tomarán de una base de datos externa al sistema.
- Existen procedimientos básicos de calibración, encendido, y programación inicial que deberían ser parte o estar disponibles para el usuario en tiempo de ejecución.

### **Visualización de la Interfaz del Sistema.**

En esta sección se intentará no solo visualizar la interfaz del sistema, sino también explicar como se ejecuta cada paso, y su relación con lo desarrollado en capítulos anteriores.

#### *Pantalla Principal*

Cuando se ingresa al sistema, este permite la visualización de la pantalla de presentación que se observa en la figura 8.1.



*Figura 8.1. Pantalla Principal del Sistema.*

Como se puede observar, son tres las opciones del usuario, estas son *Recomendación Rápida*, *Recomendación nueva de paciente cargado en base de datos*, y *Cargar datos de Pacientes, ver Procedimientos de calibración, ver tendencias*.

La *Recomendación Rápida* permite realizar una consulta rápida del sistema. El usuario solo debe incorporar al sistema los datos mínimos necesarios para que el sistema infiera el Diagnóstico y Tratamiento adecuados a partir del cuadro clínico del paciente. Los datos incorporados se cargan en memoria, asignando los valores a cada uno de los atributos de los conceptos oxigenación, ventilación y paciente. Los atributos del concepto Hemodinamia, solo son incorporados si es necesario. Una vez que se

realiza la recomendación, y se desea hacer una nueva recomendación se cargan nuevamente los datos, y obviamente se pierden los datos anteriores.

La *Recomendación nueva de paciente cargado en base de datos*, permite inferir el diagnóstico y tratamiento a partir de los datos de un paciente cargado en la base de datos. Las reglas inferidas son exactamente las mismas, la única diferencia es el origen de los datos de entrada. De esta manera, los datos son utilizados por el sistema experto, y además son guardados en memoria. Luego, los datos guardados pueden ser consultados en futuras sesiones, y incluso se pueden ver las tendencias en el tiempo en función de los parámetros del respirador. Esto es muy importante para los médicos, dado que luego les permitirá sacar conclusiones respecto a sus acciones. Además los datos pueden ser utilizados por otras bases de datos para procesarlos y obtener datos estadísticos.

La última opción de la pantalla principal es *Cargar datos de Pacientes, ver Procedimientos de calibración, ver tendencias*. El usuario debería, antes de realizar la consulta, cargar los datos del paciente. Los datos personales, y todos los datos de monitoreo son cargados en la base de datos. A diferencia de la consulta rápida, en donde solo se cargan los datos necesarios, aquí se cargan la totalidad. Para el usuario representa mas tiempo para dar de alta un paciente, pero permite así guardar los datos para su posterior consulta.

Esta última opción esta relacionada con una función que ejecuta un programa. Este programa, realizado especialmente para este sistema experto, y puede también ser utilizado en forma separada al sistema.

A continuación se describen cada una de las pantallas mencionadas.

*Pantalla “Cargar datos de Pacientes, ver Procedimientos de calibración, ver tendencias”*

Como se mencionó anteriormente, el botón *Cargar datos de Pacientes, ver Procedimientos de calibración, ver tendencias* tiene como acción asociada la ejecución de una función llamada *principal*. Esta función, se muestra a continuación

```
MakeFunction( Principal, [],  
{Execute ("C:\SAHFO\PPPrincipal1.exe");  
} );
```

La única línea de código es la ejecución de un programa llamado PPrincipal1.exe, que se encuentra en el subdirectorio SAHFO. Este subdirectorio deberá crearse durante la instalación del sistema en la PC donde se utilice el sistema Experto.

El programa PPrincipal1.exe fue diseñado especialmente para el desarrollo de este sistema. No se documentan en la presente obra los requisitos, especificaciones, diseño, implementación, etc., dado que no es parte del desarrollo del trabajo de tesis. El lenguaje de programación utilizado es Delphi 5.0. En la figura 8.2 se muestra la pantalla inicial que se muestra cuando se ejecuta el programa mencionado.

Las funciones principales son:

- Paciente
  - Nuevo
  - Registrado
- Tendencias
- Calibración
  - Del circuito Paciente
  - Chequeo del Respirador

**Sistema de Asistencia para VAFO**

Paciente Tendencias Calibración

Nombre del Paciente: Guillermo Bermejo

Fecha de Nacimiento: 15//06/79

Sexo del Paciente: Varón

Edad Gestacional: 69

Peso al nacer (grs): 800

Clasificación: PtPA

Número de Historia Clínica: 15454op54

Diagnóstico: SDR

Por favor, incorpore los siguientes datos del paciente:

Presión en la Vía Aérea (cmH2O): 15 (Se inició con una Presión aw de: 15 cmH2O)

Delta P: 30

Flujo (LPM): 20

FIO2 (%): 100

Saturación (%): 100

PO2 (mmHg): 55

PCO2(mmHg): 45

pH: 7.38

Bicarbonato: 56

Presión Arterial Media (mmHg): 13

✓ Aceptar Paciente Nuevo

✓ Aceptar los datos

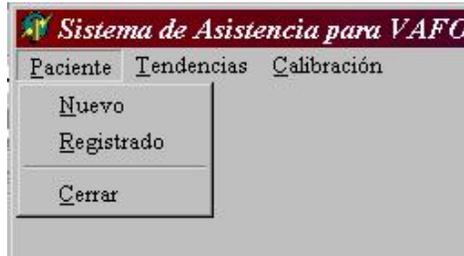
✓ Cerrar

Hora: 9:37:40 Paciente: Fecha: 30/12/99

**Figura 8.2. Pantalla del Programa ejecutable**

*Opción Menú Paciente*

Esta opción abre un submenú, figura 8.3, que tiene las siguientes funciones:



**Figura 8.3. Submenú Paciente**

**Nuevo:** Permite incorporar los datos de un paciente nuevo, es decir de un paciente que se está dando de alta para ser ventilado con un respirador de alta frecuencia oscilatoria. Si esta opción es elegida, el usuario debe incorporar los valores solicitados que se muestran en la figura 8.2. De esta manera se cargan en memoria datos que luego no será necesario cargar (nombre, peso en el momento del nacimiento, clase de paciente, etc.).

Luego, se guardan estos datos en un archivo de extensión HFO. Este es un archivo tipo ASCII, que puede ser consultado por cualquier tipo de base de datos o programa de estadística.

**Registrado:** Permite incorporar, observar o analizar datos de un paciente que ya ha sido registrado o dado de alta para ser ventilado con el respirador de alta frecuencia oscilatoria. Esta opción permite la apertura de un registro de un paciente. El usuario debe elegir uno de los pacientes por el nombre y la extensión HFO. Una vez elegido el paciente, se observará la pantalla que se muestra en la figura 8.3. Esto permite al usuario no solo asegurarse de que el paciente elegido es el que se buscado, sino también, incorporar los valores nuevos de los datos solicitados. Esto datos también serán guardados en el archivo, pero además, se creará otro archivo llamado paciente.txt para que sea consultado por el SE desarrollado en KAPPA PC.

Este último archivo, paciente.txt, solo tiene los últimos datos del último paciente consultado.



**Figura 8.4. Pantalla para abrir el registro de paciente.**

**Cerrar:** Cierra la aplicación.

### *Opción Tendencias*

Esta opción, solicitada por la experta y validada por otros usuarios, permite ver los datos históricos del paciente. Al presionar, se abre la pantalla que se observa en la figura 8.5.



**Figura 8.5. Pantalla de Tendencias.**

Como se puede observar, la pantalla ofrece la posibilidad de ver dos parámetros en función del tiempo en forma simultánea. Cada rectángulo se corresponde con un dato cargado. Los parámetros graficados, son determinados por el usuario en tiempo de ejecución, y además, al posicionar el ratón sobre cada rectángulo, puede observar los valores relacionados con esa medición en la parte inferior de la pantalla

### *Opción Calibración*

Esta opción abre un submenú, figura 8.6, que permite visualizar dos opciones:



**Figura 8.6. Submenú Calibración**

**Del Circuito paciente:** Permite ver el procedimiento detallado de la calibración del circuito paciente utilizado con los respiradores de alta frecuencia oscilatoria, Marca

Sensormedics, modelo 3100 A. El procedimiento ha sido obtenido de las sesiones realizadas con la experta y de la documentación entregada relacionada con tareas de enfermería.

***Chequeo del Respirador:*** Permite observar el procedimiento detallado del chequeo general del respirador realizado por el cuerpo de enfermería.

*Recomendación nueva de paciente cargado en base de datos*

Como se comentó anteriormente, el programa PPrincipall.exe, permite guardar datos en archivos ASCII para su posterior análisis, visualización, o actualización. Este programa, además, crea un archivo Paciente.txt, que permite ser consultado por el SE.

En el momento que se presiona el botón que tiene la opción *Recomendación nueva de paciente cargado en base de datos*, el sistema experto ejecuta la función *Abrir\_Recomendación*.

Seguidamente se muestra las líneas de código en Kappa PC, que se ejecutan al accionar la opción *Recomendación nueva de paciente cargado en base de datos*, y que cumplen con las acciones mencionadas.

```
MakeFunction( PantallaCargados, [],  
{  
  OpenReadFile(Pnuevo.txt);  
  Paciente:Nombre=ReadLine(100);  
  Paciente:Diagnostico=ReadLine(50);  
  Text13_31:Title=ReadLine(20);  
  ResetImage ( Text13_31 );  
  Text15_32:Title=ReadLine(20);  
  ResetImage ( Text15_32 );  
  Oxigenacion:Paw_inicial=ReadLine(2);  
  Oxigenacion:Paw_nueva=ReadLine(2);  
  Oxigenacion:FIO2_nueva=ReadLine(3);  
  Oxigenacion:Sat_nueva=ReadLine(3);  
  Oxigenacion:PO2_nueva=ReadLine(2);  
  Ventilacion:PCO2_nueva=ReadLine(2);  
  CloseReadFile();  
  
  Session1:Visible = TRUE;  
  ResetWindow ( Session3 );  
  ShowWindow( Session3 );  
});
```

El objetivo de esta función es:

- Cargar datos del archivo que contiene la información del paciente necesaria para comenzar a concluir un resultado.
- Mostrar al usuario los datos para su confirmación o aceptación.

Entonces se abre la pantalla que se observa en la figura 8.7, donde se le muestra al usuario los datos del paciente, para su confirmación

**Consulta de paciente en base de datos**

Align Image Edit Control Options Window Select

**Datos del Paciente:**

Nombre: **Jorge Martinez**

Peso al nacer: **700**

Diagnóstico: **SDR**

Los datos fueron tomados el día 5/03/02 a las 15:40:07

Saturación:	<b>100</b>
Presión Media:	<b>18</b>
FIO2:	<b>98</b>
Delta P:	<b>33</b>
PU2:	<b>55</b>
PCO2:	<b>45</b>

Aceptar Datos

**Figura 8.7. Pantalla de confirmación de datos cargados.**

Luego, al presionar *Aceptar datos*, se ejecutará la función *Abrir\_Recomendación*, que tiene por objetivo

- Crea archivos que serán utilizados en el momento de la explicación de la recomendación. Se había mencionado que la respuesta del sistema debería ser únicamente la recomendación de los parámetros a programar en el respirador, y luego, si el usuario lo requiere, una pequeña explicación del porque de dicha recomendación. Para tal fin, se crean los archivos: *Presion.txt*, *F.txt*, *DeltaP.txt*, y *FIO2.txt*. Estos archivos contendrán las explicaciones correspondientes a cada parámetro y se mostrarán al usuario cuando este lo requiera.
- Inicializa los valores de los atributos del sistema. Esto es necesario dado que el usuario puede llegar a realizar diversas consultas durante la misma sesión, incluso de diferentes pacientes. Por tal motivo, es necesario que el sistema tenga asignado a NULL las variables intermedias y objetivo.

- Programa encadenamiento hacia delante. En la Unidad anterior, se había establecido que la mejor manera de realizar el encadenamiento era hacia delante.
- Se adiciona a la agenda del motor de inferencias la meta correspondiente.
- Finalmente se abre la ventana de Recomendación que se explicará posteriormente.

Seguidamente se pueden observar las líneas de código correspondientes.

```
MakeFunction( Abrir_Recomendacion, [],
{
OpenWriteFile(Presion.txt);
CloseWriteFile();
OpenWriteFile(Flujo.txt);
WriteLine( " " );
WriteLine( "La Presión de la Vía Aérea, depende de la resistencia y del Flujo (ley de
ohm), es decir");
WriteLine( " " );
WriteLine( "          Presión = Flujo * Resistencia" );
WriteLine( " " );
WriteLine( "La resistencia se controla directamente del control de Adjust, mientras que el
flujo se controla directamente con el flujímetro del respirador" );
WriteLine( "Por lo tanto, en general no es necesario modificar el flujo" );
WriteLine( "Sin embargo, si llegara a darse la situación en la cual no se puede
incrementar mas la Paw (control Adjust en el máximo)" );
WriteLine( "entonces se podría pensar en la posibilidad de aumentar el flujo" );
WriteLine( "Normalmente no es necesario modificar el flujo, y se mantiene en 20 LMP" );
CloseWriteFile();
OpenWriteFile(DeltaP.txt);
CloseWriteFile();
OpenWriteFile(FIO2.txt);
CloseWriteFile();
OpenWriteFile(F.txt);
If Paciente:Peso>2000 Then Recomendacion:Frecuencia = 10;
If Paciente:Peso<2000 Then Recomendacion:Frecuencia = 15;
WriteLine( " " );
WriteLine( "Dado que: " );
WriteLine( "El Peso del Paciente es " # Paciente:Peso # " grs, la frecuencia a programar
es de"# Recomendacion:Frecuencia #" Hz");
WriteLine( "Hoy, la programación de la Frecuencia depende del peso del paciente." );
WriteLine( "En pacientes neonatales no existen trabajos que demuestren cambios en la
ventilación debidos a cambios en la Frecuencia o en el Tiempo Inspiratorio" );
WriteLine( "Sin embargo, en pacientes pediátricos existe evidencia de cambios en la
ventilación debido a modificaciones en la programación de la Frecuencia o del Tiempo
Inspiratorio" );
CloseWriteFile();
Paciente:Gases=NO;
If (Oxigenacion:PO2_nueva>0) And (Ventilacion:PCO2_nueva>0) Then
Paciente:Gases=SI;
Paciente:Etapa=NULL;
Oxigenacion:Estado=NULL;
Ventilacion:Estado=NULL;
```

```
Paciente:Eic=NULL;  
Ventilacion:Vibracion=NULL;  
Oxigenacion:Paw_inicial=NULL;  
Recomendacion:Oxigenacion=NULL;  
Recomendacion:Ventilacion=NULL;  
SetForwardChainMode(SELECTIVE, IGNORE);  
Assert(Paciente:Diagnostico);  
ForwardChain(Recomendar);  
Session1:Visible = TRUE;  
  ResetWindow ( Session1 );  
  ShowWindow( Session1 );  
};
```

Resumiendo, las opciones descritas por el momento, permiten que el usuario guarde datos de un paciente nuevo, o de un paciente ya registrado. Luego, si el paciente ya ha sido registrado, se pueden ver los datos en función del tiempo, o compartir los datos con otros programas que los procesen como se requiera. El SE toma los datos de un archivo de texto donde se guardaron los últimos datos del último paciente consultado, y por medio de las reglas, infiere un diagnóstico y tratamiento.

Sin embargo se puede dar la posibilidad de que el usuario del SE solo quiera hacer una consulta rápida, sin guardar los datos en la base de datos. Esta opción no toma los datos del archivo de texto, sino que los pregunta en tiempo de ejecución. Para tal fin, se encuentra disponible en la pantalla principal, figura 8.1, la opción Recomendación Rápida

#### *Recomendación Rápida*

Esta opción, abre la pantalla que se observa en la figura 8.7. Esta pantalla solo solicita los datos necesarios, para inferir un resultado.

Los datos necesarios para inferir un resultado, son Paciente:Diagnostico, Oxigenación:Sat\_nueva, Oxigenacion:Paw\_nueva, Oxigenacion:FIO2\_nueva, y Ventilacion:DeltaP\_Nuevo.

Luego, si los gases en sangre se encuentran disponibles, el usuario deberá presionar el botón correspondiente, que habilitará los casilleros para completar los gases de Oxigenacion:PO2\_nueva, y Ventilacion:PCO2\_nueva.

Enfermedad:	SDR
Saturación:	80
Presión Media:	20.5
FiO2:	100
Delta P:	33
Peso:	700

Presione este botón si hay gases disponibles...

PO2:  
PCO2:

Aceptar datos

**Figura 8.8. Pantalla de Recomendación Rápida**

Cada uno de los componentes gráficos están asociados a los atributos de los conceptos. De esta manera, en cuanto cargan los datos, se está dando valor a los atributos necesarios para la ejecución de las reglas.

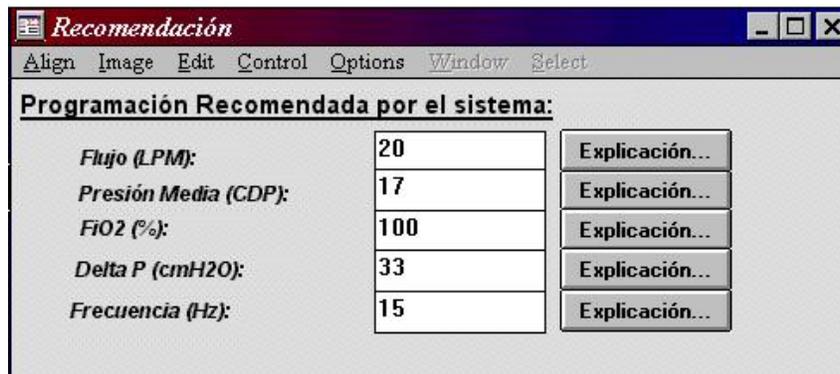
En cuanto se aceptan los datos, se ejecuta la función *Abrir\_Recomendación*, que ya fue explicada con anterioridad. Es decir, la única diferencia es el origen de los datos, en la primera opción los datos provienen de un archivo de texto, y en el otro caso se incorporan al sistema en tiempo de ejecución.

### **Salida del Sistema**

La salida del sistema solo muestra los parámetros a programar, y el valor recomendado. Esta pantalla se abre en el momento en que se ha alcanzado la meta. Los objetos gráficos de esta pantalla, están asociados a los atributos del concepto *Recomendación*. De esta manera, cuando el sistema encuentra el valor apropiado, y lo carga como valor del atributo, este será mostrado al usuario cuando se encuentren todos los valores necesarios para la programación del respirador.

Sobre la derecha de cada parámetro, se encuentra un botón. Ese botón, explica para cada caso, el porque de cada valor. El botón, tiene asociada la apertura de otra pantalla que permite mostrar el contenido de un archivo de texto que contiene a su vez la explicación buscada. Los valores de cada caso son guardados por el SE cuando este encuentra el valor apropiado. La explicación, de modo coloquial y descriptivo, fue aportado por la experta. Es decir, el sistema solo incorpora el valor que el sistema

recomienda, pero para cada caso, se crea un archivo que contiene la explicación apropiada.

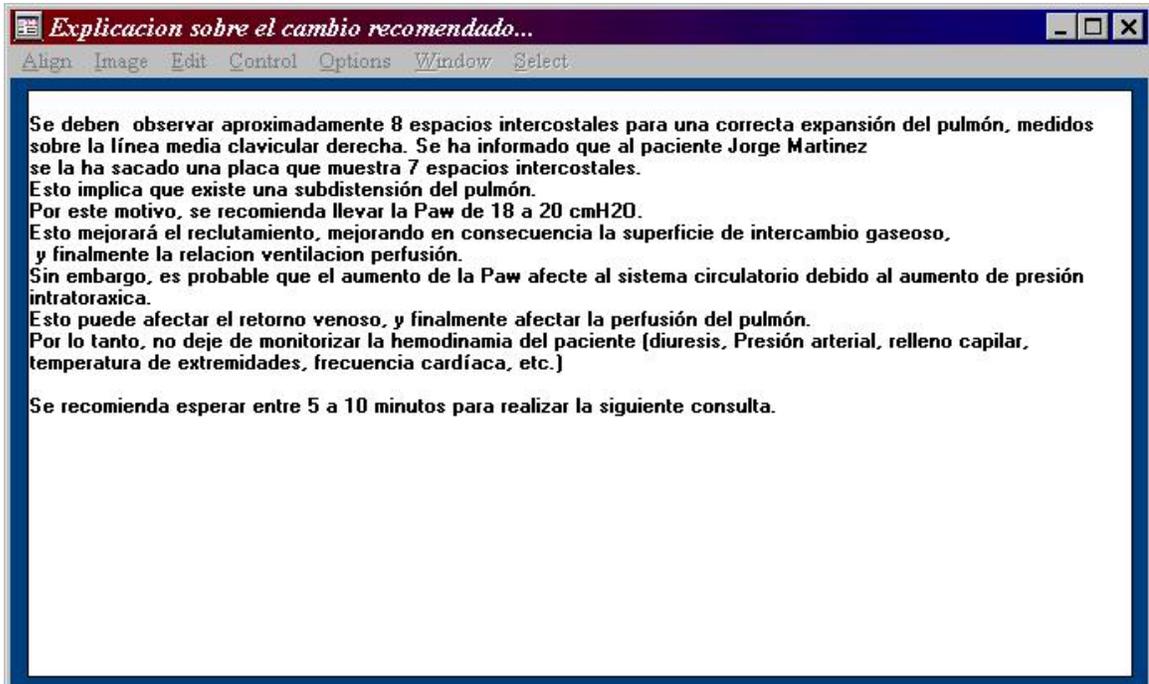


*Figura 8.9. Salida del sistema, recomendación.*

En el momento en que el usuario presiona el botón de explicación, se abre una pantalla como la que se muestra en la figura 8.10. En este caso en particular, se muestra la explicación de la programación de la presión de la vía aérea del paciente.

Esta explicación se logra actualizando el archivo de texto asociado a la variable. Por ejemplo, la pantalla mostrada en la figura 8.10, se logró gracias al aporte de la regla que finalmente infiere el valor de la presión. Seguidamente es muestra el código que permite lo antedicho.

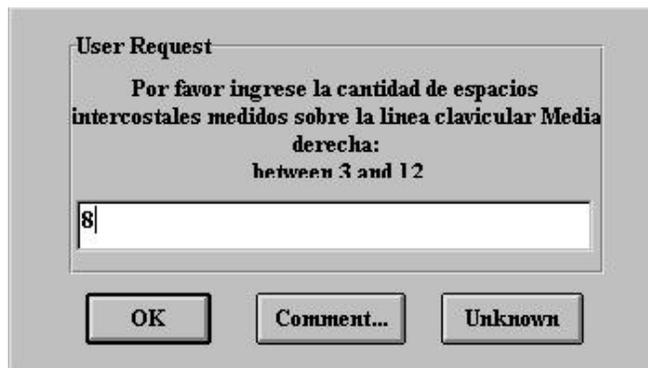
```
Recomendacion:Oxigenacion = TRUE;
Recomendacion:Paw = Oxigenacion:Paw_nueva - 1;
OpenWriteFile( Presion.txt, APPEND );
WriteLine( " " );
WriteLine( "Se deben observar aproximadamente 8 espacios intercostales para una
correcta expansión del pulmón, medidos" );
WriteLine( "sobre la línea media clavicular derecha. Se ha informado que al paciente " #
Paciente:Nombre );
WriteLine( "se la ha sacado una placa que muestra " # Paciente:Eic # " espacios
intercostales." );
WriteLine( "Esto implica que existe una sobredistensión del pulmón. " );
WriteLine( "Por este motivo, se recomienda llevar la Paw de " # Oxigenacion:Paw_nueva
# " a " # Recomendacion:Paw # " cmH2O." );
WriteLine( "Esto mejorará la perfusión, mejorando en consecuencia el intercambio
gaseoso," );
WriteLine( " " );
WriteLine( "Se recomienda esperar entre 5 a 10 minutos para realizar la siguiente
consulta. " );
CloseWriteFile( );
};
```



*Figura 8.10. Explicación Clínica.*

Si el sistema necesitará alguna información adicional, este lo preguntará. Existen tres situaciones que disparan la posibilidad de realizar preguntas adicionales.

La primera de ellas es la situación donde la oxigenación no es buena, el diagnóstico es SDR (estrategia VPO), y la etapa es Reclutado (ver etapa de conceptualización para mas información, Paso 1.1.2.2 Analizar Placa RX (rayos x)). Cuando sucede esto, es necesario saber la cantidad de espacios intercostales que se observan en la placa. Para tal fin, se le preguntará al usuario la cantidad de espacios intercostales y el lugar de la medición (aportado por la experta en la sesión 2). Esta pantalla se puede observar a continuación en la figura 8.11



*Figura 8.11. Pregunta al usuario sobre la cantidad de espacios intercostales*

Otra situación que dispara una pregunta al usuario es cuando se le asigna al atributo Diagnóstico, del concepto Paciente, el valor SDR. En este caso, se le asignará al atributo Estrategia, (del mismo concepto), el valor VPO (ver unidad de Conceptualización, paso 1.1.6.1.2). Esto implica que la Etapa puede ser Reclutado o Reclutamiento. Esto se le pregunta al usuario de la siguiente manera;



Figura 8.12. Pregunta al usuario la Etapa.

La última situación que puede disparar una pregunta para saber datos necesarios para inferir una programación adecuada del respirador, es la situación en la cual la cantidad de espacios intercostales es 8, pero puede haber problemas hemodinámicos debido a otro problema. Por tal motivo, es necesario preguntarle al usuario que evalúe la Hemodinamia, y si esta es mala, recomendarle que realice alguna acción para mejorar este problema, antes de generar algún cambio en la programación del respirador. Esto se puede observar en la ejecución de la regla EIC\_4 (ver conceptualización).

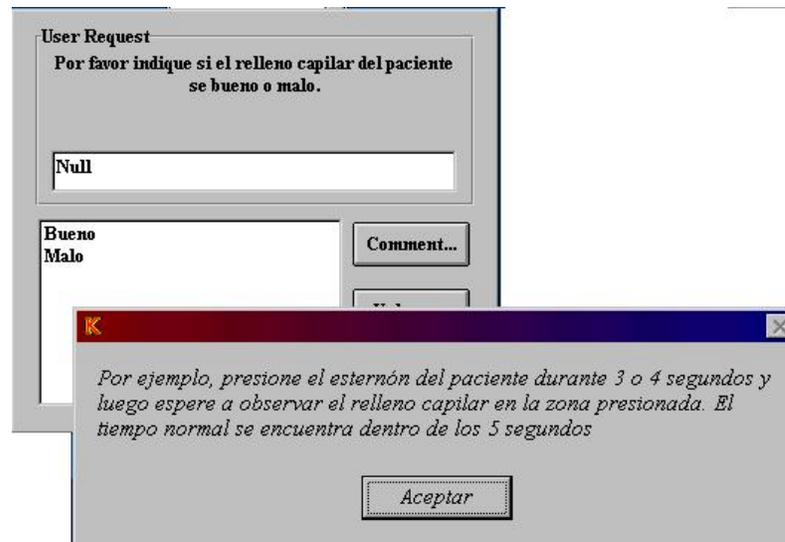


Figura 8.12. Pregunta de Relleno Capilar y su Explicación.

Si esta regla se hace activa, preguntará el valor de cada atributo del concepto Hemodinamia, para así concluir el valor del atributo Estado del mismo concepto. A modo de ejemplos e muestra la pregunta del relleno capilar y su explicación asociada en la figura 8.13.

De esta forma se ha mostrado como actúa el sistema, y la interfase del mismo. Además se ha mencionado sus funciones y sus acciones relacionadas con los pasos enunciados en la unidad de Conceptualización. Se ha mencionado como los Marcos Clase y los Marcos instanciados han sido implementados en la herramienta, como así también las reglas descriptas en la etapa de conceptualización.

### **Introducción**

Durante todo el proceso de construcción de los Sistemas Basados en Conocimiento, se lleva a cabo, en paralelo, una tarea de evaluación. Es decir, aunque esta unidad trate sobre la evaluación del proyecto, es necesario dejar en claro que no es una fase concreta de la ingeniería del conocimiento, sino un conjunto de actividades que se realizan a lo largo de todo el desarrollo del sistema

Se proponen, basado en Juristo [Juristo, 1996], cuatro aspectos del sistema experto que deben ser evaluados,

- *Verificación*: Evaluar la corrección del modelo formal y computable
- Evaluar la validez del modelo conceptual, formal y computable
- La usabilidad del sistema para satisfacer al usuario.
- La utilidad del sistema.

### **Verificación del Sistema Experto**

Un modelo es correcto, si su sintaxis es adecuada. Los errores sintácticos de los modelos no se producen por mala comunicación entre el IC y los expertos, sino que se producen, por errores en el momento de transcribir el modelo conceptual al modelo formal, y de este al computable. Debido a que no existen reglas formales que permitan pasar de un modelo a otro, este problema siempre estará presente, y además no puede ser evaluada formalmente.

Juristo también propone un conjunto de criterios para verificar un sistema basado en reglas, obedeciendo a los criterios de redundancia, incompletitud e inconsistencia. En concreto, se verifica que están todos los elementos que deben estar, y que no sobra ninguno de los elementos que están. Dado que los errores morfológicos los evita el propio editor, esto es, se supone que los elementos del modelo están bien escritos, el aspecto que queda por comprobar en el modelo es la relación y coordinación entre sus elementos.

Durante la Verificación de los conocimientos formalizados se han encontrado incompletitud de reglas. Es decir, faltaban elementos que infieran el estado de falla de rescate en ventilación mecánica de alta frecuencia oscilatoria. Este caso de *regla ausente*, produjo la incorporación posterior de la regla *Fallo*, mostrada en la unidad 6.

### **Validación del Sistema Experto**

Al igual que se dijo para la verificación, la validación debe estar imbricada en el proceso de construcción del sistema. Dado que la validación tiene que ver con la

semántica, puede comenzar antes que la verificación, pues no necesita de modelos formales. Por lo tanto, es aconsejable llevar a cabo una breve validación al nivel de modelo conceptual, pero la validación profunda se debe llevar a cabo cuando esté disponible un modelo computable. El modo de descomponer la validación para simplificarla es incorporarla al desarrollo de los prototipos, de modo que la construcción de cada prototipo conlleve una validación profunda del mismo, hasta el punto en que pueda asegurarse que el prototipo no posee errores semánticos. Resulta conveniente esperar a que el prototipo tenga un nivel de prestaciones aceptable.

La validación de conocimientos tiene a evaluar los errores semánticos que puedan haber sido introducidos por el IC cuando desarrollo la Base de Conocimientos.

Para tal fin, se debe reducir todas las posibles situaciones con que se puede enfrentar el sistema experto, a un número de casos de prueba representativo de tales situaciones. La validación de la exactitud y la aceptabilidad se lleva a cabo a través de técnicas de valoración empíricas, que derivan del uso experimental de los SSBCC en situaciones controladas. En general, estos métodos implican ejecutar un prototipo sobre un juego de ensayo formado por un conjunto seleccionado de casos de prueba, para luego valorar los resultados. Es decir, como exactitud y aceptabilidad son criterios dinámicos, el modo de valorarlos consiste en hacer funcionar el sistema en una situación controlada y examinar su comportamiento. De esta manera se tratará el sistema como una caja negra del que solo interesan las entradas y las salidas provocadas por dichas entradas

La prueba a que se somete el sistema influye drásticamente en el resultado de la evaluación. Si la carga seleccionada es trivial, el sistema saldrá bien de la evaluación, pudiendo seguir adelante en la construcción. Por otro lado, si la carga de prueba es extremadamente difícil, puede perderse tiempo en intentar mejorar un sistema que podría darse por válido. Es decir, el punto crítico consiste en seleccionar una carga de prueba representativa de la realidad a la que se enfrentará el SE una vez que se encuentre en uso rutinario.

Luego, la comparación entre los resultados arrojados por el sistema experto, y por el mismo experto (si es esto posible) puede hacerse de tres formas, informalmente, cualitativamente o cuantitativamente. En este trabajo se realizará una comparación informal, y si es posible se comparará el resultado numérico con el resultado real.

Establecer una carga de prueba no constituye una situación real. El experto, cuando se encuentra realizando la tarea, se encuentra focalizado en un paciente. Este paciente varía su estado en forma constante, y los parámetros a programar en el respirador varían no solo en función del estado del paciente sino de los mismos parámetros a programar. La mejor carga de prueba no es una entrada determinada, sino el conjunto de entradas determinada por los diferentes estados del paciente y el conjunto de estados de programación que resultan en cada momento de ese estado del paciente.

A diferencia de otros sistemas expertos, este presenta no presenta una única salida con un único parámetro de salida (por ejemplo un diagnóstico), sino una salida que tiene 5 parámetros numéricos diferentes. Cada uno de ellos puede o no, ser modificado en función del estado del paciente.

Teniendo esto en cuenta, se propone realizar el seguimiento de un caso real para cada estrategia, Volumen pulmonar óptimo y estrategia de volumen pulmonar mínimo. Se propone comparar la salida del SE con la salida del experto para un caso real, desde la conexión del paciente al respirador, hasta su destete o estabilización.

### *Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

Realizar este procedimiento en una terapia intensiva neonatal es complicado. Por esta razón se propone realizar el seguimiento de un caso real que sea igual o representativo de un caso real.

Se plantean los siguientes seguimientos:

- Modelo de paciente neonatal, experimental, con SDR (estrategia de Volumen Pulmonar Óptimo)
- Modelo de paciente neonatal, experimental, con Neumotorax (estrategia de volumen pulmonar Mínimo)
- Consideración de casos extremos o críticos (a determinar)

Se propone como modelo experimental la ventilación en alta frecuencia oscilatoria de un conejo. Este tipo de animal presenta características del sistema respiratorio y del cardiocirculatorio similares a las de un paciente neonatal.

La experiencia se realizará en el Colegio de Médicos de Morón, durante el curso: “Curso avanzado de ventilación Mecánica Neonatal”, dictado por en forma anual por el Colegio de Médicos de Morón, Dirigido por la Doctora Diana Fariña y por la Dra Gabriela Ripani, Subjefa del servicio de Terapia Intensiva neonatal del Hospital Fernández de la Ciudad de Buenos Aires.

El cuidado del conejo estuvo a cargo de Profesionales veterinarios.

#### **Preparación:**

Se preparó el ambiente de trabajo. Fue necesario el siguiente equipamiento médico para simular una Terapia intensiva:

- Cuna Radiante servocontrolada Marca Medix
- Bomba de infusión a Jeringa, Marca Razel.
- Respirador Convencional Microprocesado para Pacientes Neonatales, Marca Bear Cub 750 PSV.
- Respirador de alta Frecuencia Oscilatoria. Marca Sensormedics 3100 A
- Monitor Multiparametrico, ECG, onda pletismografica, Saturación, Presión sanguínea no Invasiva, Presión sanguínea invasiva, Respiración. Marca Datex-Omeda CardioCap 5.
- Gases medicinales: oxígeno y Aire.
- Descartables varios: circuitos paciente, jeringas, tubo endotraqueal, etc
- Drogas: aportadas por el colegio de Médicos de Morón, y los veterinarios.

El equipamiento fue aportado por la Firma JAEJ S.A.

**Método:**

Se tomarán los datos del paciente, y serán incorporados al sistema. El experto, por su lado, y en forma independiente al SE, recomendará la programación del respirador. Luego se comparará la salida del sistema con la recomendación brindada por el experto.

## **Caso 1**

**Objetivo:** Validar el sistema en la asistencia de programación del respirador, para un caso de SDR.

### **Estado del Paciente:**

Se prepara el modelo para simular un caso de SDR. Para tal fin, el veterinario realiza una sedación, analgesia y paralización del animal de 2640 grs (modelo que representa perfectamente un ser humano de 900 grs). Luego del efecto de las drogas anestésicas, se acuesta el conejo en la cuna radiante, y se conecta al respirador convencional y a los monitores.

Luego se realiza un lavaje del surfactante pulmonar con 800 ml de solución fisiológica. Esto produce una reducción visible de la compliancia por falta de surfactante pulmonar que simula apropiadamente una Membrana Hialina (SDR).

Ante la falla del respirador convencional, se procede a la conexión del paciente al respirador de alta frecuencia oscilatoria.

Los parámetros del respirador Convencional, antes del cambio eran:

- ***FIO2: 100%***
- ***PEEP: 10 cmH2O***
- ***PIM (Presión Inspitaroria Máxima): 23 cmH2O***
- ***Tiempo Inspiratorio: 0.4 seg.***
- ***Frecuencia: 60 rmp***

Mientras que los parámetros monitorizados eran:

- ***Saturación: 82%.***
- ***Frecuencia Cardíaca: 145 Latidos por minuto (normal para el conejo)***

El pasaje del respirador convencional al de VAFO se realiza por personal médico, programándose inicialmente de la siguiente manera:

- ***Paw: 15 cmH2O***
- ***Tiempo Inspiratorio: 33 %***
- ***Frecuencia: 15 Hz***
- ***FIO2: 100%***

El sistema Experto permite (opción: “*Cargar datos de Pacientes, ver procedimientos de calibración, ver tendencias*”) observar los pasos a realizar antes de la conexión del sistema, no solo la calibración del sistema y del circuito paciente, sino también la recomendación inicial.

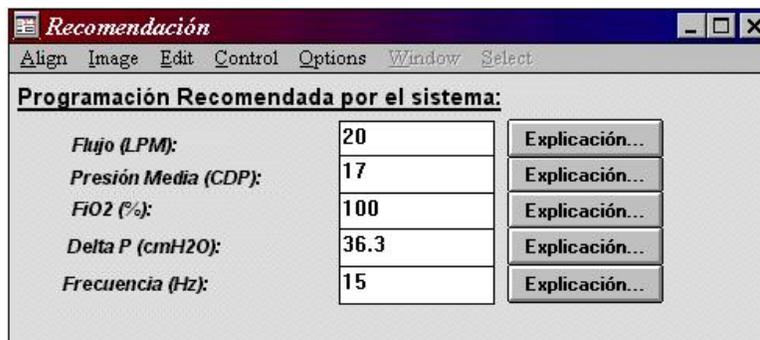
Se realiza la primer consulta, en el momento en que el paciente tiene los siguientes parámetros monitorizados:

- **Saturación: 82%**
- **Presión Media en la Vía aérea: 15 cm H<sub>2</sub>O**
- **Fracción Inspirada de oxígeno: 100%**
- **Delta P: 33 cmH<sub>2</sub>O**
- **No se dispone de gases en sangre.**

### **Descripción del comportamiento del sistema**

#### **Primera Recomendación.**

1. Se presionó el botón de recomendación Rápida, y el sistema solicitó los datos monitorizados del paciente.
2. Se incorporaron los datos y luego se presionó el botón correspondiente a la aceptación de los datos.
3. El Sistema solicitó información respecto al reclutamiento del pulmón. Dado que nos encontramos en la fase inicial de reclutamiento, se completó el dato con la opción *Reclutamiento*
4. Luego el sistema solicita información respecto a la vibración del paciente. Dado que el pecho del paciente no vibraba se completó con la opción vibración Nula
5. Luego la pantalla de *Programación Recomendada*, indicó el resultado mostrado en la siguiente figura 9.1



*Figura 9.1. Programación Recomendada.*

### **Interpretación de la Experta de la Primera recomendación**

Luego de la experiencia la experta explicó el porque de su programación, y las diferencias encontradas con el sistema experto.

#### **Recomendación del Sistema: Flujo: 20 LPM**

#### **Recomendación de la Experta: Flujo 20 LPM**

El valor es apropiado. El caso presentado no debería proponer cambios en el valor del Flujo, y el valor estándar es de 20 LPM.

#### **Recomendación del Sistema: Presión Media: 17 cmH2O**

#### **Recomendación de la Experta: Presión Media: 17 cmH2O**

El paciente tiene SDR, y nos encontramos en la etapa de Reclutamiento. En este momento es apropiado aumentar la presión para reclutar el pulmón, aumentar la superficie de intercambio gaseoso, y mejorar la oxigenación del paciente. El cambio recomendado en este caso es en la Presión, con un incremento de 2 cmH2O respecto al valor anterior. Dado que el valor era 15 cmH2O, el valor recomendado debería ser 17 cmH2O.

Por lo antes mencionado, la salida del sistema es satisfactoria.

#### **Recomendación del Sistema: Presión Media: FIO2: 100 %**

#### **Recomendación de la Experta: Presión Media: FIO2: 100 %**

El paciente se encuentra en la etapa de reclutamiento, por tal motivo, el FIO2 debe ser 100%. El sistema recomienda esta concentración de oxígeno.

#### **Recomendación del Sistema: Presión Media: 36.3 cmH2O**

#### **Recomendación de la Experta: Presión Media: Delta P: 36 cmH2O**

Se comienza con un delta P de 33 cmH2O. El objetivo del Delta P es el de proveer una correcta ventilación del paciente. El parámetro monitorizado que se utiliza es la presión parcial de CO2 en sangre, y el dato clínico es la vibración del pecho del paciente. Sin embargo, no se tienen gases en sangre, entonces se utiliza el dato clínico vibración del pecho del paciente únicamente. En este paso, el delta P no es suficiente para hacer vibrar el pecho del paciente. El sistema debería recomendar un aumento en el delta P del 10% aproximadamente, tal como fue recomendado. La diferencia encontrada de 0.3 cmH2O no es considerable.

**Recomendación del Sistema: Frecuencia: 15 Hz**

**Recomendación de la Experta: Presión Media: Frecuencia: 15 Hz**

No existe gran cantidad de bibliografía respecto a la frecuencia recomendada. Hoy se utiliza la frecuencia programada en función del peso del paciente. El paciente pesa 800 grs por lo que le corresponde una frecuencia de 15 Hz, tal como recomendó el sistema.

Por lo antes explicado, la recomendación de la programación del respirador por parte del sistema, para este caso en particular, es satisfactorio.

**Segunda recomendación**

El experto realizó la modificación de la Paw y del Delta P. El único cambio visible fue la vibración del pecho, mientras que no hubo cambios en los parámetros monitorizados.

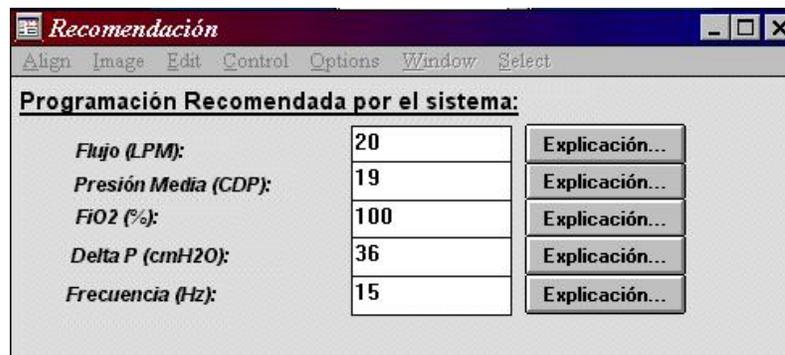
El experto realiza la segunda modificación en la programación a los 3 minutos al no ver cambios apreciables en la oxigenación del paciente (saturación 83 %)

Los datos monitorizados son:

- ***Saturación: 82%***
- ***Presión Media en la Vía aérea: 17 cm H2O***
- ***Fracción Inspirada de oxígeno: 100%***
- ***Delta P: 36 cmH2O***
- ***No se dispone de gases en sangre.***

**Descripción del comportamiento del sistema**

1. Se presionó el botón de recomendación Rápida, y el sistema solicitó los datos monitorizados del paciente.
2. Se incorporaron los datos y luego se presionó el botón correspondiente a la aceptación de los datos.
3. El Sistema solicitó información respecto al reclutamiento del pulmón. Dado que nos encontramos en la fase inicial de reclutamiento, se completó el dato con la opción *Reclutamiento*
4. Luego el sistema solicita información respecto a la vibración del paciente. Dado que el pecho del paciente vibraba normalmente se completó con la opción vibración Normal
5. Luego la pantalla de *Programación Recomendada*, indicó el resultado mostrado en la figura 9.2.



*Figura 9.2. Recomendación.*

### **Interpretación de la Experta de la segunda recomendación**

**Recomendación del Sistema: Flujo: 20 LPM**

**Recomendación de la Experta: Flujo 20 LPM**

El valor es apropiado. El caso presentado no debería proponer cambios en el valor del Flujo, y el valor estándar es de 20 LPM.

**Recomendación del Sistema: Presión Media: 19 cmH2O**

**Recomendación de la Experta: Presión Media: 19 cmH2O**

El paciente tiene SDR, y nos encontramos en la etapa de Reclutamiento, no se han encontrado diferencias en los parámetros de oxigenación. El cambio recomendado en este caso es en la Presión, con un incremento de 2 cmH2O respecto al valor anterior. Dado que el valor era 17 cmH2O, el valor recomendado debería ser 19 cmH2O.

Por lo antes mencionado, la salida del sistema es satisfactoria.

**Recomendación del Sistema: Presión Media: FIO2: 100 %**

**Recomendación de la Experta: Presión Media: FIO2: 100 %**

El paciente se encuentra en la etapa de reclutamiento, por tal motivo, el FIO2 debe ser 100%. El sistema recomienda esta concentración de oxígeno.

**Recomendación del Sistema: Presión Media: 36 cmH2O**

**Recomendación de la Experta: Presión Media: Delta P: 36 cmH2O**

La vibración del pecho del paciente es normal, y no se tienen gases en sangre para saber con exactitud la presión parcial de CO2 en sangre. No se debe proponer cambios en el Delta P. El sistema no recomienda cambios, al igual que la experta.

**Recomendación del Sistema: Frecuencia: 15 Hz**

**Recomendación de la Experta: Presión Media: Frecuencia: 15 Hz**

Una vez programada la frecuencia, no se producen cambios en la Frecuencia.

Por lo antes explicado, la recomendación de la programación del respirador por parte del sistema, para este caso en particular, es satisfactorio.

**Tercer Recomendación**

Tres minutos después, no se observan cambios significativos en la oxigenación del paciente, por lo que la experta procede a realizar un cambio en la programación del respirador.

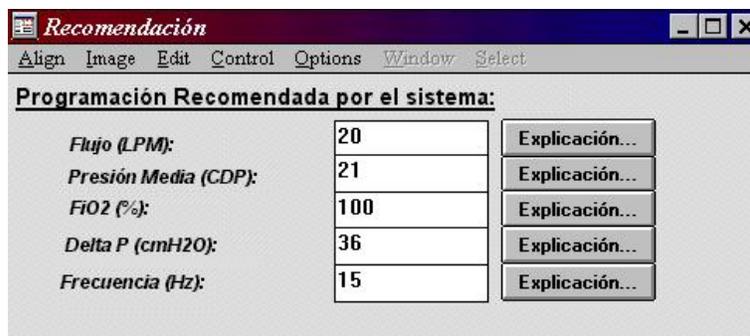
Los datos monitorizados son:

- *Saturación: 83%*
- *Presión Media en la Vía aérea: 19 cm H2O*
- *Fracción Inspirada de oxígeno: 100%*
- *Delta P: 36 cmH2O*
- *No se dispone de gases en sangre.*

**Descripción del comportamiento del sistema**

1. Se presionó el botón de recomendación Rápida, y el sistema solicitó los datos monitorizados del paciente.
2. Se incorporaron los datos y luego se presionó el botón correspondiente a la aceptación de los datos.
3. El Sistema solicitó información respecto al reclutamiento del pulmón. Dado que nos encontramos en la fase inicial de reclutamiento, se completó el dato con la opción *Reclutamiento*
4. Luego el sistema solicita información respecto a la vibración del paciente. Dado que el pecho del paciente vibraba normalmente se completó con la opción vibración Normal

5. Luego la pantalla de *Programación Recomendada*, indicó el siguiente resultado mostrado en la figura 9.3.



*Figura 9.3. Recomendación.*

### **Interpretación de la Experta de la Tercer recomendación**

Dado que no se logra reclutar el pulmón del paciente, y eso se puede observar directamente de la saturación del paciente, es necesario aumentar la presión media en la vía aérea del paciente. Se recomienda aumentar la presión 2 cmH<sub>2</sub>O respecto al valor actual, es decir programar la Paw en 21 cmH<sub>2</sub>O. Esto es lo recomendado por el SE, por lo que no se encuentran diferencias.

Los otros parámetros deben permanecer igual que antes. El SE no ha recomendado cambios, por lo que tampoco se encuentran diferencias.

La salida del SE es satisfactoria.

### **Cuarta Recomendación**

Inmediatamente después del cambio en la programación anterior, se observan cambios significativos en la saturación del paciente. En 2 minutos, la saturación fue de 83% a 95%.

El experto esperó que se estabilicen los valores monitorizados, y luego, a los 5 minutos, recomendó realizar un estudio de gases en sangre, y ordenó sacar una radiografía de tórax.

Luego, a los 10 minutos, se realizó un cambio en la programación. El experto bajó la FIO<sub>2</sub> al 95 %

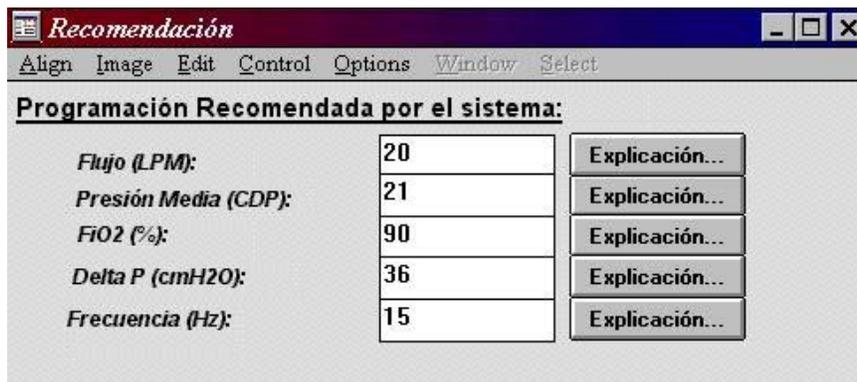
El monitoreo del paciente, indicaba:

- **Saturación: 94%**
- **Presión Media en la Vía aérea: 21 cm H<sub>2</sub>O**
- **Fracción Inspirada de oxígeno: 100%**

- **Delta P: 36 cmH2O**
- **PO2: 60 mmHg**
- **PCO2: 48 mmHg**

### **Descripción del comportamiento del sistema**

1. Se presionó el botón de recomendación Rápida, y el sistema solicitó los datos monitorizados del paciente.
2. Se incorporaron los datos y luego se presionó el botón correspondiente a la aceptación de los datos.
3. El Sistema solicitó información respecto al reclutamiento del pulmón. Dado que nos encontramos en la segunda fase, en donde el pulmón ya se encuentra reclutado, se completó el dato con la opción *Reclutado*
4. Luego la pantalla de *Programación Recomendada*, indicó el resultado mostrado en la figura 9.4



*Figura 9.4. Recomendación.*

### **Interpretación de la Experta de la Cuarta recomendación**

Debido a los cambios en la oxigenación del paciente, se puede concluir que se ha logrado alcanzar la presión de apertura pulmonar. Luego de la estabilización de los valores monitorizados, el experto redujo el porcentaje de oxígeno aportado al 90%. Debido a la toxicidad del oxígeno y las buenas lecturas de los parámetros de oxigenación, no hay razón para mantener la FIO2 al 100%. Inicialmente la recomendación de la reducción de la FIO2 es lo más aconsejable.

La salida del Experto y del Sistema experto concuerdan por lo que la respuesta del sistema es satisfactoria.

### **Quinta Recomendación**

Se realizaron los cambios correspondientes a la modificación de la FiO<sub>2</sub>, con una reducción del 100% al 90%. Luego se esperó durante 10 minutos sin cambios en los parámetros monitorizados.

El monitoreo del paciente, indicaba:

- ***Saturación: 94%***
- ***Presión Media en la Vía aérea: 21 cm H<sub>2</sub>O***
- ***Fracción Inspirada de oxígeno: 90%***
- ***Delta P: 36 cmH<sub>2</sub>O***
- ***PO<sub>2</sub>: 60 mmHg***
- ***PCO<sub>2</sub>: 48 mmHg***

### **Descripción del comportamiento del sistema**

1. Se presionó el botón de recomendación Rápida, y el sistema solicitó los datos monitorizados del paciente.
2. Se incorporaron los datos y luego se presionó el botón correspondiente a la aceptación de los datos.
3. El Sistema solicitó información respecto al reclutamiento del pulmón. Dado que nos encontramos en la segunda fase, en donde el pulmón ya se encuentra reclutado, se completó el dato con la opción *Reclutado*
4. Luego la pantalla de *Programación Recomendada*, indicó un nuevo cambio en la programación del respirador, recomendando una reducción de la FIO<sub>2</sub> de 90% a 81%.

### **Interpretación de la Experta de la Quinta recomendación**

La experta también recomendó una reducción en la concentración del oxígeno aportado, a 85%. Esto presenta una diferencia respecto al valor recomendado por el sistema, 81%. La experta aclara, *”El sentido general de la etapa post reclutamiento es la de reducir la Fracción inspirada de oxígeno, que como sabemos es tóxica. Los valores absolutos no son importantes, dado que pueden variar de institución en institución, de paciente en paciente, y del tiempo que nos tomemos para hacer los cambios. Si realizamos cambios en cada 5 minutos, las variaciones pueden ser del 5 al 10%. La idea es, bajar la FIO2. No creo que una diferencia de 81 a 85% sea significativa, lo importante es la estrategia y el objetivo que se quiere lograr...”*

La salida del sistema es satisfactoria.

De esta manera, cada 5 o 10 minutos se consulta el sistema nuevamente. Las siguientes recomendaciones indicaron, al igual que el experto, variaciones en la programación. En la siguiente tabla, tabla 9.1, se puede ver la recomendación del sistema, la recomendación del experto, y la diferencia encontrada.

<b>Hora</b>	<b>Monitoreo del Paciente</b>	<b>Recomendación del Sistema (solo se muestran las diferencias)</b>	<b>Recomendación de la Experta</b>	<b>Diferencia</b>
8:40	Sat: 82% Paw: 15 cm H2O FIO2: 100% Delta P: 33 cmH2O	Flujo: 20 LPM Paw: 17 cmH2O FIO2: 100 % Delta P: 36.3 cmH2O Frecuencia 15	Flujo: 20 LPM Paw: 17 cmH2O FIO2: 100 % Delta P: 36 cmH2O Frecuencia 15	-
8:45	Sat: 82% Paw: 17 cm H2O FIO2: 100% Delta P: 36 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	-
8:48	Sat: 83% Paw: 19 cm H2O FIO2: 100% Delta P: 36 cmH2O	Paw: 21 cmH2O	Paw: 21 cmH2O	-
9:05	Sat: 94% Paw: 21 cm H2O FIO2: 100% Delta P: 36 cmH2O PO2: 60 mmHg PCO2: 48 mmhg	FiO2: 90%	FiO2: 90%	-
9:20	Sat: 94% Paw: 21 cm H2O FIO2: 90% Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 81%	FiO2: 85%	4 %
9:32	Sat: 94% Paw: 21 cm H2O FIO2: 85% Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 76.5%	FiO2: 75%	1.5%
9:42	Sat: 94% Paw: 21 cm H2O FIO2: 75 %	FiO2: 67.5%	FiO2: 70%	1.6 %.

*Sistema de Asistencia para la configuración de ventiladores OAF en Neonatología*

	Delta P: 36 cmH2O			
9:55	Sat: 94% Paw: 21 cm H2O FIO2: 70 % Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 63%	FiO2: 65%	2 %
10:07	Sat: 93% Paw: 21 cm H2O FIO2: 65 % Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 58.5 %	FiO2: 55%	3.5 %
10:22	Sat: 93% Paw: 21 cm H2O FIO2: 55 % Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 49.5 %	FiO2: 50%	0.5 %
10:45	Sat: 92% Paw: 21 cm H2O FIO2: 50 % Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 45 %	FiO2: 45 %	-
10:55	Sat: 92% Paw: 21 cm H2O FIO2: 45 % Delta P: 36 cmH2O	FiO2: 40.5 %	FiO2: 40 %	0.5 %
11:15	Sat: 92% Paw: 21 cm H2O FIO2: 40 % Delta P: 36 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	-
11:30	Sat: 95% Paw: 19 cm H2O FIO2: 40 % Delta P: 36 cmH2O	Paw: 17 cmH2O	Paw: 17 cmH2O	-
11:35	Sat: 86% Paw: 17 cm H2O FIO2: 40 % Delta P: 36 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	Paw: 19 cmH2O	-

*Tabla 9.1. Programación recomendada*

Es importante mencionar que el dispositivo que realiza la mezcla entre el gas oxígeno, y el gas aire (21% oxígeno, 79% Nitrógeno) tiene un error porcentual en su salida del 3% de fondo de escala. Esto es, si la fracción inspirada de oxígeno se programa en 50 %, la Fracción real administrada al paciente es  $50\% \pm 3\%$ , es decir, en el rango 47% al 53%.

Por esto, en todos los errores mencionados en la tabla no son significativos. Por otro lado, el experto ha aclarado que en realidad la FiO2 debería ser reducida un 10% de la medición actual aproximadamente, pero en la práctica médica en general se reduce un 5 % del fondo de escala por vez. Esto no es un error, sino otra manera de reducir los valores.

A las 11:35 se observa que al bajar la presión, el pulmón se desrecluta. Esto sucede porque el tejido pulmonar no ha tenido tiempo para sintetizar surfactante pulmonar, y además no se le ha administrado dicha droga. Es necesario mencionar que los tiempos de la experiencia, una vez reclutado el pulmón, son extremadamente cortos respecto a los intervalos de cambios de programación para un ser humano.

El tiempo de la experiencia, y de la prueba está acotado a la disponibilidad de los profesionales. Por tal motivo, luego de los valores mencionados, se dio por finalizada la simulación de la enfermedad SRD (el mismo conejo luego es utilizado para el caso 2, Neumotorax)

### **Conclusión del caso 1**

Se ha logrado, para el caso de un paciente que padece SDR:

- Simular el comportamiento de la experta en la etapa de programación inicial del respirador. En el momento en que el paciente es pasado del respirador convencional al respirador de VAFO, la programación recomendada por el SE es exactamente igual a la programada por la experta.
- Recomendar al usuario, en forma ordenada, la programación del respirador de VAFO, en la etapa inicial llamada Reclutamiento.
- Recomendar al usuario, en forma ordenada, la programación del respirador de VAFO, en la segunda etapa llamada Reclutado.
- Recomendar valores numéricos absolutos, correspondientes a cada uno de los parámetros a programar en el respirador, con un error no significativo respecto al valor asignado por el experto en el momento de la programación.

## **Caso 2**

**Objetivo:** Validar el sistema en la asistencia de programación del respirador, para un caso de Neumotorax.

### **Estado del Paciente:**

El mismo conejo del Caso 1 se prepara para la simulación del paciente neonatal con neumotorax. El conejo se encuentra anestesiado en una cuna radiante y conectado nuevamente a un respirador convencional. El monitoreo es el mismo que se mencionó para el caso 1.

Se realiza una incisión sobre el lateral derecho del tórax del conejo, con el fin de producir un corte sobre la pleura pulmonar. Esto produce un neumotorax del pulmón derecho del animal.

Luego, se intenta ventilar el conejo con el respirador convencional,

- ***FIO<sub>2</sub>: 100%***
- ***PEEP: 5 cmH<sub>2</sub>O***
- ***PIM (Presión Inspiratoria Máxima): 17 cmH<sub>2</sub>O***
- ***Tiempo Inspiratorio: 0.35 seg.***
- ***Frecuencia: 60 rmp***

La saturación del conejo inicialmente fue muy mala debido al manipuleo del animal en el momento de la incisión. Luego, la saturación subió a 81% y allí permaneció. Este, junto con otros parámetros, permiten decidir el cambio de la ventilación convencional a la ventilación de VAFO (rescate). Los parámetros utilizados para tomar la decisión no son parte de la presente obra.

El conejo se pasa al ventilador de VAFO, con los parámetros recomendados por el experto que son exactamente igual a los recomendados por el sistema experto.

- ***Frecuencia: 15 Hz***
- ***Paw: 1 cmH<sub>2</sub>O por debajo de la Presión media del respirador Convencional: 16 cmH<sub>2</sub>O***
- ***Delta P: 36 cmH<sub>2</sub>O***
- ***Tiempo Inspiratorio: 33%***
- ***FIO<sub>2</sub>: 100%***

Inicialmente, el monitoreo mostró un incremento poco significativo, pero luego, el incremento continuo lentamente para llegar a 88%. Con cuadro clínico simulado, los datos de los monitores, la salida del sistema experto, y la respuesta del experto, los datos fueron cargados en la siguiente tabla 9.2:

<b>Hora</b>	<b>Monitoreo del Paciente</b>	<b>Recomendación del Sistema (solo se muestran las diferencias)</b>	<b>Recomendación de la Experta</b>	<b>Diferencia</b>
11:55	Sat: 88% Paw: 16 cm H <sub>2</sub> O FIO <sub>2</sub> : 100 % Delta P: 36 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 16.5 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 16.5 cmH <sub>2</sub> O	-
12:10	Sat: 92% Paw: 16.5 cm H <sub>2</sub> O FIO <sub>2</sub> : 100 % Delta P: 36 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 16 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 16 cmH <sub>2</sub> O	-
12:35	Sat: 90% Paw: 16 cm H <sub>2</sub> O FIO <sub>2</sub> : 100 % Delta P: 36 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 15.5 cmH <sub>2</sub> O	Paw: 15.5 cmH <sub>2</sub> O	-

*Tabla 9.2. Monitoreo y acciones recomendadas.*

A diferencia del caso 1, este caso no tiene etapas. El tejido debe cicatrizar, y eso lleva días, es decir, este proceso no puede simularse.

Sin embargo, los pasos recomendados por el sistema experto son iguales a los realizados por el experto.

### **Caso 3**

**Objetivo:** Validar el sistema en la asistencia de programación del respirador, para casos especiales.

#### **Casos Especiales:**

Como muestra de casos especiales se consideran:

1. **Caso 3.1: Desreclutamiento:** Se puede dar el caso en el cual, el usuario ha reclutado el pulmón del paciente, y ya ha realizado consultas al sistema, siempre indicando que se encuentra con el pulmón reclutado, pero por alguna razón, el pulmón se encuentra desreclutado. En dicho caso, el sistema debería avisar al usuario que se encuentra en esta situación, recomendar algún procedimiento para asegurar esto, y finalmente recomendar algún tratamiento para revertir el cuadro clínico.
2. **Caso 3.2: Problemas Hemodinámicos:** Como fue mencionado por la experta en las sesiones de adquisición de conocimientos, sesión 4, el estado de la oxigenación del paciente, no solo depende del aporte de oxígeno al pulmón, y de la presión de distensión del mismo, sino de una relación entre este aporte ventilatorio y la perfusión del tejido. Esta relación conocida como la relación ventilación perfusión,

puede ser alterada, y el resultado final, alterado. Por ejemplo, si el paciente tiene algún problema hemodinámico (hemorragias, problemas cardíacos, baja volemia, etc) se podrá observar un deterioro del estado de la oxigenación del paciente. Por lo tanto, es interesante probar el sistema bajo estas condiciones.

- 3. Caso 3.3: Falla de ventilación Mecánica:** Es necesario considerar el caso en el cual la VAFO falle, es decir, el caso en el cual, la VAFO no sea la terapia que permita el rescate del paciente, y este no pueda mejorar su estado mediante esta terapia. En tal caso, el sistema debería recomendar y avisar apropiadamente.

### **Caso 3.1**

**Objetivo:** Validar la recomendación dada por el sistema en caso de un posible desreclutamiento del pulmón

#### **Entrada al sistema:**

Para simular dicho caso, se incorporarán los siguientes datos:

- Enfermedad: SDR. Esto es porque este diagnóstico es el que establece la estrategia de Volumen Pulmonar mínimo (VPM), y a su vez esta estrategia tiene las etapas Reclutado y Reclutamiento.
- Saturación: 80%. La saturación de ese valor informará al sistema que la oxigenación no es buena.
- Presión Media: 20 cmH<sub>2</sub>O. No es necesario establecer un valor concreto, se eligió este por ser un valor considerado como normal.
- FiO<sub>2</sub>: 50 %. Dado que se le informará al sistema que el pulmón se encuentra reclutado, es necesario imaginar la situación real. Si el pulmón se encontrara reclutado, es probable que la FiO<sub>2</sub> ya haya sido reducida de su valor inicial de 100%.
- Delta P: 33 cmH<sub>2</sub>O. no es importante en la prueba.
- Peso: 800 grs. No influye en la prueba.

#### **Salida deseada:**

En este caso, el experto había aclarado que, si hubiese un desreclutamiento, habría que reclutar nuevamente. Sin embargo antes de esto, hay que asegurar que la mala oxigenación es por un desreclutamiento, y no por otra causa, como podría ser un estado hemodinámico malo.

Es deseable que el sistema en este caso, solicite datos de la placa radiográfica, en particular de los espacios intercostales medidos sobre la línea media clavicular derecha. Luego con esos datos, podría concluir si el pulmón se encuentra reclutado o no, y recomendar el aumento de presión en la vía aérea para revertir el cuadro.

**Desarrollo de la Prueba:**

1. Se solicitó una recomendación Rápida.
2. El sistema solicitó los datos, y como se muestra en la siguiente figura 9.5, estos fueron cargados. Luego se presionó en botón aceptar datos.

The screenshot shows a window titled "Datos" with a menu bar containing "Align", "Image", "Edit", "Control", "Options", "Window", and "Select". The main area contains several input fields:

Enfermedad:	SDR
Saturación:	80
Presion Media:	20
FiO2:	50
Delta P:	33
Peso:	800

Below the fields is a button labeled "Presione este botón si hay gases disponibles...". At the bottom right is a button labeled "Aceptar datos".

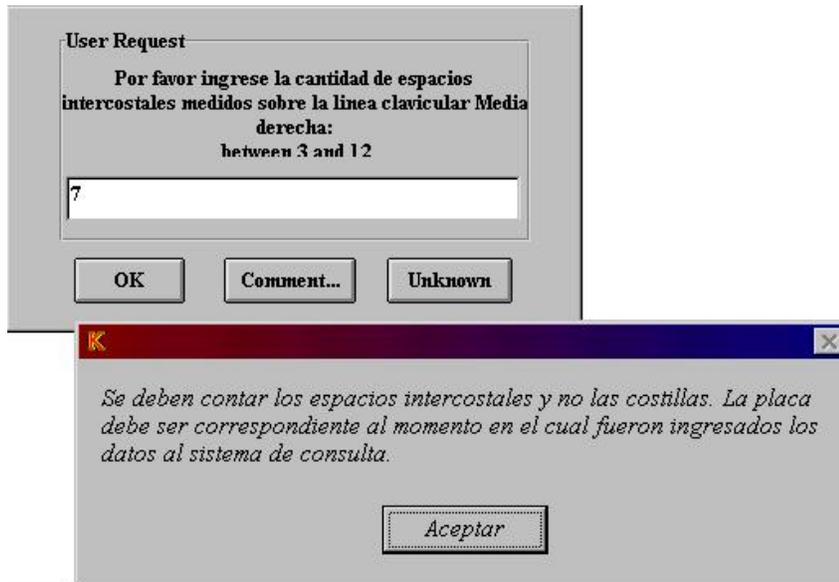
*Figura 9.5. Solicitud de Datos*

3. Luego se completo, la etapa con la opción Reclutado. Se recuerda que se está probando el sistema cuando se da la situación de desreclutamiento, pero el usuario cree que se encuentra con el pulmón reclutado. La figura 9.6 muestra la salida del sistema.

The screenshot shows a dialog box titled "User Request" with the text: "Por favor, informe si usted está intentado reclutar el pulmón o ya lo ha reclutado:". Below the text is a text input field containing "Reclutado". To the right of the input field is a "Comment..." button. Below the input field is a list with three items: "Cicatrizacion", "Reclutado", and "Reclutamiento". The "Reclutado" item is highlighted in red. To the right of the list are two buttons: "Unknown" and "OK".

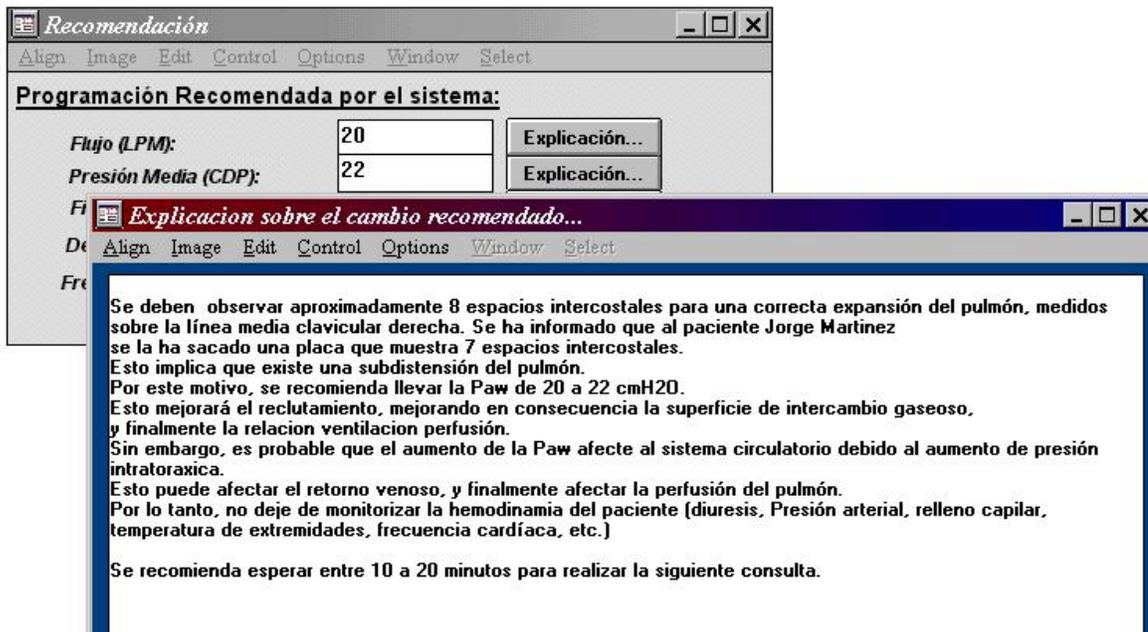
*Figura 9.6. Desreclutamiento*

4. Inmediatamente después, el sistema al encontrar una incongruencia en las condiciones de entrada, solicita más información. Al solicitar la cantidad de espacios intercostales, está solicitando una placa radiográfica. Esto asegurará si el problema es una falta de reclutamiento del pulmón o no. A continuación se muestra la pantalla que solicita la información y el cuadro de comentarios correspondiente.
5. Se completa con un valor de 7, lo cual indicaría un desreclutamiento del pulmón. Luego, el sistema realiza una pregunta respecto a la vibración del pulmón, la cual se responde con *normal*. La figura 9.7 muestra el caso mencionado.



*Figura 9.7. Desreclutamiento del Pulmón.*

6. Finalmente la pantalla de recomendación se hace visible, recomendando el consiguiente aumento de presión de la vía aérea. El incremento respecto del valor anterior es de 2 cmH<sub>2</sub>O, y al presionar el botón de *Explicar...*, la siguiente pantalla se hace visible;



*Figura 9.8. Salida del sistema para caso de desreclutamiento.*

**Resultado:**

La salida del sistema es válida.

**Caso 3.2**

**Objetivo:** Validar la recomendación dada por el sistema en caso de problemas hemodinámicos del paciente.

**Entrada al sistema:**

La entrada es exactamente igual que el caso 3.1. Se seguirán los mismos pasos hasta el momento en el cual el SE solicita información respecto a la cantidad de espacios intercostales. Aquí se completará el casillero con 8 espacios intercostales. De esta manera, el SE no puede inferir problemas en el reclutamiento del pulmón.

**Salida deseada:**

Suponiendo que el proceso de programación del respirador sea correcto, se entiende que no existe otra programación del respirador que permita una mejor ventilación del paciente. Bajo este contexto, se supondrá que el paciente presenta problemas hemodinámicos.

Si estos problemas son causados por el mismo respirador, o por otros problemas ajenos al equipo, es indudable que se debe mejorar la hemodinamia del paciente. Se supondrá también, que una reducción de la Paw del respirador no es apropiada.

Por lo tanto, la respuesta deseada del sistema sería que no recomendara cambios en la programación del respirador, sino que:

- Guíe al usuario del sistema, en un proceso de resolución del problema semejante a como lo hace el experto.
- Informe al usuario que los problemas son hemodinámicos y que debe solucionarlos antes de producir cualquier cambio en la programación del respirador

### **Desarrollo de la Prueba:**

1. Como se mencionó, los pasos son similares hasta la incorporación de la información de la cantidad de espacios intercostales. Luego de incorporar dicha información con 8, el sistema solicitó información sobre la diuresis del paciente, del relleno capilar, de la temperatura de las extremidades, y finalmente de la presión arterial media. Se completó de la siguiente forma:

- Diuresis: Buena
- Relleno capilar: Bueno
- Temperatura Extremidades: Normal
- Presión Arterial Media: Mala

2. Luego, el sistema solicita información sobre la vibración del pecho. La respuesta incorporada es Normal. Esto no influye con el desarrollo de la prueba.

3. Finalmente, la pantalla de Recomendación aparece visible. Se observa que no hay cambios en la programación del respirador. Luego al presionar el botón *Explicación...*, se observa la siguiente leyenda:

*“Dado que:*

*La diuresis de las últimas horas, o el relleno capilar, o la temperatura de las extremidades, o la Presión arterial no se encuentran dentro de los rangos normales, se recomienda mejorar la hemodinamia del paciente antes de producir cambios en el respirador”*

### **Resultado:**

La salida del sistema es válida.

### **Caso 3.3**

**Objetivo:** Validar la recomendación dada por el sistema en caso de que la Ventilación de alta frecuencia oscilatoria falle en el rescate del paciente.

#### **Entrada al sistema:**

La ventilación de alta frecuencia oscilatoria no es la panacea de la ventilación mecánica, y no es la solución para el rescate de cualquier paciente. Pensar que si el respirador se maneja correctamente y se conoce muy bien la patología del paciente, se va a rescatar al paciente es un error. Los Médicos saben esto, y por lo tanto, el SE también debería tener en cuenta esta situación.

Esta situación es conocida como falla del rescate con VAFO. Hoy en día, hay muy pocas terapias alternativas, y en muy pocos lugares se encuentran disponibles. Por lo tanto, si esta es la situación, es muy probable que el paciente tenga altas probabilidades de mortalidad. Justamente, es la VAFO una terapia alternativa, que se utiliza en rescate de paciente que han fallado en ventilación convencional.

Por lo tanto, solo para demostrar que el Sistema Experto puede inferir la falla del rescate en VAFO, se presenta la siguiente prueba.

Ahora, bajo este contexto, el sistema debería acusar falla bajo 3 condiciones:

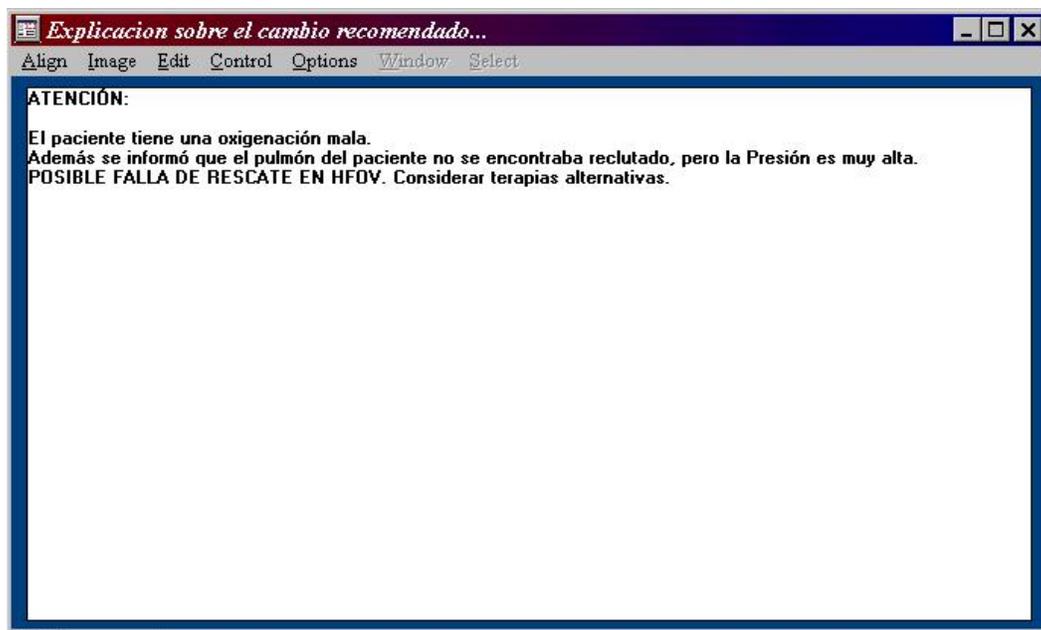
- Situación en la cual la oxigenación del paciente es mala, la Paw tiene un valor muy alto, aproximadamente 30 cmH<sub>2</sub>O, y no se ha logrado reclutar el pulmón
- Situación en la cual el pulmón ya ha sido reclutado (y se ha comprobado con placa radiográfica), la oxigenación es mala, y no existen problemas hemodinámicos.
- Situación en la cual el pulmón se encuentra en la etapa de cicatrización, la oxigenación es mala, y la presión es excesiva.

Solo se hará la prueba con el primer caso, se incorpora al sistema la siguiente entrada:

- Enfermedad: SDR. Esto es porque este diagnóstico es el que establece la estrategia de Volumen Pulmonar mínimo (VPM), y a su vez esta estrategia tiene las etapas Reclutado y Reclutamiento. Se quiere justamente establecer la situación en la cual no se ha reclutado el pulmón.
- Saturación: 80%. La saturación de ese valor informará al sistema que la oxigenación no es buena.
- Presión Media: 31 cmH<sub>2</sub>O. Se quiere establecer una presión alta, por arriba de los 30 cmH<sub>2</sub>O.
- FiO<sub>2</sub>: 100 %. El sistema no debe tener la oportunidad de mejorar la oxigenación enriqueciendo la mezcla de oxígeno aportada. Por esto, se declara una FiO<sub>2</sub> del 100%
- Delta P: 33 cmH<sub>2</sub>O. no es importante en la prueba.
- Peso: 800 grs. No influye en la prueba.

### **Desarrollo de la Prueba:**

1. Se solicitó una recomendación Rápida.
2. El sistema solicitó los datos, y estos fueron cargados con los valores declarados en *Entrada al sistema*. Luego se presionó en botón aceptar datos.
3. El sistema solicitó información respecto a la etapa, y se completó con reclutamiento.
4. Inmediatamente después, el sistema activó el siguiente mensaje: POSIBLE FALLA DE RESCATE EN VAFO. OBSERVAR EXPLICACIÓN PARA MAS INFORMACIÓN.
5. Luego de aceptar dicho mensaje, el sistema solicitó información respecto a la vibración del pecho del paciente, a lo cual se introdujo el valor: *Normal*
6. La pantalla de Recomendación de la Programación se hizo activa, mostrando los mismos valores que había inicialmente, es decir, no recomendó ningún cambio.
7. Luego, al presionar la opción, *Explicación...*, el siguiente mensaje que se muestra en la figura 9.8, se hizo activo



*Figura 9.8. Falla de rescate*

### **Resultado:**

La salida del sistema es válida.

### **Usabilidad del Sistema Experto**

Un sistema es usable si al usuario le resulta agradable la interacción con él, es decir, se evalúa la relación entre el sistema y el usuario. Para no pasar por alto la prueba

de usabilidad, se le dará el sistema a un experto que no haya participado en la construcción en forma directa, y a un residente para que den sus comentarios al respecto.

Los profesionales son:

- Mario Fernández, Terapeuta Respiratorio, Ex-Jefe de Terapeutas Respiratorios de la unidad de Terapia Intensiva para pacientes Adultos del Hospital Jackson de Miami, Estados Unidos. Actual Especialista clínico de Sensormedics Inc, para Latinoamérica.
- Mariana de Collazo, actual residente de la Maternidad de San Isidro para la especialidad de obstetricia y ginecología.

Preparación:

La prueba se realizó en una oficina de la Empresa JAEJ S.A., calle Catamarca 3426, Martínez, Buenos Aires. La empresa tiene un laboratorio apropiado para realizar la experiencia. En ese lugar se montó una computadora personal, y un respirador conectado a un pulmón artificial para simular al paciente.

Introducción:

Se le explicó a cada uno de los profesionales el significado de las pruebas, que se espera de ellos, y del procedimiento de las pruebas.

Prueba:

La información buscada es la opinión del usuario sobre el sistema, y los puntos débiles de este. De esta manera, se preparó un cuestionario para la elaboración de los criterios subjetivos sobre los problemas concretos en la usabilidad del sistema o de otro tipo, anotando las circunstancias en que apareció el problema.

Se desarrolló un cuestionario con preguntas que están relacionadas con los criterios a evaluar, utilizando la escala de Likert. A continuación

1. ¿Cuánto le parece a usted que el sistema puede ayudar en su trabajo diario? (nada – poco - mucho)
2. ¿La pantalla principal es difícil de entender? (complicada - poco intuitiva pero entendible- fácilmente entendible)
3. ¿Las opciones de la pantalla principal le parecen ordenadas? (desordenadas – ordenadas)
4. ¿Cree usted que utilizará en algún momento la ayuda para calibrar el equipo? (nunca – a veces – siempre).
5. ¿El orden de incorporación de los parámetros de la pantalla de *Recomendación Rápida* es apropiado? (apropiado – poco apropiado – incorrecto)
6. ¿Cómo es el tamaño de la pantalla de salida? (pequeña – apropiada – grande).
7. ¿Le costó leer la pantalla de salida? (me costó leer – leí la pantalla sin problemas)

8. ¿Se encuentran ordenados los parámetros de la pantalla de salida? (desordenados – ordenados)
9. ¿El color de la pantalla de salida es poco visible? (poco visible – sobrio – llamativo)
10. ¿Le parece a Ud. que la cantidad de información dada en la explicación para la formación de residentes está bien? (La información es poca – la información está bien – la información permite aprender el concepto)
11. ¿Cree Ud. que la tarea del sistema es aplicable a las tareas cotidianas? (no creo que ayude- ayudará poco - será de ayuda)
12. ¿La pantalla principal tiene poca información para entender las opciones? (poca información – información justa – demasiada información)
13. ¿La explicación final tiene información suficiente para entender la recomendación dada por el sistema? (información escasa – información mínima- información apropiada)
14. ¿Le gustan los colores utilizados? (poco – me da igual – me gustan).
15. ¿Las patologías utilizadas tienen suficiente incidencia en VAFO? (poca incidencia – alguna incidencia – mucha incidencia)
16. ¿Las opciones que ofrece el sistema respecto a la calibración le parecen útiles? (me parece útil – no creo que sea necesaria)
17. ¿Le agregaría mas patologías al sistema? (no le agregaría – le agregaría)
18. Por favor, agregue sus opiniones personales aquí:.....

De esta forma, se siguió con las recomendaciones dadas por Juristo, respecto a este tipo de preguntas, estas son:

- Preguntas cortas y directas
- Tener cuidado en la claridad de las preguntas
- Realizar dos o más preguntas por cada criterio a evaluar. La primer pregunta debe estar en la primer mitad del cuestionario, y la otra pregunta en la segunda mitad.

### Resumen

A continuación se muestra la tabla 9.3 que muestra los resultados de la asignación de valores en la escala de Likert.

<b>Pregunta</b>	<b>Valor asignado por experto</b>	<b>Valor asignado por Residente</b>
<b>1</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>11</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>11</b>	<b>11</b>

<b>8</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>
<b>12</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>13</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>14</b>	<b>2</b>	<b>6</b>
<b>15</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>16</b>	<b>11</b>	<b>0</b>
<b>17</b>	<b>11</b>	<b>11</b>

*Tabla 9.3. Asignación de valores en la escala de Likert.*

Es necesario mencionar que a pesar de que solo se le ha preguntado a dos personas, y que uno de ellos es un experto y no un futuro usuario, se intentará sacar conclusiones respecto a las preguntas realizadas. Las conclusiones son:

- Las respuestas son consistentes. Tanto el residente como el experto mantienen coherencia en la respuesta dada de un mismo criterio en diferentes preguntas.
- Para el experto, las tareas cotidianas de calibración no resultan importantes y no las utilizará. Sin embargo para el residente resultan de ayuda. El sistema no está diseñado para ser utilizado por expertos, sino por médicos no expertos.
- Las respuestas relacionadas con los colores de las pantallas son contrapuestas. Sin embargo la respuesta de la pregunta 9, tiende a asegurar, por parte de los entrevistados, que es poco visible. Inicialmente se le había asignado un color gris al fondo de la misma. Este color se cambiará por otro color más llamativo a determinar.
- Por otro lado, la respuesta de la pregunta 6 informa que el tamaño de la pantalla de salida es pequeño. Esto, junto con el color poco llamativo parecería que no permite llamar la atención apropiadamente del futuro usuario. Esta característica, tamaño de la pantalla de salida, será modificada.
- Las explicaciones del *porque* de cada parámetro programado parecen apropiadas, entendibles y permiten que el residente entienda perfectamente porque se ha recomendado algún cambio sobre él.
- El SE fue diseñado para recomendar la programación del respirador considerando las patologías SDR, enfisema intersticial, y neumotorax. Se le pregunta a los usuarios si cree que estas patologías tienen suficiente incidencia y los dos responden que sí. En la pregunta 11 (¿Cree Ud. que la tarea del sistema es aplicable a las tareas cotidianas?), También responden positivamente. Resulta en consecuencia que ambos entrevistados creen que el sistema puede ayudarlos a resolver la programación del respirador en forma cotidiana (con las patologías más comunes)

### **Utilidad del Sistema**

Es importante mencionar que el grado de utilidad debe ser evaluado correctamente cuando el sistema sea utilizado, en forma rutinaria, en la terapia

intensiva, por un grupo de médicos residentes o no expertos en el tema. Además, debería cumplir con las expectativas que se tenían de él, aportando las mejoras esperadas. Por el momento, el sistema no ha sido utilizado en casos reales, ni se ha instalado, por lo tanto es un parámetro a evaluar en otra fase.

**CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO**

---

**Introducción**

Para el desarrollo de la tesis de Master en Ingeniería del Software, fue necesario profundizar todos los conocimientos aportados por la casa de estudios durante el cursado de la Maestría. En esta Unidad se describirán las conclusiones obtenidas como así también las futuras líneas de investigación sobre este tema.

**Conclusiones**

Del proceso de construcción de los Sistemas Basados en Conocimiento, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Las técnicas de adquisición de conocimientos, permitieron en cada instante educir los conocimientos que se deseaban obtener.
- Las técnicas gráficas y textuales ha permitido desarrollar una conceptualización acorde a la tarea que es desempeñada por la experta para la resolución de la tarea. Esto a su vez a permitido por parte de la experta la validación del modelo conceptual antes de pasar al modelo formal.
- Los formalismos intentan trasladar los conocimientos conceptualizados y validados al Modelo formal.
- La interfaz a sido desarrollada con los conocimientos que el IC tiene sobre su carrera de grado, Ingeniería Biomedica, especialista clínico en ventilación mecánica, y con los futuros usuarios.
- La evaluación del SE ha demostrado el grado de similitud que existe entre el comportamiento del sistema en la resolución de casos y la resolución por parte de la experta.

**Futuras líneas de Investigación y desarrollo**

Hoy en día, la informática esta relacionada con muchos temas en medicina. Inicialmente, las bases de datos fueron parte del sistema de gestión de hospitales. La gran cantidad de pacientes, y los diferentes servicios, obligaban a la dirección del

hospital a informatizar algunas tareas de gestión de datos para mejorar sus servicios y sistemas contables.

Luego, la tecnología aplicada a la medicina empezó a abarcar lentamente los diferentes servicios. La tomografía computada, la resonancia magnética nuclear, la ecografía, es decir todos los servicios que realizan estudios basados en imágenes en medicina, obligaron a sus sistemas y a los profesionales a utilizar herramientas tecnológicas que antes no utilizaban.

De esta manera, las bases de datos que antes solo contenían datos personales, y descripciones de patologías, comenzaban a almacenar mucho más información. En países desarrollados, la posibilidad de acceder a estas bases de datos en forma distante, y compartir las bases entre hospitales, permitió que finalmente exista un departamento destinado al desarrollo, y mantenimiento de las mismas. Los protocolos de comunicación y los formatos de los archivos compartidos entre las bases y los equipos médicos, son hoy un tema totalmente abarcado.

Por otro lado, la simulación en tiempo real de sistemas biológicos toma un papel importante en el entrenamiento de futuros especialistas. Imaginar que una computadora pueda simular en tiempo real a un paciente conectado a un respirador, era un tema de ciencia-ficción. Hoy en la Argentina la Sociedad Argentina de terapia Intensiva realiza cursos de Asistencia ventilatoria Mecánica, y lentamente utiliza este tipo de software.

La asistencia automática, por un sistema experto en la programación de un equipo médico para el tratamiento de algunas enfermedades, es un tema a abordar. En Estados Unidos, este tipo de sistema fue utilizado en pacientes adultos para el diagnóstico y programación de respiradores. En el área de pacientes neonatales, esto nunca fue realizado para respiradores convencionales y mucho menos para la programación de respiradores de VAFO.

El monitoreo ha crecido en forma agigantada. La cantidad de sensores con resoluciones que alcanzan a determinar con suficiente exactitud el estado actual de un paciente en tiempo real, permitiría brindar información a un sistema experto.

Es decir, hoy el sistema experto toma la información del médico usuario. Este último es quien incorpora los datos de gases en sangre, espacios intercostales observados en las placas radiográficas, etc., y luego el SE, infiere la programación apropiada del respirador.

Si, el Sistema pudiese directamente tomar información de los monitores y sensores conectados al paciente, este procedimiento de incorporar datos no sería necesario. Entonces, sería el sistema el que directamente toma la información necesaria, en el momento en que se necesite, y luego daría la recomendación al médico. Además, así como un avión tiene un piloto automático, el respirador podrá tener un modo automático. De esta manera, el respirador, en vez de dar la recomendación al médico,

este podría directamente modificar la programación del respirador dentro de los parámetros permitidos, y con el sistema de control y alarmas correspondiente.

Lo antes expuesto no es totalmente futurista. Los respiradores modernos de algunas marcas tienen modos ventilatorios que permiten la modificación de algunas de sus características o de algunos de sus parámetros, en forma automática. El equipo, sensa algún parámetro o parámetros, y modifica la programación del respirador, específicamente los parámetros del respirador, dentro de un conjunto de valores acotados por el médico usuario. Es decir, el equipo sensa, infiere algún cambio, y realiza el cambio, supervisado siempre por un experto. Sin embargo, estos cambios siempre responden a alguna fórmula, a una función matemática. Como bien sabemos, la fórmula matemática nunca podrá representar los conocimientos de un experto para todas las situaciones posibles. Esto es una gran desventaja.

La posibilidad de que el sistema responda gracias a la inferencia de reglas establecidas por un SE, abre un abanico de posibilidades que podrían ser una solución real a un problema real.

El problema mas importante hoy en da es la inercia al cambio en el ambiente médico. Debido a que las fórmulas matemáticas y algoritmos rudimentarios que tienen los respiradores con modos servocontrolados, los médicos han visto como los respiradores no se comportan de manera inteligente. Esto ha causado un gran escepticismo respecto a adoptar modos ventilatorios que no se entienden bien, y que no funcionan como un médico haría que funcionen. Por esta razón, los modos han sido probados y abandonados para realizar la programación en forma manual. Y esto a su vez ha hecho que las fabricas de respiradores no fabriquen equipos con estas características.

Revertir la imagen que se ha establecido sobre estos respiradores inteligentes es muy difícil. Quizás la profesionalización de quienes diseñan y desarrollan este tipo de software, permita que los respiradores finalmente terminen siendo inteligentes, y luego, la evaluación por parte de los futuros usuarios permita que ellos mismos observen las diferencias con los sistemas antiguos.

**BIBLIOGRAFIA**

---

- [1]- Venegas, J.C.; Fredberg, J.J. ; “Oscillatory mechanics: the pressure cost of high-frequency ventilation”, in editors: Boynton, B.R.; Carlo, W.A.; “New therapies for neonatal respiratory failures. A physiological approach”, Ed. Cambridge University Press, Cap. 11, pag. 192-201.
- [2]- Boynton, B.R.; Carlo, W.A.; “Pulmonary gas exchange during high-frequency ventilation”, in editors: Boynton, B.R.; Carlo, W.A.; “New therapies for neonatal respiratory failures. A physiological approach”, Ed. Cambridge University Press, Cap. 12, pag. 202-217.
- [3]- Fernandez-Martorell, P.; Boynton, B.R. ; “High-frequency oscillatory ventilation and high-frequency flow interruption”, in editors: Boynton, B.R.; Carlo, W.A.; “New therapies for neonatal respiratory failures. A physiological approach”, Ed. Cambridge University Press, Cap. 13, pag. 218-244.
- [4]- Coghill, C.H. ; Carlo, W.A. ; Martin, R.J. ; “High-frequency jet ventilation”, in in editors: Boynton, B.R.; Carlo, W.A.; “New therapies for neonatal respiratory failures. A physiological approach”, Ed. Cambridge University Press, Cap. 14, pag. 245-259.
- [5]- Gutierrez, J.A.; Toro, K.D.; Black, D.A.; Paterson, M.H.; Anglin, D.L.; Toro-Figueroa, L.O; “High Frequency Oscillatory and Jet Ventilation” in Respiratory care procedures, chapter 156 ; pag 1453-1477
- [6]- Bryan, A.C; Froese, A.B.; “Reflections on the HIFI trial”; Pediatrics Vol.87, N° 4, April 1991, pag. 565-567
- [7]- Mammel, M.C. ; Boros, S.J.; “High Frequency Ventilation”, in Editors: Goldsmith, J.P; Karotkin, E.H. ; “Assisted Ventilation of the Neonate”; Ed. W.B. Saunders Company, tercera edicion, 1996; Cap. 10: pag. 199-214
- [8]- Clark, R.H.; Gerstmann, D.R; Null, D.M.; deLemos, R.A.; “Prospective randomized comparision of High - Frequency oscillatory and Conventional ventilation in respiratory distress Syndrome”; Pediatrics, Vol 89, N°1, January 1992, pag. 5-12
- [9]- Gerstmann, D.R.; Minton, S.D.; Stoddard, R.A.; Meredith, K.S.; Monaco, F.; Bertrand, J.M.; Battisti, O.; Langhendries, J.P.; Francois, A.; Clarck, R.H.; “The Provo multicenter early High-Frequency oscillatory ventilation trial: Improved pulmonary and clinical outcome in Respiratory Distress Syndrome”; Pediatrics, Vol. 98, N° 6, December 1996, pag. 1044-1057.
- [10]- Paranka, M.S; Clark, R.H; Yoder, B.A.; Null, D.M.; “Predictors of failure of High-Frequency Oscillatory ventilation in term infants eith severe respiratory failure”; Pediatrics, 1995, pag. 400-404.

[11]- Patel, C.A.; Klein, J.M.; “Outcome of infants with birth weights less than 1000 g with respiratory distress syndrome treated with High-Frequency ventilation and surfactant replacement therapy”; Archives of Pediatrics and Adolescents medicine, Vol 149, march 1995, pag. 317-321.

[12]- Bonofiglio, F.C; Gimenez, L.A.; Rivas, H.H.; Schilliacci, S.C.; Argibay, P.F.; “Estudio en perros de la suficiencia y eficacia del intercambio gaseoso, con altas frecuencias Jet, y su comparacion con ARM convencional a una FiO<sub>2</sub> de 0.21”; Revista argentina de anestesiología, vol 47, n°1, 1989. Pag 5-29.

[13]- Selandari, J.O; “Ventilacion de alta frecuencia y sindrome de dificultad respiratoria aguda”; Medicina infantil, Vol. V, N° 1, Marzo 1998, pag. 51-56.

[14]- Torres, F.M.; Rodriguez Nuñez, A.; Jaimovich, D.G.; Martín Sánchez, J.M.; “Ventilación de alta frecuencia oscilatoria en pacientes pediátricos. Protocolo de aplicación y resultados preliminares”; Anales Españoles de Pediatría, Vol. 53, N°4, 2000. Pag. 305- 313.

[15]- Hautmann, H.;Gamarra, F.; Henke, M.; Diehm, S.; “High Frequency Jet Ventilation in Interventional Fiberoptic Bronchoscopy”, Anesth. Analg, Jun. 2000, vol 90, N° 6, pag 1436-1440

[16]- Herrera, N.; Regnicoli, R.; Sylvestre Begnis, M.; Solari, M.; Magliaro, N, Scrigna, J.; “Estrategias ventilatorias de alta frecuencia con respirador neonatal convencional”, Medicina, vol 57, 1997, pag 402-408

[17]- Henderson-Smart, D.J.; Butha, T.; Cools, F.; Offringa, M.; “Elective High frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for acute pulmonary dysfunction in preterm infants (Cochrane Review)”, CochraneLibrary, Issue 4, 2001. Abstract.

[18]- Butha, T.; Henderson-Smart, D.J.; “Elective High frequency Jet ventilation versus conventional ventilation for respiratory distress syndrome in preterm infants (Cochrane Review)”, CochraneLibrary, Issue 4, 2001. Abstract.

[19]- Butha, T.; Clark, R.H. ; Henderson-Smart, D.J.; “Rescue High frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for infants with severe pulmonary dysfunction born at or near term (Cochrane Review)”, CochraneLibrary, Issue 4, 2001. Abstract.

[20]- Butha, T.; Henderson-Smart, D.J.; “Rescue High frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for pulmonary dysfunction in preterm infants (Cochrane Review)”, CochraneLibrary, Issue 4, 2001. Abstract.

[21]- Gerstmann, D.R.; Minton, S.D.; Stoddard, R.; “Pathophysiology of premature lung injury”; Critical care review, Sensormedics corp., P/N 770118-004, 1995.

[22]- Bachman, T.; “HFOV Charges and reimbursement: practices and experience”; Critical Care Review, ensorMedics corp, P/N 770118-003, 1999

- [23]- Clark, R.H.; Null, D.M.; “High frequency oscillatory ventilation: Critical management strategies”; Critical Care Review, SensorMedics corp., P/N 770118-002, 1999
- [24]- Minton, S.D.; Gerstmann, D.R.; Stoddard, R.; “Early intervention in Respiratory Distress Syndrome”; Critical Care Review, SensorMedics corp., P/N 770118-001, 1999
- [25]- Richards, E.D.; Bunnell, B.; “Fundamentals of patient management during HFJV”, [www.bunl.com/fundamentals.html](http://www.bunl.com/fundamentals.html)
- [26]- Stachow, R.; “High-Frequency ventilation basics and practical application”, Booklet, Dräger co., ISBN 3-926762-09-9
- [27]- Velmahos, G.C. ; Chan, L.S.; “High-Frequency Percussive Ventilation improves oxygenation in patients with ARDS”, Chest, Vol 116, 1999, pag.440-446.
- [28]- Yoder, B.A.; Siler-Khodr, T.; Winter, V.T.; Coalson, J.J.; “High Frequency Oscillatory Ventilation. Effects on Lung Function, Mechanics, and Airway Cytokines in the Immature Baboon Model for Neonatal Chronic Lung Disease”, American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, Vol 162, 2000, pag 1867-1876
- [29]- Kinsella, J.P.; Parker, T.A.; Galan, H.; Sheridan, B.C.; Abman, S.H.; “Independent and Combined Effects of Inhaled Nitric Oxide, Liquid Perfluorochemical, and High-Frequency Oscillatory Ventilation in Premature Lambs with Respiratory Distress Syndrome”, American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, Vol 159, 1999, pag. 1220-1227
- [30]- The HIFI Study Group; “High Frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants”, New England Journal of Medicine, Vol 320, N° 2, January 1989, pag. 88-93 (Abstract)
- [31]- The HIFI Study Group; “High-Frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants: assessment of pulmonary function at 9 months of corrected age”, Journal of Pediatrics, Vol 116, N° 2 January 1990, pag. 933-941 (Abstract)
- [32]- The HIFI Study Group; “High-Frequency oscillatory ventilation compared with conventional intermittent mechanical ventilation in the treatment of respiratory failure in preterm infants: neurodevelopmental status at 16 to 24 months of postterm age”, Journal of Pediatrics, Vol 117, N°6, December 1990, pag. 939-946 (Abstract)
- [33]- Arnold J.H.; Anas, N.G.; Lockett, P.; Cheifetz, I.M.; Reyes, G.; Newth, C.J.; Kocis, K.C.; Heidemann S.M.; Hanson, J.H.; Brogan, T.V.; Bohn, D.J.; “High-Frequency oscillatory ventilation in pediatric respiratory failure: a multicenter experience”, Critical Care Medicine, Vol 28, N°12, December 2000, pag. 3913-3019 (Abstract)
- [34]- Jirapaet, K.S.; Kiatchukul, P.; Kolatat, T.; Srisuparb, P.; “ Comparison of High-Frequency flow interruption ventilation and hyperventilation in persistent pulmonary

hipertension of the newborn”, *Respiratory Care*, Vol 46, N°6, June 2001, pag. 586-594. (Abstract)

[35]- Cacciari A.; Ruggeri G.; Mordenti, M.; Ceccarelli P.L.; Baccarini, E.; Pigna, A.; Gentili, A.; “High-Frequency oscillatory ventilation versus conventional mechanical ventilation in congenital diaphragmatic hernia”, *European Journal of Pediatric Surgery*, Vol 11 N° 1, February 2001, pag 3-7 (Abstract)

[36]- Kovacikova, L.; Kunovsky, P.; Lakomy, M.; Skark, P.; Csader, M.; “High-Frequency pressure ventilation with high positive end-expiratory pressure in the treatment of respiratory failure in neonates”, *Bratisl Lek Listy*, Vol. 102, N°3,2001, pag. 133-137 (Abstract)

[37]- Mehta, S.; Lapinsky, S.E.; Hallett, D.C.; Merker, D.; Groll, R.J.; Cooper, A.B.; MacDonald, R.J.; Stewart, T.E.; “Prospective trial of high-frequency oscillation in adults with acute respiratory distress syndrome”, *Critical Care Medicine*, Vol 29, N°7, July 2001, pag. 1360-1369 (Abstract)

[38]- Sakai, T.; Kamohara, T.; Aiba, S.; Yoshioka, T.; Itinohe, A.; Chiba, H.; Watanabe, T.; Iinuma, K.; “Efficacy of early piston-type high frequency oscillatory ventilation in infants with respiratory distress syndrome”, *Pediatric Pulmonology*, Vol 32, N°2, August 2001, pag 168-174 (Abstract)

[39]- Gerstmann, D.R.; Wood, K.; Miller, A.; Steffen, M; Ogden, B.; Stoddard, R.A.; Minton, S.D.; “Childhood outcome after early high-frequency oscillatory ventilation for neonatal respiratory distress syndrome”, *Pediatrics*, Vol 108, N°3, September 2001, pag 617-623 (Abstract)

[40]- Durand, D.J.; Asselin, J.M.; Hudak, M.L.; Aschner, J.L.; McArtor, R.D.; Cleary, J.P.; VanMeurs, K.P.; Stewart, D.L.; Shoemaker, C.T.; Wiswell, T.E.; Courtney, S.E.; “Early high-frequency oscillatory ventilation versus synchronized intermittent mandatory ventilation in very low birth weight infants: a pilot study of two ventilation protocols”, *Journal of Perinatology*, Vol 21, N°4, June 2001, pag. 221-229 (Abstract)

[41]- The HIFO Study Group; “Randomized study of high-frequency oscillatory ventilation in infants with severe respiratory distress syndrome”, *Journal of Pediatrics*, Vol 122, N°4, April 1993, pag. 609-619 (Abstract)

[42]- Moriette, G.; Paris-Llado, J.; Walti, H.; Escande, B; Magny, J.F.; Camboni, G.; Thiriez, G.; Cantagrel, S.; Lacaze-Masmonteil, T.; Storme, L.; Blanc, T.; Liet, J.M.; Andre, C.; Salanave, B.; Breart, G.; “Prospective randomized multicenter comparison of high-frequency oscillatory ventilation and conventional ventilation in preterm infants of less than 30 weeks with respiratory distress syndrome”, *Pediatrics*, Vol 107, N°2, February 2001, pag. 363-372 (Abstract).

[43]- Degreuwe, P.L.; Thunnissen, F.B.; Jansen, N.J.; Dormaar, J.T.; Dohmen, L.R.; Blanco, C.E.; “Conventional gas ventilation, liquid-assisted high-frequency oscillatory ventilation, and tidal liquid ventilation in surfactant-treated preterm Lambs”, *Journal of Artificial Organs*, Vol 23, N°11, November 2000, pag. 754-764 (Abstract)

[44]- van Genderingen, H.R.; Versprille, A.; Leenhoven, T.; Markhorst, D.G.; van Vaught, A.J.; Heethaar, R.M.; “Reduction of oscillatory pressure along the endotracheal tube is indicative for maximal respiratory compliance during high frequency oscillatory ventilation: a mathematical model study”, *Pediatric Pulmonology*, Vol 31, N°6, January 2001, pag. 458-463 (Abstract)

[45]- Lee, S.; Milner, A.D.; “Resonance Frequency in respiratory distress syndrome”, *Arch Dis. Child Fetal Neonatal*, Vol 83, N°3, November 2000, pag. 203-206 (Abstract)

[46]- Goddon, S.; Fujino, Y.; Hromi, J.M.; Kacmarek R.M.; “Optimal mean airway pressure during high-frequency oscillation: predicted by the pressure-volume curve”, *Anesthesiology*, Vol 94, N°5, May 2001, pag. 862-869. (Abstract)

[47]- Keszler, M.; Modanlou, H.D.; Brudno, D.S., Clarck, F.I; Cohen, R.S; Ryan, R.M.; Kaneta, M.K.; Davis, J.M.; “Multicenter Controlled Clinical Trial of high-frequency jet ventilation in preterm infants with uncomplicated respiratory distress syndrome”, *Pediatrics*, Vol 100, N° 4, October 1997, pag. 593-599 (Abstract).

[48]- Campbell, D.; Steinmann, M.; Porayko, L.; “Nitric Oxide and high frequency jet ventilation in patient with bilateral bronchopleural fistulae and ARDS”, *Canadian Journal of Anesthesiology*, Vol 47, N° 1, January 2000, pag. 53-57 (Abstract).

[49]- Knuttgen, D.; Zeidler, D.; Vorweg, M.; Doehn, M.; “Unilateral high frequency jet ventilation supporting one lung ventilation during thoracic surgical procedures”, *Anaesthesist*, Vol 50, N° 8, August 2001, pag. 585-589 (Abstract).