



Universidad  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

### “ELABORACIÓN DE UN REGISTRO DE LA PEEP ÓPTIMA APLICADA DURANTE LA VENTILACIÓN UNIPULMONAR EN CIRUGÍA TORÁCICA”

*"Optimal positive end-expiratory pressure register during one-lung  
ventilation in thoracic surgery"*

Autor

D. PABLO OLIVER FORNIÉS

Directores

Dra. LUCÍA GALLEGO LIGORIT MD, Ph.D, DESA.

Dr. JAVIER SANTABARBARA SERRANO Ph.D

Facultad de Medicina

2017



**Universidad**  
Zaragoza



**FACULTAD DE MEDICINA**

# MASTER OFICIAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN MEDICINA

## TRABAJO DE FIN DE MASTER

### **“Elaboración de un registro de la PEEP óptima aplicada durante la ventilación unipulmonar en cirugía torácica”**

*"Optimal positive end-expiratory pressure register during one-lung  
ventilation in thoracic surgery"*

**Autor:** D. PABLO OLIVER FORNIÉS

**Dirigido por:**

**Dra. LUCÍA GALLEGO LIGORIT MD, Ph.D, DESA.**

*Servicio de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor. Unidad de Anestesiología  
Cardiorácica. H. Universitario "Miguel Servet". Zaragoza. Spain.*

**Dr. JAVIER SANTABARBARA SERRANO Ph.D**

*Dpto. de Microbiología, Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad de Zaragoza.*

Zaragoza, 2016-2017

*Agradecimientos:*

*A mi directora Dra. Lucía Gallego Ligorit.*

*A mi director Javier Santabárbara Serrano.*

*A todo el Servicio de Anestesia y Reanimación del Hospital Universitario Miguel Servet.*

*A mis padres y a mis hermanos porque todo lo que soy, y todo lo que espero ser, se lo debo a ellos.*



# INDICE

<b>1 RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
2.1 FISIOPATOLOGÍA E IMPLICACIONES CLÍNICAS RESPIRATORIAS DE LA ANESTESIA y DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA.....	5
2.1.1 CONCEPTOS EN VENTILACIÓN MECÁNICA.....	6
2.1.2 COMPLICACIONES RESPIRATORIAS POSTOPERATORIAS.....	12
2.1.3 PRUEBAS COMPLEMENTARIAS DEL INTERCAMBIO GASEOSO.....	18
2.2 MANEJO ANESTÉSICO EN LA CIRUGÍA TORÁCICA.....	21
2.2.1 EVALUACIÓN PREANESTÉSICA.....	22
2.2.2 VENTILACIÓN MECÁNICA PROTECTORA (VMP).....	25
2.2.3 VENTILACIÓN UNIPULMONAR (VUP).....	26
2.3 CUIDADOS CRÍTICOS POSTOPERATORIOS.....	33
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
3.1 OBJETIVO PRIMARIO.....	36
3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	36
3.3 DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS PRINCIPALES.....	37
<b>4 MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
4.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	38
4.1.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA:.....	38
4.1.2 PERFIL ESPECÍFICO DE BÚSQUEDA.....	39
4.1.3 RECUPERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA.....	40
4.2 DISEÑO DEL ESTUDIO.....	41
4.3 CONTEXTO.....	41

---

4.3.1	CRONOGRAMA DE INVESTIGACIÓN.....	42
4.4	POBLACIÓN PARTICIPANTE .....	47
4.5	VARIABLES A ESTUDIO .....	47
4.6	FUENTES DE DATOS E INSTRUMENTOS .....	51
4.7	SESGOS .....	52
4.8	TAMAÑO MUESTRAL .....	52
4.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	53
4.9.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....	53
4.9.2	ANÁLISIS INFERENCIAL .....	54
4.10	CONSIDERACIONES ÉTICAS .....	55
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
5.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA.....	56
5.1.1	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE PRINCIPAL: PEEP ÓPTIMA.....	56
5.1.2	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES SECUNDARIAS .....	58
5.2	ANÁLISIS INFERENCIAL .....	67
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>81</b>
6.1	SITUACIÓN ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LA PEEP ÓPTIMA EN CIRUGÍA TORÁCICA EN ANESTESIOLOGÍA Y REANIMACIÓN.....	81
6.2	RESULTADOS CLAVE .....	82
6.3	LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	83
6.4	INTERPRETACIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS .....	85
6.4.1	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA	85
6.4.2	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS INFERENCIAL DE LA MUESTRA.	89
6.5	VALIDEZ EXTERNA .....	93
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>

<b>8 AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>95</b>
<b>9 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>96</b>
<b>INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

# 1 RESUMEN

**Introducción y objetivos:** En cirugía torácica, existe un riesgo de complicaciones respiratorias postoperatorias del 20%. El empleo de un volumen corriente bajo, de presión positiva al final de la espiración (PEEP) y de maniobras de reclutamiento (MRA) intermitentes constituye una estrategia de ventilación mecánica protectora que disminuye la incidencia de atelectasias y de lesión pulmonar aguda y optimiza la oxigenación del paciente. Se ha estudiado que el método más adecuado de ajustar el nivel de PEEP consiste en un ajuste individualizado a través de la monitorización de la compliancia pulmonar. No obstante, según las últimas investigaciones no hay consenso entre el uso de un nivel estándar o individualizado de PEEP durante la ventilación unipulmonar (VUP).

**Objetivos:** Disponer de un registro de la PEEP óptima tras la MRA durante la VUP realizada según práctica anestésica habitual y conocer si existe relación entre el nivel de PEEP óptima y diferentes características físicas, ventilatorias y gasométricas.

**Material y métodos:** Se registraron prospectivamente 129 pacientes intervenidos de cirugía torácica bajo anestesia general con VUP, MRA y ajuste de la PEEP óptima. Preoperatoriamente, se obtuvieron pruebas funcionales respiratorias y gasometría. Intraoperatoriamente, se calculó el nivel de PEEP óptima y otros parámetros ventilatorios.

**Resultados:** En la muestra, se observó un nivel de PEEP óptima de  $10 \text{ cmH}_2\text{O} \pm 2 \text{ cmH}_2\text{O}$  (Me $\pm$ RI). Se encontró que la variable PEEP óptima se correlaciona de manera estadísticamente significativa y de forma directamente proporcional con las variables Peso real (kg) ( $\rho=0,324$ ,  $p<0,001$ ), IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) ( $\rho=0,303$  y  $p=0,001$ ) y Mejor Crs ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ) ( $\rho=0,237$  y  $p=0,008$ ) e inversamente proporcional con la PaO<sub>2</sub> (mmHg) ( $\rho=-0,443$  y  $p=0,03$ ). Se observaron diferencias significativas entre los niveles de PEEP, de Crs y de DP basales y tras la MRA ( $p<0,001$ ).

**Conclusiones:** Se observó una asociación directamente proporcional entre la variable PEEP óptima con el peso real, el IMC y la mejor Crs, e inversamente proporcional con la PaO<sub>2</sub>. Tras la MRA, se optimizó de la PEEP, la Crs y la DP en los pacientes. Se recomienda la elaboración de nuevos estudios con muestras de mayor tamaño, para alcanzar la significación estadística con otras variables independientes.



**PALABRAS CLAVE:** PEEP o Presión positiva al final de la espiración, PEEP óptima, Ventilación unipulmonar, Maniobra de reclutamiento alveolar, Complicaciones pulmonares postoperatorias.

## ABSTRACT

**Background:** In thoracic surgery, there is a 20% risk of postoperative respiratory complications. The use of low tidal volume, positive end-expiratory pressure (PEEP) and intermittent recruitment maneuvers (ARMs) constitute a mechanical ventilation strategy to reduce the incidence of atelectasis and acute lung injury and optimize the patient's oxygenation. It has been studied that the most appropriate method of adjusting the level of PEEP is an individualized setting through the monitoring of the pulmonary complication. However, according to the latest research, there is no consensus between the use of a standardized or individualized level of PEEP during unipulmonary ventilation (VUP).

**Objective:** The aim of this study is to get a record of the optimal PEEP after the MRA during VUP performed according to usual anesthetic practice and to know if there is a relationship between the optimal PEEP level and different physical, ventilatory and gasometric characteristics.

**Methods:** A total of 129 patients undergoing thoracic surgery under general anesthesia with VUP, MRA and adjustment of the optimal PEEP were prospectively enrolled. Preoperatively, functional respiratory tests and gasometry were obtained. Intraoperatively, the optimal PEEP level and other ventilatory parameters were calculated.

**Results:** In the sample, an optimal PEEP level of  $10 \text{ cmH}_2\text{O} \pm 2 \text{ cmH}_2\text{O}$  ( $\text{Me} \pm \text{RI}$ ) was observed. It was found that the optimal PEEP variable correlates significantly and in a directly proportional way with the variables Real weight (kg) ( $\rho = 0,324$ ,  $p < 0.001$ ), BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) ( $\rho = 0.303$  and  $p = 0.001$ ), and Best Crs ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ) ( $\rho = 0,237$  and  $p = 0.008$ ) and in an inversely proportional way with  $\text{PaO}_2$  (mmHg) ( $\rho = -0.443$  and  $p = 0.03$ ). Significant differences were observed between the levels of optimal PEEP, Crs and basal DP and after ARM ( $p < 0.001$ ).

**Conclusions:** A directly proportional association between the optimal PEEP variable and actual weight, BMI and best Crs and an inversely proportional association to  $\text{PaO}_2$  were observed. After the MRA, PEEP, Crs and PD values were optimized in patients. We recommend the development of new studies with larger samples, to achieve statistical significance in others independent variables.

**KEYWORDS:**

PEEP or positive peak end expiratory pressure, optimal PEEP, One-lung Ventilation, Alveolar recruitment maneuver, Postoperative pulmonary complications.

## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 FISIOPATOLOGÍA E IMPLICACIONES CLÍNICAS RESPIRATORIAS DE LA ANESTESIA y DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA

Todo procedimiento quirúrgico con anestesia general y ventilación mecánica está asociado siempre a un trastorno de la función respiratoria, que provoca hipoxemia perioperatoria y complicaciones pulmonares postoperatorias (CPP), como atelectasias o neumonía (1,2).

En cuanto a las repercusiones clínicas, incluye un aumento de las complicaciones cardiocirculatorias, como la isquemia miocárdica, y de la mortalidad, de hasta el 25% en aquellos que desarrollan CPP. Alrededor del 7% de los pacientes, presentan un episodio de hipoxemia ( $SpO_2 < 90\%$ ) durante su estancia postoperatoria en la unidad de recuperación postanestésica (URPA) (1). Otras repercusiones que acontecen durante el periodo quirúrgico y anestésico, son la reducción de la capacidad residual funcional (CRF) y de la distensibilidad pulmonar, el aumento de la permeabilidad alvéolo-capilar y de la sensibilidad vascular pulmonar, y la inhibición celular de los macrófagos y del aclaramiento mucociliar (3–5). Por otro lado, técnicas anestésicas locorreregionales menos invasivas como la anestesia epidural, dirigidas a controlar el dolor, a priori, podrían influir favorablemente mediante una optimización del intercambio gaseoso pero también, se sugiere que aumentan la hipoxemia (2,6,7).

Respecto a la fisiopatología pulmonar, las tres propiedades físicas que permiten conseguir un intercambio gaseoso adecuado son la ventilación, la difusión y la perfusión. La ventilación está determinada por la presión arterial de dióxido de carbono ( $PaCO_2$ ). La difusión condiciona la presión arterial de oxígeno ( $PaO_2$ ) y es el mecanismo más importante de transporte gaseoso en el acino. Por último, la perfusión varía la relación de ventilación/perfusión ( $V/Q$ ) en función de que se produzca la situación de shunt intrapulmonar ( $V/Q=0$ ), definido como la perfusión sin ventilación, o de espacio muerto alveolar ( $V/Q=\infty$ ) (1,6,8). Este cortocircuito de la ventilación y la perfusión pulmonar es clave en la ventilación unipulmonar que el anestesiólogo aplica en la cirugía torácica.

Por lo tanto, las estrategias ventilatorias encaminadas a disminuir el shunt intrapulmonar y la incidencia de atelectasias perioperatorias tratan de disminuir los episodios de hipoxemia, de lesión pulmonar aguda (LPA) y de infección pulmonar perioperatorios. Estas medidas se dirigen a disminuir la fracción inspiratoria de oxígeno ( $FiO_2$ ), presurizar la vía aérea y realizar maniobras de reclutamiento alveolar (MRA) con aplicación posterior de PEEP. Tanto durante la preoxigenación como tras la MRA, se intenta realizar con una  $FiO_2$  igual o inferior a 0,8 para conseguir un equilibrio entre un tiempo prolongado de tolerancia a la apnea adecuado con las mínimas atelectasias. En cuanto a la presurización de la vía aérea, se recomienda aplicar una CPAP de 6  $cmH_2O$  (si obesidad, 10  $cmH_2O$ ) durante 5 minutos en la preoxigenación seguido de una ventilación controlada por volumen (VCV) con una PEEP establecida de 5  $cmH_2O$  (si obesidad, 10  $cmH_2O$ ) durante la inducción anestésica (1–4).

En la etiopatogenia de las CPP, son de vital importancia los reflejos protectores homeostáticos de la vía aérea como la tos, el suspiro o el bostezo. Estos son producidos por una compleja mediación entre el nervio vago y quimiorreceptores periféricos que aumentan la inspiración y que se inhibe durante la anestesia. Se encargan de conservar la distensibilidad pulmonar, minimizar el gradiente alveolo-arterial de oxígeno [ $P(A-a)O_2$ ], liberar y distribuir el surfactante en el alveolo y en las vías respiratorias distales (3,9). Durante el periodo perioperatorio, se ven modificados junto a la CRF, la cual se define como la cantidad de gas remanente en los pulmones, tras una espiración normal (10). Al colocar al paciente en decúbito supino, la CRF disminuye alrededor del 20% y un 10% adicional, durante la inducción anestésica. Además, en personas obesas, el índice de masa corporal (IMC) es directamente proporcional a la caída de la CRF perioperatoria (11). Esta caída del volumen de reserva pulmonar predispone a una rápida desaturación perioperatoria.

### **2.1.1 CONCEPTOS EN VENTILACIÓN MECÁNICA**

El sistema respiratorio muestra una resistencia a la ventilación de tipo resistivo (las vías aéreas) y elástico (el parénquima pulmonar y la pared torácica). Ambas resistencias constituyen las propiedades mecánicas pulmonares, cuya monitorización por la máquina de anestesia, intraoperatoriamente, permite ajustar individualmente el manejo ventilatorio, detectar complicaciones y controlar el intercambio pulmonar de gases. A continuación, se explican algunos conceptos básicos de la mecánica ventilatoria.

La resistencia de las vías aéreas ( $R_{aw}$ ) es la resistencia friccional que oponen las vías aéreas al flujo de gas administrado, equivale a la presión necesaria para generar un flujo de gas a través de las vías aéreas. Se define como la relación:  $R_{aw} = \Delta P_{aw} / \Delta V$ . El valor normal de la  $R_{aw}$  se establece en 10-15 cmH<sub>2</sub>O/l/seg (1,3,4,12).

La distensibilidad pulmonar o compliancia ( $C_{rs}$ ) se trata de la relación entre el gradiente de presión que permite vencer la resistencia elástica pulmonar y torácica, y el aumento de volumen pulmonar. Se fija como  $C_{rs} = \Delta V / \Delta P_{aw}$ , siendo el inverso de la  $R_{aw}$ . La  $C_{rs}$  total del sistema respiratoria es la suma resultante de la  $C_{rs}$  pulmonar más la  $C_{rs}$  de la pared torácica. En función de la fase del tiempo inspiratorio cuando se objective, existen dos tipos de  $C_{rs}$ , la dinámica si se mide justo después de finalizar la embolada de aire, y la estática que se mide tras una pausa inspiratoria de 2-3 segundos(1,3,4,12).

En relación a las presiones observadas, la presión inspiratoria máxima o presión pico ( $P_{pico}$ ) consiste en la presión resultante justo después de la insuflación del  $V_c$ . Esta equivale a la presión necesaria para vencer todas las resistencias existentes en el sistema respiratorio del paciente y la máquina de anestesia. Por otro lado, la presión de meseta teleinspiratoria o presión plateau ( $P_{plat}$ ) es la presión objetivada al final de la inspiración y es equivalente a la presión transalveolar teleinspiratoria. Así, la  $P_{plat}$  proporciona información de la  $C_{rs}$  y del daño alveolar potencial sufrido por la ventilación mecánica(1,3,4).

#### **2.1.1.1 PRESIÓN POSITIVA AL FINAL DE LA ESPIRACIÓN (PEEP)**

La PEEP extrínseca se ajusta de manera directa en el respirador mecánico del quirófano. Sus principales funciones documentadas son evitar la aparición de atelectasias, aumentar la CRF y mantener los alvéolos abiertos sin afectar, per se, a los alveolos atelectasiados (1,8,13). En definitiva, junto con la MRA, mejora la función respiratoria intraoperatoria, optimizando la oxigenación arterial y la distensibilidad pulmonar, y disminuyendo el shunt intrapulmonar, el espacio muerto fisiológico y el trabajo respiratorio (8,11). Esta mejoría ventilatoria se mantiene en individuos sanos, con patología obstructiva y restrictiva (14).

La PEEP ha demostrado disminuir la lesión pulmonar debido al mecanismo de apertura y cierre repetitivo, conocido como atelectrauma. Lo previene durante la ventilación mecánica y además, ha demostrado ser necesaria durante el intraoperatorio para mantener al paciente en condiciones óptimas de oxigenación y ventilación (6,15–20). El atelectrauma y la sobredistensión establecen los mecanismos

principales de LPA y distrés respiratorio (21). Además, se ha concluido que la PEEP es efectiva en la prevención de atelectasias, pero aún no hay literatura suficiente para afirmar que disminuye el riesgo de mortalidad y de CPP (11).

La PEEP óptima de cada individuo se define como el nivel de PEEP posterior a la MRA, que previene el colapso alveolar mientras que minimiza la sobredistensión pulmonar y optimiza la saturación de oxígeno y la compliancia del sistema respiratorio (Crs) (14,22).

La PEEP total es el resultado de la suma de la PEEP externa y la PEEP intrínseca, o auto-PEEP, y debe alcanzar la presión de apertura alveolar para resultar efectiva (13,15). Es un método de bajo coste y fácil de implementar en la práctica anestésica habitual. Varía en función de cada intervención quirúrgica y se puede identificar mediante las MRA (23). Paradójicamente, la aplicación aislada de PEEP, sin asociarla a MRA, puede aumentar las resistencias pulmonares vasculares y desplazar el flujo pulmonar a zonas peor ventiladas, aumentando el shunt intrapulmonar (24).

El ajuste estandarizado de la PEEP para todos los pacientes por igual es inadecuado ya que un nivel de PEEP inferior al nivel adecuado favorece la aparición de desreclutamiento y de colapso alveolar tras la MRA y si es mayor de lo que necesita incrementará el riesgo de sobredistensión pulmonar. Ambos son reconocidos como factores condicionantes de deterioro de la función pulmonar durante el intraoperatorio y de un incremento del riesgo de LPA durante el postoperatorio. A pesar de que la MRA y el ajuste de la PEEP está actualmente estandarizado en la mayoría de los hospitales durante la cirugía torácica, no existen datos publicados acerca de su aplicación en el periodo intraoperatorio y su posible relación con otros factores (1-4,14).

La tomografía computarizada (TAC) es el método de referencia para evaluar la PEEP óptima mediante la MRA. El primer método, define el reclutamiento alveolar cuantificando el descenso del parénquima no ventilado que se define por atenuaciones del TAC entre -100 y +100 Hounsfield Units (HU). Aunque, tiende a infraestimar la MRA porque no objetiva el reclutamiento producido en áreas muy poco ventiladas con atenuaciones del TAC inferiores a -100 HU. El segundo método tomográfico define el reclutamiento alveolar como cualquier penetración de aire en áreas muy poco o nada ventiladas después de la aplicación de PEEP. Aquí, se requiere un TAC pulmonar completo previo(22).

La ecografía pulmonar y la curva presión-volumen son otras técnicas simples y disponibles para optimizar la MRA, pero no proporcionan información acerca de la hiperinsuflación pulmonar. La tomografía de impedancia eléctrica también se correlaciona con las variaciones de volumen corriente ( $V_c$ ) después de la MRA. Sin embargo, la medida de la CRF presenta una débil asociación con los efectos de la MRA (22).

Recientemente, se ha demostrado que otra manera adecuada de adecuar el nivel de PEEP es mediante un ajuste individualizado a cada paciente a través de la monitorización de la Crs. Esta PEEP identificada mediante la Crs mantiene unos niveles de oxigenación, ventilación y mecánica respiratoria óptimos (14). La Crs ha demostrado que, de manera precisa, establece el momento de menor colapso pulmonar diagnosticado mediante tomografía, durante la titulación de la PEEP tras una MRA (25). La ventaja de esta técnica es que, a día de hoy, puede ser monitorizada con cualquier máquina de anestesia. Según algunos autores, la posible desventaja es que es laborioso y poco pragmático, y que si bien optimiza al paciente durante el intraoperatorio, no ha demostrado todavía beneficios en resultados postoperatorios (3,4,26).

La auto-PEEP fue descrita por Pepe and Marini, en 1982, y se define como el desarrollo de presión alveolar teleespiratoria positiva no detectada en la ventilación mecánica (VM) (27). La patología pulmonar obstructiva, la necesidad de  $V_c$  o frecuencia respiratoria (FR) elevados en el respirador mecánico constituyen sus factores de riesgo. En caso de ventilación unipulmonar (VUP), interviene el uso de tubo de doble luz (TDL), los ajustes del ventilador, la posición lateral y la toracotomía (18,28). El único modo de objetivar la auto-PEEP es ocluyendo la salida teleespiratoria al mismo tiempo que monitorizamos la presión de las vías respiratorias. Es el resultado de la suma de la auto-PEEP biológica, la auto-PEEP del TDL y la auto-PEEP del circuito anestésico (28). Ésta presenta efectos secundarios similares a una PEEP extrínseca inadecuada: barotrauma, gasto cardíaco bajo, interpretación incorrecta de las presiones cardíacas, aumento de la sobredistensión pulmonar que aumenta a su vez el espacio muerto alveolar, e incremento del trabajo respiratorio y de la presión intracraneal (PIC) (23). La auto PEEP no solo entraña un aumento de la  $P_{pico}$  de la vía aérea per se, que genera un barotrauma, sino que igualmente, ocasiona una sobredistensión alveolar o volutrauma o un atelectrauma y unas alteraciones biológicas o bio-trauma (27).



Asimismo, a partir de la PEEP se puede obtener otros valores ventilatorios como la presión de distensión o Driving pressure ( $\Delta P$ ). La  $\Delta P$  es la diferencia entre la presión alveolar al final de la inspiración (presión meseta) y la PEEP. Su definición es independiente del modo ventilatorio, en VCV o bien, en ventilación controlada por presión (VCP). Para determinarla, hay que realizar una maniobra de pausa inspiratoria, de unos 3 segundos aproximadamente, para medir la presión meseta, y restar la PEEP (3,4).

Durante VCV, la  $\Delta P$  es una variable derivada y su valor va a depender del  $V_c$  y de la elastancia de la pared torácica. En ausencia de hipertensión abdominal, la  $\Delta P$  se acerca bastante a la presión transpulmonar y, en ausencia de actividad ventilatoria del paciente, siempre será superior a ésta. Así, la  $\Delta P$  tiene relación directa con el  $V_c$  y la presión transpulmonar, por tanto su importancia radica en que es una medida de control (o límite) de las presiones aplicadas sobre la vía aérea para prevenir el daño asociado a la ventilación (3).

#### **2.1.1.2 MANIOBRA DE RECLUTAMIENTO ALVEOLAR (MRA)**

La MRA se define como la estrategia ventilatoria para tratar la disminución de la oxigenación, de la CRF y de la compliancia pulmonar, ocasionadas por las atelectasias perioperatorias, observadas durante la anestesia general (29). Fue descrita por B.Lachman en 1992, en el contexto del paciente crítico. Consiste en aplicar una presión superior a aquella de colapso alveolar, seguido de un nivel de PEEP suficiente para aumentar la presión transpulmonar y evitar el cierre alveolar posterior (1,24). Se ha concluido que la MRA mejora la oxigenación arterial, el intercambio pulmonar gaseoso y la mecánica pulmonar en adultos, en niños, en obesos, en cirugía torácica, en VUP y en cirugía con circulación extracorpórea (CEC) (1–4,6,9,30). Estos beneficios son independientes de la masa corporal del paciente, necesitando un nivel de PEEP más elevado en casos de obesidad (31). Es clave mantener un nivel óptimo e individualizado de PEEP que proporcione estabilidad alveolar, ya que en caso contrario, se produce un desreclutamiento inmediato posterior a la MRA o a la retirada de la PEEP, especialmente con  $FiO_2 > 0,8$  (1,14,23,29). El uso de MRA podría reducir las CPP, aunque actualmente, en la literatura, no hay consenso acerca del método de elección ni los beneficios de la MRA en la anestesia general (9).

La MRA, que se realiza en pacientes anestesiados y sometidos a ventilación mecánica, podría sustituir a la función de reclutamiento de los episodios reflexógenos

de la tos o del suspiro (9-10/hora) que puede llevar a cabo cualquier persona despierta y en ventilación espontánea (9).

Los métodos de MRA recomendados son el aumento escalonado de la PEEP y la maniobra de insuflación a capacidad vital. La primera técnica que consiste en configurar el respirador en modo ventilación controlada por presión (VCP), con una FR programada de 10 respiraciones por minuto (rpm), una relación inspiración-espирación (I:E) de 1:1 y una presión inspiratoria (P<sub>insp</sub>) máxima de 20 cmH<sub>2</sub>O. A continuación, se realizan incrementos escalonados de 5 cmH<sub>2</sub>O en la P<sub>insp</sub> y la PEEP, cada 10 ciclos respiratorios, observando la optimización de la Crs y controlando el V<sub>c</sub> insuflado. Generalmente, después de alcanzar unos valores de P<sub>insp</sub> de 40 cmH<sub>2</sub>O y de PEEP de 20 cmH<sub>2</sub>O, se cambia a modo VCV y se añaden los parámetros ventilatorios de elección. Posteriormente, se va disminuyendo los valores de PEEP de 2 cmH<sub>2</sub>O, de manera escalonada cada 2 minutos. Inicialmente, la Crs va aumentando progresivamente, junto con la SpO<sub>2</sub>. Llega un momento en el que éstas disminuyen bruscamente (colapso alveolar). El valor de la PEEP en la que la Crs es máxima, constituye la PEEP óptima de ese paciente y en esa cirugía específica. Por último, se vuelve a realizar un nuevo reclutamiento alveolar completo y posteriormente, se pasa a ventilar directamente con el valor de PEEP óptima previamente establecido (1,19,22,23).

Es obligado monitorizar la presión de la vía aérea durante el procedimiento anestésico. El gradiente máximo permitido entre la P<sub>insp</sub> y la PEEP es de 20cmH<sub>2</sub>O. En caso de pacientes obesos, la P<sub>insp</sub> y la PEEP durante las MRA pueden alcanzar los 50-60 cmH<sub>2</sub>O y los 16-20 cmH<sub>2</sub>O, respectivamente (1).

En definitiva, las MRA seguida de PEEP debería ser instaurada después de la inducción, del mantenimiento anestésico, de la caída de la SpO<sub>2</sub> y siempre que se lleve a cabo una desconexión del circuito respiratorio durante toda anestesia general (9).

En razón al segundo método de MRA, se insufla flujo de aire a 40 cmH<sub>2</sub>O de presión durante 7-8 segundos, lo que equivale a la capacidad vital medida durante un esfuerzo inspiratorio espontáneo (1,9,15,32). Algunos posibles efectos secundarios son la hiperinsuflación pulmonar con el aumento del shunt intrapulmonar posterior, la hipotensión y el barotrauma (1,11).

Otra estrategia de optimización ventilatoria puede ser la aplicación de PEEP sin MRA previa. No se considera una MRA, propiamente dicha, y presenta resultados

controvertidos. Se ha observado, tanto una mejoría de la oxigenación y la distensibilidad respiratoria perioperatorias si utilizamos de manera continua PEEP 5-10 cmH<sub>2</sub>O, como un efecto nulo (1).

Ante toda MRA, se recomienda optimizar el estado hemodinámico para contrarrestar la disminución del gasto cardiaco y de la tensión arterial producidos por el aumento de la presión intratorácica (17,20). En cuanto a las repercusiones de la MRA en el índice cardíaco, se han obtenido resultados controvertidos, desde una repercusión nula hasta una disminución en el 50% de los casos (14,17,20).

Por otro lado, las contraindicaciones principales de esta técnica son la inestabilidad hemodinámica, el enfisema, el broncoespasmo y el traumatismo craneal con hipertensión intracraneal (1).

Como se ha indicado anteriormente, para conservar los beneficios de la MRA, se aconseja la aplicación posterior de una PEEP individualizada, frente a una PEEP estándar, que evitará el desreclutamiento (16,33,34). En caso de producirse, posiblemente sea debido a una identificación errónea de la PEEP óptima (14). En el postoperatorio, podría ser aconsejable utilizar CPAP para prevenir la incidencia de atelectasias, NPO, sepsis e hipoxemia (9).

### **2.1.2 COMPLICACIONES RESPIRATORIAS POSTOPERATORIAS**

Las CPP se pueden definir como cualquier repercusión respiratoria adversa que influye en el devenir clínico del paciente postquirúrgico, aunque su descripción científica es muy variable según los autores (1,10,35–38).

La incidencia de las CPP es incluso mayor que las complicaciones cardiovasculares. Según los estudios oscila entre el 2-20%. Contribuyen de forma significativa a la morbimortalidad del paciente, especialmente en cirugía torácica donde alcanzan hasta el 19-59% (33,36–41). Constituyen la principal causa de muerte a corto y a largo plazo y de incremento de costes tras la cirugía, a expensas de una mayor estancia hospitalaria, de más ingresos en UCI y reingresos hospitalarios (35,36,39,40,42–44). La mortalidad de las CPP alcanza el 25% de las muertes acontecidas en la primera semana del postoperatorio y el 25% de aquellos pacientes que padezcan una CPP, fallecerán durante el primer mes (35,41).

Dentro del marco de las CPP, la infección respiratoria y la atelectasia son las patologías más prevalentes, y la LPA es de las más graves (10,35,37,45). Además, se

incluyen la insuficiencia respiratoria, el derrame pleural, el neumotórax, el broncoespasmo, la neumonitis por aspiración, la exacerbación de la EPOC o el fallo de extubación (10,35).

Los criterios diagnósticos de las CPP varían según los estudios observados. Generalmente, se determina la infección respiratoria cuando un paciente recibe antibióticos por un diagnóstico de sospecha de infección respiratoria junto con, al menos uno de los siguientes criterios: esputo nuevo o alterado, opacidad pulmonar nuevo o alterada, fiebre y leucocitosis  $>12.000/\text{ml}$ . La insuficiencia respiratoria se establece como una  $\text{PaO}_2$  postoperatoria  $<60$  mmHg al aire ambiente, una  $\text{SpO}_2 <90\%$  o una relación  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  (PAFI)  $<300$  con uso de oxigenoterapia. El derrame pleural se objetiva por diagnóstico radiológico de borramiento del ángulo costofrénico, del hemidiafragma ipsilateral, desplazamiento de estructuras anatómicas adyacentes u opacidad torácica unilateral con trama broncovascular conservada. La atelectasia se define como la opacificación pulmonar con desplazamiento del mediastino, del hilio pulmonar o del hemidiafragma con sobredistensión del pulmón no patológico. El neumotórax consiste en objetivar aire en el espacio pleural, sin lecho vascular circundante al espacio pleural visceral. El broncoespasmo se establece como sibilantes espiratorios recientes en tratamiento con broncodilatadores. Por último, la neumonitis por aspiración se define como la LPA después de la inhalación de contenido gástrico regurgitado (3,4,36,38,40,41,46).

En relación a la LPA, se define como una  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 <300$  de inicio agudo que ocasiona opacidades bilaterales en la radiografía de tórax, de acuerdo con la Conferencia Consenso americano-europeo de 1992 (3,5,10,47). Sus causas son multifactoriales, por hiperinsuflación y por ciclos repetitivos de estrés mecánico tras la inspiración y la espiración alveolar (16). Presenta unos factores de riesgo independientes como una  $\text{Ppico}$  o una  $\text{Pplat}$  elevadas, sexo femenino, una fluidoterapia excesiva, la neumonectomía, la cirugía del lado derecho o el abuso alcohólico preoperatorio. Además, otros factores reseñables son el procedimiento quirúrgico torácico y en especial, el lado quirúrgico derecho, junto con otros secundarios como la diabetes, el tabaco, el alcohol o la EPOC (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) (5,15,47).

El riesgo de desarrollar CPP depende de la sinergia del estado preoperatorio del paciente y de los efectos de la cirugía y la anestesia sobre el mismo. Se conocen diversos factores preoperatorios asociados a CPP que se pueden dividir en relacionados con el paciente y relacionados con la intervención. Algunos ejemplos son

la edad ( $\geq 75$ -80 años), el tabaco, el alcohol, la obesidad ( $IMC \geq 30$  kg/m<sup>2</sup>), el bajo peso, el Síndrome de apneas-hipopneas del sueño (SAHS), la EPOC, la infección reciente del tracto respiratorio, la clasificación ASA ( $ASA \geq 3$ ) y la anemia preoperatoria. Entre los factores no modificables, la edad es de gran importancia así como la optimización preoperatoria de otros como la diabetes mellitus, la hipertensión arterial, la enfermedad hepática, la cardiopatía crónica, etc. (3,10,35,37,41). El tabaco ( $>40$  paquetes-año) y la EPOC constituyen factores de riesgo independientes(35,43). El procedimiento anestésico, desde 5 minutos después de la inducción, ocasiona alteraciones en el tamaño, la forma y la movilidad de la pared torácica y diafragmática, que desencadenan la formación de atelectasias en las áreas pulmonares dependientes y yuxtadiafragmáticas (8,9,18).

Respecto a las medidas preventivas preoperatorias, destaca el cese del hábito tabáquico, al menos 4-6 semanas previo a la cirugía, el tratamiento de las infecciones del tracto respiratorio y el retraso de la operación o la fisioterapia respiratoria (44). Además, el tipo de intervención quirúrgica, como la cirugía cardiotorácica o el uso de laparoscopia, la anestesia general, las cirugías de más de tres horas de duración o aquellas de carácter emergente se han asociado a una mayor incidencia de CPP (35,38,40,41,47,48). Otras características como el lado quirúrgico no se han estudiado hasta la actualidad.

Durante la intervención, el control analgésico, la fluidoterapia guiada por objetivos, las MRA, el uso de laparoscopia, la relajación muscular de larga duración y la estrategia ventilatoria individualizada ayudan a disminuir las CPP (10,34). Posteriormente al procedimiento, el soporte nutricional adecuado, las MRA y la analgesia epidural son medidas preventivas primarias (3,7,41).

#### **2.1.2.1 ESTIMACIÓN DEL RIESGO RESPIRATORIO PERIOPERATORIO: SCORES Y TESTS PREOPERATORIOS**

La minimización de riesgos es el objetivo de cualquier evaluación preoperatoria. En aquellas intervenciones de alto riesgo, como la cirugía torácica, los estudios EuSOS y PERISCOPE han demostrado que las estrategias preoperatorias predictoras de riesgo y coste-efectivas dirigidas a identificar, estratificar y optimizar multidisciplinariamente permiten disminuir la mortalidad de las CPP (34,36,44,49,50). Estos protocolos de estratificación del riesgo pulmonar ayudan a crear estrategias de optimización de los factores modificables y de monitorización de aquellos no modificables (36).

Los scores de riesgo puntúan el riesgo relativo de un paciente de padecer un efecto adverso concreto, como las CPP, en comparación con la población general, sin obtener una predicción individualizada. En la actualidad, los Scores de riesgo con mayor utilidad para analizar la incidencia de CPP, en cirugía torácica, son la Clasificación del estado físico de la American Society of Anesthesiologists (ASA) y la Evaluación de riesgo respiratorio en pacientes quirúrgicos en Cataluña (ARISCAT) (40). Estos índices predictivos de patología pulmonar pueden predecir el riesgo general de CPP, como de neumonía, distrés o los asociados al tipo de cirugía) (39).

Uno de estos estimadores del riesgo preoperatorio es la clasificación del estado físico de la ASA que estratifica al paciente es seis estadios según su estado de salud previo. Depende del estado y del manejo de la patología que tenga el paciente y de la limitación funcional o del riesgo de muerte que le ocasione (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**1, Anexos).

Por otra parte, la ARISCAT fue un estudio de cohorte multicéntrico prospectivo desarrollado en 2010, que incluyó a 2.500 pacientes durante un año. Su propósito fue evaluar la incidencia y características de las CPP y desarrollar un sistema de puntuación con un número de variables significativas mínimas que permitiesen identificar el riesgo de CPP en la mayoría de los entornos clínicos. Tuvo como resultado la descripción de siete factores clínicos de riesgo, 4 factores paciente dependientes: SpO<sub>2</sub> baja, anemia, edad e infección respiratoria reciente, y 3 factores cirugía dependientes: cirugía intratorácica o abdominal superior, duración y carácter urgente (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) (40,46). Los tres factores de riesgo más importante son la SpO<sub>2</sub> baja preoperatoria, el lugar de incisión y el tiempo quirúrgico. Asimismo, se encontró gran asociación de las CPP con la exposición al tabaco, los antecedentes de patología pulmonar y de fallo cardíaco. Presentar una anemia con hemoglobina menor de 10 g/dl eleva tres veces el riesgo de desarrollar CPP y tener más de 80 años, hasta cinco veces (40).

Para evaluar el riesgo pulmonar de manera preoperatoria, también se pueden efectuar pruebas de función respiratoria que constituyen el método estándar de screening preoperatorio en cirugías de resección pulmonar. Otras pruebas posibles a realizar son la gasometría arterial, la radiografía de tórax o el test de esfuerzo y tolerancia al ejercicio (3,41). No se recomienda su empleo previo a cirugías no cardiorácicas de alto riesgo ni tampoco que sean una contraindicación absoluta quirúrgica (41).

La prueba de función respiratoria más frecuente en la práctica clínica habitual es la espirometría, aunque igualmente se puede realizar las curvas de flujo-volumen, el test de difusión del monóxido de carbono (DLCO), el escáner de ventilación-perfusión o el test del ejercicio. Un Volumen Espiratorio Máximo en el primer segundo (FEV1) menor del 60% es un predictor de morbilidad respiratoria preoperatorio (7).

En cuanto a los posibles hallazgos de la gasometría arterial, no hay suficiente evidencia para definir la hipoxemia o la hipercapnia arterial como factores de riesgo de CPP (41). La hipoxemia es uno de los mejores índices predictivos de la necesidad de ventilación mecánica prolongada en el postoperatorio, pero su sensibilidad, su especificidad y sus valores predictivos positivo y negativo son inferiores al 80% (10,51). Igualmente, la hipercapnia es un indicador de gravedad de la patología respiratoria y de la incidencia de CPP (51).

#### **2.1.2.2 ATELECTASIAS PERIOPERATORIAS**

La atelectasia se define como el colapso alveolar que afecta a cualquier zona pulmonar. Constituyen la causa principal del descenso de la oxigenación durante la anestesia general (8).

En estudios con tomografía computarizada, se demuestra que las atelectasias inducidas por la anestesia tienen lugar prácticamente en la totalidad de los pacientes anestesiados, aún sin comorbilidad (9,11,19,33,52). Son causadas por la pérdida del tono muscular, la absorción de gas y la disfunción del surfactante durante la anestesia (11,18). Llegan a afectar el 15% del parénquima pulmonar, lo que equivale hasta el 20% de la superficie eficaz de intercambio gaseoso (1). Los reflejos protectores de la vía aérea mantienen la compliancia pulmonar y disminuyen las atelectasias y estos son abolidos en el 100% de los pacientes sometidos a anestesia general (9).

Según la literatura actual, ni el tipo de anestesia inhalatoria o intravenosa, ni el modo ventilatorio, influyen en la incidencia o la intensidad de las atelectasias perioperatorias. Aquí, la única excepción es el uso de ketamina en la anestesia general con ventilación espontánea. Los pacientes obesos presentan una mayor predisposición a desarrollar atelectasias, dada la correlación entre el IMC y la disminución de la CRF (11). Otros factores predisponentes son los antecedentes de patología pulmonar y la duración de la cirugía. No obstante, existe disyuntiva acerca de si la edad es un factor de riesgo de la aparición de atelectasias, aunque la población pediátrica menor de 3 años, sí que presenta una mayor incidencia debido a la elevada elasticidad de la pared torácica (1,11).

La etiopatogenia de las atelectasias perioperatorias parece ser la alteración de la morfología y del movimiento de la pared torácica, fruto de la pérdida del tono muscular en casos de anestesia con ventilación mecánica y de la coordinación motora en aquellos con ventilación espontánea. El empleo de  $FiO_2$  elevadas ( $>0,8$ ) probablemente sea la primera causa de formación de atelectasias durante la inducción anestésica (8,34).

Existen tres tipos de atelectasias en función de su mecanismo de producción: las atelectasias por compresión, por reabsorción y por alteración de la función surfactante (1,3,4,8,53). Las primeras, son originadas por la reducción del perímetro de la caja torácica y el desplazamiento cefálico del diafragma que provoca la disminución de la CRF y una disminución de la presión alveolo-pleural. La obesidad, la presión intrabdominal alta, el neumoperitoneo y la posición decúbito supino y lateral son factores que exacerban este tipo de atelectasias (11). El segundo tipo se produce por la reabsorción de  $O_2$  en áreas pulmonar con una relación V/Q baja, como en ancianos o en EPOC, o distalmente a una obstrucción. Especialmente, ocurren con el uso de  $FiO_2$  elevadas ya que provoca una rápida difusión capilar del  $O_2$  (8). El óxido nitroso ( $N_2O$ ) no predispone al desarrollo de este tipo de atelectasias. El tercer mecanismo puede ser un efecto directo de los anestésicos halogenados o la ventilación mecánica con PEEP o CPAP que alteran este estabilizador estático alveolar, lo que se relaciona también con la recurrencia de atelectasias tras el cese de la ventilación con PEEP (1,9,19).

Los principales efectos de las atelectasias intraoperatorias son la hipoxemia, el volutrauma, la disminución de la distensibilidad pulmonar y la estimulación inflamatoria local, lo que contribuye a la LPA y al Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA), como manifestaciones frecuentes de la misma (1,6,8,15). En cirugía torácica, la incidencia de esta patología alcanza el 6%, con una mortalidad del 45% (1). Una de las posibles monitorizaciones del estado atelectásico pulmonar intraoperatorio es la curva presión-tiempo y el aumento de la presión meseta. Igualmente, las atelectasias impiden el lavado de las secreciones pulmonares y el flujo linfático, lo que puede predisponer a las infecciones (11).

En el postoperatorio, generalmente, son autolimitadas tras 24 horas de la cirugía pero constituyen la principal causa de hipoxemia perioperatoria. La implicación clínica más importante de las atelectasias es su relación causal con la CPP y en especial, con la neumonía postoperatoria (NPO), que constituye más del 50% de las neumonías nosocomiales (1,9). En cirugía torácica, hasta el 25% de los pacientes operados



pueden padecer una NPO. Existen factores independientes de riesgo como la EPOC, el antecedente de colonización bacteriana pulmonar y el sexo masculino (1).

A pesar de que en los estudios publicados con anterioridad, no se ha podido objetivar evidencia suficiente para concluir que la PEEP disminuyera el riesgo de mortalidad y de CPP (11). Recientes publicaciones, han demostrado que la MRA se relaciona con una disminución de las atelectasias perioperatorias (8,20). Junto con la instilación de surfactante, la movilización precoz, la fisioterapia respiratoria y la ventilación no invasiva se ha asociado a una reducción de la incidencia de NPO. Igualmente, la estrategia de ventilación influye en la translocación bacteriana sistémica (1,8).

### **2.1.3 PRUEBAS COMPLEMENTARIAS DEL INTERCAMBIO GASEOSO**

Para estudiar el intercambio gaseoso alveolo-capilar, se utilizan las pruebas funcionales respiratorias, en concreto aquellas que evalúan la capacidad de difusión, que determinan el estado ventilatorio pulmonar y la gasometría arterial que objetiva la cantidad exacta de gases presentes en la sangre.

#### **2.1.3.1 PRUEBAS FUNCIONALES RESPIRATORIAS**

La evaluación de la función pulmonar es clave en el diagnóstico, el seguimiento y el pronóstico de las patologías del aparato respiratorio. Además, permiten evaluar el riesgo y el pronóstico quirúrgico. Las pruebas de la función respiratoria son unas técnicas diagnósticas que permiten estudiar la mecánica ventilatoria, el intercambio gaseoso, la hiperreactividad bronquial, las pruebas de esfuerzo y el control de la respiración (54–56). Antes de la realización de las mismas, la American Thoracic Society (ATS) recomienda no practicar ejercicio 30 minutos antes, no fumar al menos 1 hora previa, no comer una comida sustanciosa 2 horas antes y no consumir alcohol 4 horas antes (56).

En el primer grupo, el estudio de la mecánica ventilatoria, encontramos la espirometría, los volúmenes pulmonares, las resistencias y la elasticidad y distensibilidad. Para el estudio del intercambio gaseoso, se utiliza la capacidad de difusión y la gasometría arterial. Las pruebas de hiperreactividad bronquial son el test de broncodilatación y el test de provocación bronquial o broncoconstricción (inespecífico o específico). En cuanto a las pruebas de esfuerzo, pueden ser de esfuerzo submáximo (6 minutos de marcha o prueba de lanzadera) o de esfuerzo máximo. Por último, los estudios del control de la respiración se tratan del estudio del

patrón ventilatorio, la presión de oclusión, las presiones musculares y los estímulos químicos (54).

La espirometría consiste en el análisis de los volúmenes pulmonares dinámicos y flujos aéreos en circunstancias controladas. Es una técnica básica, fácilmente reproducible e imprescindible en el estudio funcional respiratorio, pero debe ser complementada por otras técnicas que permitan el estudio de volúmenes estáticos. Se mide mediante un aparato que integra un espirómetro y un neumotacógrafo, que registran los volúmenes y los flujos pulmonares, respectivamente.

Existen dos tipos: la espirometría simple y la forzada. La variante más utilizada es la espirometría forzada que se basa en la expulsión total del aire pulmonar en el menor tiempo posible, después de una inspiración forzada. El otro método es similar pero sin límite de tiempo es la espiración del aire. Para su realización correcta se deben cumplir unos requisitos: el equipo cumpla las normas estandarizadas por los organismos internacionales (SEPAS, ATS/ERS), la maniobra debe tener un inicio brusco y una expulsión continua hasta el flujo cero, el tiempo de espiración debe ser mínimo de 6 segundos, no haber una amputación teleespiratoria y registrarse al menos dos maniobras con una variabilidad inferior al 5% o 200 ml del FVC y FEV1 (54,57). Algunas contraindicaciones de este procedimiento son no cumplir estos requisitos mínimos, tuberculosis pulmonar activa, ángor reciente, neumotórax reciente, desprendimiento de retina o cirugía de cataratas reciente (57).

Esta técnica nos permite describir los parámetros de capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio máximo espiratorio en el primer segundo (FEV1), relación FEV1/FVC, flujo espiratorio máximo entre el 25% y el 75% de la FVC (FEF25-75%) y flujo espiratorio máximo o flujo pico (FEP). La FVC es el volumen de aire expulsado mediante una espiración forzada. El FEV1 es el volumen de aire espirado en el primer segundo de la espiración forzada. El FEF25-75% es la relación entre el volumen espirado entre el 25% y el 75% de la FVC y el tiempo total de la espiración (54,57,58).

Sus resultados se pueden expresar en porcentaje, más importante en el diagnóstico, o en valor absoluto, más útil durante el seguimiento posterior. Los valores de la espirometría diagnósticos a partir de los cuales se consideran patológicos son: el 80%, para la FVC y el FEV1, el 70-85% para la FEV1/FVC y el 60% para el FEF25-75% (54,57).

Se pueden describir trastornos ventilatorios de tipo obstructivo, de tipo restrictivo o mixto. La patología pulmonar obstructiva consiste en la limitación al flujo aéreo por un

aumento de la resistencia de las vías aéreas o por disminución de la retracción elástica pulmonar. Se define por la disminución de la FEV1/ FVC inferior al 70%, del FEV1 y del FEF25-75% (54). Por otro lado, la enfermedad de tipo restrictivo se caracteriza por el descenso del volumen pulmonar por alteraciones del parénquima pulmonar, de la caja torácica, de la musculatura o de la inervación respiratoria. Consiste en una reducción de la FVC y un aumento de la relación FEV1/FVC, mayor del 85% (54). Según la magnitud de la alteración de los parámetros espirométricos se catalogan diferentes grados de obstrucción (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

En la patología restrictiva, la información suplementaria de los volúmenes pulmonares estáticos (el VR y todas las capacidades pulmonares que lo incluyen, la CRF y la CPT) es de gran importancia. Se puede determinar mediante la pletismografía corporal o el método de dilución de gases.

La pletismografía es más precisa, más reproducible, más rápida e independiente de la existencia de atelectasias. Es una técnica basada en la aplicación de la ley de Boyle (en un sistema cerrado, el producto de la presión y el volumen es siempre constante, a temperatura constante) en una cámara cerrada. Existen tres tipos de pletismógrafo: corporal de volumen constante, corporal a volumen constante y corporal transmural o de flujo.

En relación a las pruebas del intercambio gaseoso, la DLCO o la transferencia libre de monóxido de carbono (TLCO) es el volumen de monóxido de carbono (CO) trasferido a la sangre por unidad de tiempo y por presión parcial alveolar de CO. En el Sistema Internacional, sus dos unidades son ml/min/mmHg o mmoles/seg/kPa (54,59). Según las últimas guías de práctica clínica, el método recomendado es la respiración única (DLCO/SB) que se trata de realizar una inspiración única de una mezcla diluida de CO 0,3%, Helio 10% y aire ambiente, después de varias respiraciones corrientes y posteriormente, se contiene la respiración durante 10 segundos. Luego, se mide la concentración de CO en el aire espirado (59).

La DLCO nos informa de la superficie capilar ventilada y se expresa en valor absoluto o en porcentaje. Un valor de DLCO/SB normal se considera a 25 ml/min/mmHg o >80%. El intervalo 60-80% corresponde a una alteración leve, 40-60% a una alteración moderada y <40% a una alteración severa (54,59). Así mismo, se obtienen otros parámetros como la DLCO/VA o cociente de Krogh, cuyo unidad de medida es ml/min/mmHg/L. Hay tres criterios de aceptación de la prueba: el volumen de gas

inspirado debe ser  $\geq 90\%$  del mayor Vc en la misma prueba, el 85% del gas debe ser inhalado en  $< 4$  segundos, la apnea debe mantenerse durante 8-12 segundos y la prueba debe completarse en 4 segundos desde su inicio (59). Sus indicaciones en la clínica son la patología restrictiva, las enfermedades intersticiales, la detección precoz de EPOC y su repercusión enfisematosa, las hemorragias pulmonares o el estudio preoperatorio de la resección pulmonar (54).

Aquí, simultáneamente, gracias al Helio aspirado se puede medir el volumen residual mediante la técnica de dilución de gases (58).

### **2.1.3.2 GASOMETRÍA ARTERIAL**

Las principales indicaciones de la gasometría arterial son la monitorización de la ventilación ( $\text{PaCO}_2$ ), la oxigenación ( $\text{PaO}_2$  y  $\text{SaO}_2$ ), la capacidad de transporte de oxígeno (Hb), el shunt intrapulmonar y el equilibrio ácido-base (pH) (60). Es una técnica fácil, económica y poco lesiva que proporciona gran información acerca del intercambio de gases alveolo-capilar.

Con esta técnica, las variables más importantes que se recogen son el pH, la  $\text{PaCO}_2$  y la  $\text{PaO}_2$ . Adicionalmente, se obtienen el  $\text{HCO}_3^-$ , los iones sodio, potasio, cloro y calcio, la  $\text{SaO}_2$ , la Hb y el Hto, el ácido láctico y el exceso de base.

En primer lugar, se realiza el Test de Allen para comprobar la existencia de circulación colateral en los arcos vasculares distales de la mano, que garanticen la perfusión distal. Habitualmente, con una jeringa heparinizada se suele puncionar la arteria radial.

Aun así, no es un procedimiento exento de complicaciones como el hematoma, la infección, el espasmo arterial, el daño nervioso o el síncope vasovagal (60,61). Presenta ciertas contraindicaciones como un paciente con un estado de coagulación alterada.

## **2.2 MANEJO ANESTÉSICO EN LA CIRUGÍA TORÁCICA**

La cirugía torácica es una cirugía de alto riesgo que requiere de una cooperación médica-quirúrgica multidisciplinar ante los posibles compromisos hemodinámicos y respiratorios que puedan suceder. Esta especialidad aglutina una gran diversidad de intervenciones quirúrgicas que comprende desde la lobectomía o la neumonectomía, como tratamiento terapéutico del cáncer de pulmón, las cirugías de la pared torácica,

del mediastino o de la tráquea, la cirugía videoasistida por vía toracoscópica (VATS), la cirugía de bullas de enfisema, la cirugía de reducción de volumen como alternativa al trasplante pulmonar en el enfisema, la reparación de la fístula bronquial, hasta el trasplante pulmonar (1).

El anestesiólogo debe estratificar el riesgo de complicaciones respiratorias en la evaluación preoperatoria, conocer las diferentes técnicas de intubación selectiva (uso preferente de TDL izquierdos), aplicar una VUP y efectuar una técnica de analgesia multimodal. La mortalidad hospitalaria alcanza el 1-10 % y en el 25% de los casos, surgen complicaciones postoperatorias graves (2). En concreto, el riesgo de complicaciones pulmonares postoperatorias ronda el 20%(7,47). La lesión pulmonar aguda postoperatoria y el distrés respiratorio, muchas veces manifestación de ésta, son la principal causa de mortalidad tras la cirugía de resección pulmonar(45,62). La instauración de la VUP interrumpe el intercambio de gases del pulmón colapsado (no dependiente), aquel que se va a intervenir, lo que suele generar un cortocircuito o shunt vascular de derecha a izquierda del 50% con una hipoxemia relativa posterior(23). Así, la totalidad de la ventilación y la mayor parte de la perfusión son dirigidas al pulmón dependiente.

Estas alteraciones fisiopatológicas suponen uno de los mayores retos en ventilación mecánica, del anestesiólogo.

### **2.2.1 EVALUACIÓN PREANESTÉSICA**

En este tipo de cirugía, la correcta selección de los pacientes a intervenir es imprescindible, dado que la mejoría técnica en el manejo quirúrgico y anestésico han elevado la población susceptible a ser intervenida.

Generalmente, la función de la evaluación preanestésica es objetivar el estado clínico del paciente y su riesgo quirúrgico, programar una estrategia individualizada de abordaje anestésico, planificar los cuidados perioperatorios y, en definitiva, mejorar el resultado final de la cirugía (1). En particular, en la cirugía torácica, se debe de evaluar la función respiratoria en tres áreas: la función mecánica pulmonar, la función del parénquima pulmonar y la reserva cardiorrespiratoria (3).

Dentro de los factores de riesgo, el cese del hábito tabáquico debe superar al menos las 4-8 semanas antes de la cirugía para disminuir la incidencia de complicaciones respiratorias y las 24-48 horas, al menos, para disminuir las carboxihemoglobina sérica (63).

En relación a las pruebas complementarias a realizar, se encuentran: una analítica sanguínea completa (bioquímica, hemograma y coagulación), una radiografía de tórax, una gammagrafía de V/Q y varias pruebas de función pulmonar (prueba unipulmonar de V/Q, prueba de simulación y prueba cardiopulmonar de esfuerzo) y pruebas globales como una gasometría arterial, una espirometría y una DLCO. Del mismo modo, el estado del ventrículo derecho es de vital importancia por lo que se recomienda su valoración de elección por una ecocardiografía transtorácica, en casos de sospecha de afectación del mismo.

Un paciente asintomático y sin ninguna limitación de la actividad física (equivalentes metabólicos [MET]>10) no requiere ninguna prueba de screening cardiorrespiratorio preoperatorio (3,4). No obstante, muy pocos pacientes candidatos a esta cirugía presentan este estado preoperatorio.

No existe ninguna prueba individual de función respiratoria con la suficiencia sensibilidad ni especificidad para predecir la situación pulmonar postoperatoria en cirugía torácica (1). Por lo tanto, se emplea la combinación de las pruebas del funcionamiento unilateral del pulmón residual tras la resección, donde se calcula el volumen espiratorio máximo en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>) pronostico postoperatorio (FEV<sub>1ppo</sub>), la capacidad de difusión de monóxido de carbono (DLCO) y la prueba de tolerancia al ejercicio (su medida es el consumo máximo de O<sub>2</sub> [VO<sub>2max</sub>] o la prueba de caminar 6 minutos). Respectivamente, los valores límite de referencia relacionados con la incidencia de complicaciones respiratorias postoperatorias para dichas pruebas funcionales son: un FEV<sub>1ppo</sub><30%, una DLCO<40% y VO<sub>2max</sub> (10-20 ml/kg o 35-75% de lo previsto) o incapacidad para caminar 600 metros en 6 minutos (1-3). El FEV<sub>1</sub> es el mejor indicador de la mecánica ventilatoria (2). Un VO<sub>2max</sub> previsible postoperatorio inferior a 10mL/kg/min es un criterio de contraindicación absoluta para la resección pulmonar y valores inferiores a 60 mmHg y a 45 mmHg de PaO<sub>2</sub> y de PaCO<sub>2</sub>, respectivamente, contraindican una intervención quirúrgica (1,2).

Los parámetros de la espirometría son útiles para valorar la incidencia de complicaciones pulmonares perioperatorias (CPP) y el inicio de terapia pulmonar preoperatoria. El FEV1 bajo se correlaciona con una mortalidad elevada, un alto riesgo postoperatorio y una mayor necesidad de ventilación mecánica. Junto con la capacidad vital forzada (FVC), el FEV<sub>1</sub> determina una reserva ventilatoria disminuida. Además, estos parámetros se incluyen en los criterios de inclusión para soportar una neumonectomía: FEV<sub>1</sub> > 2L, Índice de Tiffeneau (FEV<sub>1</sub>/FVC) > 50%, ventilación

voluntaria máxima (VVM) > 50%, y relación Volumen residual-Capacidad pulmonar total (VR/CPT) < 50% (63).

Otras medidas de preparación preoperatoria son la fisioterapia respiratoria y el ejercicio físico como profilaxis de la enfermedad tromboembólica.

La monitorización de este tipo complejo de cirugía es sistémica (temperatura, tensión arterial, frecuencia cardíaca y pulsioximetría) y depende tanto del paciente como del procedimiento quirúrgico. En casos de pacientes con mal estado general, se añade una presión arterial invasiva y una vía central. Para aquellos con muy alto riesgo, se monitoriza la saturación venosa mixta de oxígeno (SvO<sub>2</sub>), una ecocardiografía transesofágica y un catéter de arteria pulmonar (1,3,63).

No existen diferencias significativas entre los agentes de la inducción ni del mantenimiento anestésico. A veces, está indicada la administración de atropina o glicopirrolato, para el manejo de las secreciones. Se recomienda una fluidoterapia intraoperatoria guiada por objetivos, para disminuir la morbimortalidad perioperatoria, la reversión completa del relajante muscular al despertar y la extubación precoz cumpliendo los criterios de extubación (adecuado nivel de conciencia, capacidad de expectorar y buen control analgésico) (1–4).

Los objetivos anestésicos primordiales en esta cirugía deben de ser la prevención perioperatoria de la hipoxemia y de la LPA (5,15,64). Para tratar la hipoxemia, la mayoría de anesestesiólogos en España suelen emplear MRA, aplicar PEEP o CPAP o una FiO<sub>2</sub> elevadas (15,65). Otro de los propósitos es conseguir un buen control analgésico para evitar CPP, mediante una analgesia multimodal. Para ello, la anestesia epidural torácica y el bloqueo paravertebral continuo han demostrado igualdad terapéutica, sin encontrarse diferencias en el tiempo secuencial quirúrgico de su colocación(2,3). En España, alrededor del 85% de los anesestesiólogos torácicos utilizan la anestesia epidural y un 55,5% el bloqueo paravertebral (65). Por lo tanto, se administra una combinación de anestésicos locales junto con opioides por vía epidural y paracetamol con antiinflamatorios no esteroideos (AINES) por vía intravenosa (1,2,66).

La ventilación mecánica desencadena, por sí misma, alteraciones en la relación V/Q durante la anestesia, que aumentan al decúbito lateral. De las principales alteraciones consiste en la disminución de la CRF, posterior a la inducción. Habitualmente, la cirugía torácica necesita de una VUP. A su inicio, el pulmón no dependiente o proclive no se ventila, aparecen atelectasias y disminuye la perfusión pulmonar, por el reflejo

VPH. En el pulmón declive o dependiente, se producen variaciones de la relación V/Q. De acuerdo con la gammagrafía de isótopos, se acepta que las áreas centrales pulmonares presentan un mayor flujo pulmonar frente a las zonas periféricas, donde se ve aumentado el shunt intrapulmonar (1).

Una de las principales complicaciones anestésicas perioperatorias es el desarrollo de lesión pulmonar inflamatoria aguda, concepto clave en la valoración de la hipoxemia intraoperatoria y que está determinada por factores como la redistribución del flujo pulmonar (efecto de la gravedad y la heterogeneidad en la distribución pulmonar), el uso de ventilación mecánica y el uso de  $FiO_2$  elevadas (1). En España, los anestesiólogos torácicos usan diversas medidas profilácticas como ventilación protectora con MRA, fluidoterapia guiada por objetivos y transfusión sanguínea (13,65).

### **2.2.2 VENTILACIÓN MECÁNICA PROTECTORA (VMP)**

La VMP debería ser considerada en aquellas cirugías de alto riesgo, en anestесias prolongadas, en pacientes de alto riesgo o con antecedentes de patología pulmonar (53). En cirugía torácica, el patrón restrictivo con una disminución de la CRF es característico, luego la VMP constituye el mejor método de prevención de la LPA (2,41). Por lo tanto, existen varias técnicas ventilatorias que ayudan a prevenir esta disfunción ventilatoria mediante la limitación del  $V_c$ , de la presión meseta y de la  $FiO_2$ , y la tolerancia de una hipercapnia permisiva.

Una estrategia ventilatoria mecánica protectora demostrada es la aplicación de ventilación a  $V_c$  bajos (5-8 mL/kg), junto con el empleo de PEEP y de MRA intermitentes (13,15,16,32,33,53,67-70). Estas técnicas ventilatorias han demostrado mejorar significativamente los resultados respiratorios postoperatorios y reducir la incidencia de CPP, de lesión pulmonar asociada al ventilador y de la estancia hospitalaria (3,4,32,33,53,67,69-72).

En definitiva, consiste en aplicar una  $FiO_2$  inferior a 0,8, un  $V_c$  de 4-7mL/kg (si hipoxia o hipercapnia grave, aumentar a 6-8 mL/kg) y una PEEP de 5-15cmH<sub>2</sub>O (si patología obstructiva, disminuir a PEEP 2-5 cmH<sub>2</sub>O) (1,3,4,26,34,64,73). Además, se recomienda realizar maniobras de reclutamiento alveolar antes y durante la intervención quirúrgica, seguidas de aplicación de PEEP (16). Se intenta mantener una  $P_aCO_2$  de 35-40mmHg, aunque se puede tolerar una hipercapnia leve permisiva, con niveles inferiores a 60 mmHg. En cuanto a la LPA, se correlaciona con una  $P_{mes}$  superior a 40 cmH<sub>2</sub>O por lo que se recomienda mantener niveles inferiores a 30cmH<sub>2</sub>O (1,3,4,63).



La ventilación mecánica protectora puede reducir la LPA y prevenir la aparición de atelectasias mediante la aplicación de una PEEP individualizada mediante el método de aumento escalonado de la PEEP (14,26,32,34,73).

La hipercapnia permisiva o hipoventilación controlada es una estrategia bien tolerada que permite un aumento de la presión arterial de dióxido de carbono. Se ha relacionado con una disminución del barotrauma, la estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y la mortalidad. Su única contraindicación absoluta es la hipertensión intracraneal, ya que el CO<sub>2</sub> es un vasodilatador cerebral que aumenta la PIC. Igualmente, deprime la contractibilidad miocárdica por lo que hay que tener precaución en pacientes cardiopatas (23).

Antiguamente, se recomendaba utilizar FiO<sub>2</sub> muy elevadas para prevenir el shunt y aumentar el contenido arterial de O<sub>2</sub>. Ahora, ha quedado en entredicho por fomentar la aparición de LPA inflamatoria y de atelectasias de reabsorción (1).

### **2.2.3 VENTILACIÓN UNIPULMONAR (VUP)**

La ventilación selectiva unipulmonar es un método ventilatorio único que fue descrito por Gale y Waters, en 1931 y que consiste en la exclusión de la ventilación mecánica de un pulmón, mientras que se mantiene su perfusión sanguínea (5,13,15). Puede ser requerido en diferentes áreas médicas como en la cirugía torácica pulmonar, bronquial y pleural, la cirugía cardíaca y vascular, la cirugía esofágica, etc. En cirugía torácica, se consigue mediante la intubación endobronquial selectiva que permite proporcionar un campo quirúrgico adecuado, mientras se mantiene una ventilación unipulmonar contralateral. El manejo de la VUP se resume en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, ver Anexos.

Así, los principales retos en la VUP son la oxigenación y la protección pulmonar, ya que sus principales complicaciones son la hipoxemia y la LPA perioperatorias. La hipoxemia está presente en el 9-27% de los casos, y es compensada gracias al reflejo fisiológico de vasoconstricción pulmonar hipóxica (VPH) (13,15,17,18,63,66,74–77).

Las indicaciones absolutas de VUP son: la ventilación pulmonar selectiva por necesidad quirúrgica o médica, la prevención de la contaminación pulmonar contralateral, en infecciones o hemorragias masivas, y la realización de lavado broncoalveolar unilateral o de broncografías. Respecto a las indicaciones relativas, comprenden la neumonectomía, la lobectomía, la resección pulmonar atípica, la VATS, la cirugía esofágica y la cirugía ortopédica de columna torácica (1,5,13,63).

La VUP ocasiona una alteración de la relación V/Q por un shunt pulmonar verdadero, multifactorial y de gran variabilidad interindividual, que aumenta el shunt intrapulmonar fisiológico que alcanza el 5% (1,24,78). En este tipo de ventilación, el cortocircuito llega a alcanzar el 15-40%, alcanzado su máxima cota después de 15 minutos de VUP (5,17,19). Alrededor del 66% del shunt, se debe al colapso del pulmón no dependiente y el 33% restante, a las atelectasias por compresión que surgen al cambiar del decúbito supino a lateral (5,6,13,19). Por lo que la mejoría de la oxigenación arterial por la MRA durante la VUP se debe a la reversión de las atelectasias en el pulmón dependiente (6,20). Además, existe un desreclutamiento constante con disminución de la CRF en el pulmón dependiente, que se relaciona con CPP (18).

Por otro lado, la VUP aumenta el shunt intrapulmonar y el espacio muerto fisiológico, dos estados ventilatorios interrelacionados, que incrementan el gradiente alveolo-arterial de CO<sub>2</sub>, requiriendo un mayor Vc para mantener la misma PaCO<sub>2</sub> (6,24). En el pulmón dependiente, las presiones pico y las resistencias de la vía aérea se incrementan en comparación con la compliancia del pulmón no dependiente (79). Además, la VUP se ha relacionado con la lesión pulmonar inducida por el ventilador que es proporcional al Vc empleado (>8 mL/kg) y a la presión plateau alcanzada. Anteriormente, se empleaban los mismos Vc en la VUP que en la VBP previa, alcanzando los 15 mL/kg, sin mejora de la hipoxemia (20,75).

Sin embargo, actualmente, durante la VUP en cirugía torácica, se ha verificado que el uso de Vc bajos con una PEEP mínima de 5 cmH<sub>2</sub>O, en el pulmón dependiente, mejora la oxigenación arterial y un tiempo espiratorio suficiente, disminuye el shunt intrapulmonar y las CPP (5,10,52,76,79–82). El modo ventilatorio VCV no presenta diferencias de oxigenación frente al modo VCP (5,74,78,83,84). Aunque la VCP presenta una distribución ventilatoria más homogénea, una mejor relación V/Q que genera Ppico menores y una curva flujo decreciente que podría disminuir el riesgo de LPA (84).

En este tipo de ventilación, los factores que influyen en el grado de oxigenación del paciente son: la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>, la cual depende de la fracción inspiratoria de oxígeno (FiO<sub>2</sub>), el gasto cardíaco, la perfusión del pulmón no dependiente, la cual depende del reflejo de VPH, y la presión de oxígeno de sangre mezclada (PvO<sub>2</sub>). Los principales factores de riesgo de hipoxemia en la VUP son la detección gammagráfica preoperatoria de grandes áreas pulmonares con la relación V/Q alterada, el antecedente de patología pulmonar restrictiva, el colapso pulmonar derecho, el decúbito supino, respecto al decúbito lateral, y la P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> disminuida previa al aislamiento pulmonar (63). Así mismo,

la hipercapnia permisiva resulta favorable porque potencia el reflejo de la VPH y desplaza hacia la derecha la curva de disociación de la hemoglobina (19,23).

En caso de tener que hacer una VUP secuencial bilateral, se producirá una hipoxemia más severa durante la VUP del segundo pulmón(23). No suele haber alteraciones en la eliminación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por su mayor facilidad de difusión alveolar. Además, puede producirse una hiperinsuflación dinámica que consiste en una sobredistensión pulmonar mayor que la CRF al final de la espiración, lo que desencadena en la PEEP intrínseca o auto-PEEP (15). Especial atención requiere el paciente enfisematoso y aquellos intubados con TDL de diámetro reducido ya que pueden derivar en barotrauma, hipoxemia grave o taponamiento cardíaco gaseoso (1,17). En cirugías con VUP, la estrategia de MRA seguida de PEEP ha demostrado disminuir la auto-PEEP y el shunt intrapulmonar, mejorando el intercambio de gases pulmonares y aumentando la  $\text{PaO}_2$ , sin ocasionar cambios hemodinámicos importantes (18,19,52,64,82).

La posición del paciente durante la VUP es de gran importancia, ya que el decúbito lateral aumenta la discordancia de la relación V/Q y la hipoxemia se relaciona con el lado quirúrgico (82). La oxigenación durante la VUP es más adecuada en caso de intervención en el lado izquierdo, por la mayor superficie pulmonar del pulmón derecho (2,77,82). Generalmente, los abordajes quirúrgicos suelen ser la toracotomía pósterolateral, que se realizan en decúbito lateral, la esternotomía media o la toracotomía anterior, en decúbito supino(66). Durante la VUP, el decúbito supino supone un mayor riesgo de hipoxemia y aumento del shunt intrapulmonar, que el decúbito lateral porque ahí la gravedad fomenta la perfusión en el pulmón dependiente (24). En condiciones normales, el shunt intrapulmonar fisiológico corresponde al 10% del gasto cardíaco, que se distribuye en un 5% a en cada pulmón. Por lo tanto, durante la ventilación bipulmonar (VBP), el 55% del flujo pulmonar se dirige al pulmón declive, por gravedad, y el 35% restante, al pulmón proclive. Tras la acción del reflejo de VPH, el 50% del flujo pulmonar se desvía al pulmón dependiente que converge el 77,5% de la perfusión total, lo que implica que el shunt total en decúbito lateral alcanza el 27,5% del flujo pulmonar. Lo que disminuye la presión arterial de oxígeno ( $\text{PaO}_2$ ) de 400mmHg, en condiciones óptimas durante VBP, hasta 150mmHg en la VUP (1). El factor más relevante en la redistribución heterogénea del flujo pulmonar según la posición del paciente es la anatomía irregular de las ramificaciones bronquiales y vasculares del parénquima pulmonar, en mucha mayor medida que la gravedad. Además, la perfusión pulmonar es heterogénea de acuerdo con las zonas de West,

que divide en cuatro zonas al parénquima pulmonar según la predominancia de la presión arterial (Zona 1), la presión alveolar (Zona 2), la presión venosa (Zona 3) o la presión intersticial (Zona 4) (1,15,63).

Previo al inicio de la VUP, se ha demostrado la efectividad de la MRA bilateral seguida de PEEP como acondicionamiento y mejoría de la oxigenación arterial y del intercambio gaseoso, tanto en decúbito lateral como supino (14,17,20,24). Su principal ventaja se relaciona con la reducción de la presión máxima de la vía aérea, que reduce el riesgo de compromiso hemodinámico y de LPA, que constituye una de las principales causas de mortalidad en cirugía torácica (17,32,75). Una vez establecida la VUP, esta misma maniobra también mantiene esos mismos beneficios en el pulmón dependiente, hasta el final de la VUP si se mantiene la PEEP aplicada (14). Igualmente, en caso de patología pulmonar obstructiva, se disminuye la relación I:E (1:3-4) y se aumenta o invierte (1:1-2:1) en las restrictivas, pero con peligro de ocasionar una sobredistensión pulmonar por PEEP intrínseca (15,23,63). Todas estas maniobras están dirigidas a mejorar la relación V/Q y, a su vez el shunt intrapulmonar, y a la prevención primaria del barotrauma y de las atelectasias perioperatorias (29).

En general, el manejo recomendado para aplicar la VUP consiste en la colocación de un TDL izquierdo, comprobar su posición correcta mediante fibronoscopio, utilizar flujos con una  $FiO_2$  inicial de 0,5-0,8 para conseguir una  $SpO_2$  de 92-96%, y fijar un  $V_c$  de 4-6 y 6-8 mL/kg en VUP y VBP, respectivamente, una frecuencia respiratoria de 12-14 rpm en función de la hipercapnia, una relación inspiración/expiración (I:E) de 1:2 y una PEEP individualizada de alrededor de 5-10cmH<sub>2</sub>O (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (1,3-5,13,15,16,53).

Durante la VUP, las MRA con la aplicación continua de una PEEP óptima individualizada mejora la oxigenación y la compliancia pulmonar, respecto al uso de una PEEP estándar (6,14,17,19,79,82,85). La efectividad de la MRA se puede comprobar con la monitorización de la capnografía intraoperatoria (82). Los objetivos de presiones son: una presión plateau inferior a 20-25cmH<sub>2</sub>O, una Pplat inferior a 30-35cmH<sub>2</sub>O y una  $P_aCO_2$  menor de 40mmHg (2,3,5,15,64).

Algunos autores aplican una PEEP de hasta 15 cmH<sub>2</sub>O, demostrando una mejoría de los parámetros biomecánicos del pulmón dependiente y una influencia variable, en el pulmón contralateral. Por otro lado, otros autores concluyen que una PEEP de 5 cmH<sub>2</sub>O es insuficiente para prevenir el desreclutamiento en la VUP (79,85). Sin embargo, el nivel de PEEP adecuado durante la ventilación unipulmonar siempre ha

estado en entredicho y se ha preferido utilizar niveles estándar moderados con el objetivo de minimizar los efectos indeseables, fundamentalmente la aparición de auto-PEEP y la sobredistensión alveolar (64,77).

Recientemente, se ha demostrado que la ventilación ipsilateral del pulmón no dependiente con CPAP o Vc bajo (1-2 mL/kg) con una FR alta (40 rpm) se asocia a una mejora de la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y un descenso de la LPA, reduciendo la liberación de radicales libres y de la infiltración neutrofílica al restaurar la VBP (13,75).

En caso de producirse un episodio de hipoxemia grave (SpO<sub>2</sub><75% o P<sub>a</sub>O<sub>2</sub><40), se aumenta la FiO<sub>2</sub> a 1, se comprueba la colocación del TDL, se profundiza el nivel anestésico del paciente y se inicia maniobras de reclutamiento alveolar, para aplicar una PEEP 5-10cmH<sub>2</sub>O al pulmón dependiente y una CPAP de 5-10cmH<sub>2</sub>O al pulmón no dependiente, si no se ha solucionado previamente la hipoxemia. Si se eleva la Pplat más de 35-40mmHg, se ventila a modo presión. En casos de persistir la hipoxemia, se procede a una ventilación intermitente bipulmonar y, en última instancia, al pinzamiento quirúrgico de la arteria pulmonar del pulmón no dependiente (23,63).

Tras finalizar la intervención quirúrgica con VUP, lo deseable es proceder a la extubación del paciente si las condiciones perioperatorias del mismo lo permite. En caso de continuar con una ventilación postoperatoria prolongada, se debe intercambiar el TDL por un tubo endotraqueal de una sola luz (23).

### **2.2.3.1 VASOCONSTRICCIÓN PULMONAR HIPÓXICA**

El reflejo de VPH es un mecanismo de autorregulación y protección frente a la hipoxia, aumenta selectivamente las resistencias vasculares pulmonares y desplaza hasta un 50% del flujo sanguíneo pulmonar del pulmón no dependiente (pulmón proclive y colapsado para intervenir) hacia el pulmón dependiente (pulmón declive y ventilado por VUP) (1,5,23,63). Tiene lugar en las arteriolas con un diámetro de alrededor de 500µm, que irrigan los bronquiolos y los alveolos. La VPH mejora la relación V/Q y reduce el shunt intrapulmonar, proporcionalmente al grado de hipoxia (15).

Su etiología es incierta pero se postula que se debe una inhibición de la fosforilación oxidativa mitocondrial producida en un grupo de células endoteliales especializadas, sensibles a las variaciones de presión alveolar de oxígeno (P<sub>A</sub>O<sub>2</sub>), lo que desencadenaría la vasoconstricción pulmonar (1).

El inicio de la VPH es breve, en una fase rápida que alcanza su máximo efecto a los 15 minutos del colapso pulmonar intraoperatorio, seguido de una segunda fase tardía

de horas de duración (1,5,19). Para conseguir esta respuesta máxima, la presión arterial pulmonar siempre debe encontrarse dentro de los límites normales. Algunos inhibidores de este mecanismo son los fármacos vasodilatadores (verapamilo, nitroglicerina, nitroprusiato, etc.), el óxido nítrico, la alcalosis, la hipocapnia, la hipotermia, la hemodilución y la anestesia inhalatoria con una concentración alveolar media (CAM) mayor de 1. Por otro lado, la acidosis, la hipercapnia, el gasto cardíaco disminuido, la hipertermia, los episodios repetidos de hipoxemia, la anestesia epidural o el decúbito lateral potencian este reflejo (1,15,19,23).

Actualmente, se considera que tanto la anestesia inhalatoria o la intravenosa, a dosis de la práctica clínica habitual, como el uso de PEEP moderada en el pulmón dependiente no interfieren en el reflejo de VPH, por lo que no tiene repercusión sobre la oxigenación en la VUP. No se ha demostrado la preponderancia de la anestesia intravenosa sobre la inhalatoria (1,15,23,86).

### **2.2.3.2 TÉCNICAS DE AISLAMIENTO PULMONAR**

Las principales técnicas empleadas para la VUP son: la inserción de un tubo endotraqueal de doble luz (TDL) izquierdo o derecho, la cual es la más frecuente, de un tubo endotraqueal de una sola luz, con un bloqueador bronquial; o la colocación del tubo endotraqueal directamente en un bronquio principal. Generalmente, se coloca en el bronquio derecho por anatomía más favorable (23)

Para llevar a cabo este abordaje anestésico se necesita un dominio exhaustivo de la anatomía pulmonar, la cual no es simétrica, y del manejo del fibrobroncoscopio (FBC) (2,3). Así, evitaremos las principales complicaciones de los TDL como una posición incorrecta del manguito endobronquial, que implica una VUP inadecuada, los traumatismos de las vías respiratorias, colapso del lóbulo superior derecho al usar un TDL derecho, etc.

#### **2.2.3.2.1 ANATOMÍA DEL ARBOL BRONQUIAL**

La arquitectura pulmonar tiene una desigualdad interindividual importante. El pulmón derecho presenta tres lóbulos (superior, medio e inferior), mientras que el izquierdo, únicamente dos (superior e inferior), lo que implica una perfusión vascular mayor derecha (63). Respecto a la vasculatura, en el lado izquierdo proviene de dos arterias lobares que se originan de la arteria aorta torácica, y la del lado derecho, es responsable una única arteria bronquial con origen variable: desde la aorta torácica hasta de las arterias intercostales derechas (63).

El bronquio derecho es más ancho, tiene un origen traqueal con un ángulo de 45° y tres ramas lobares. Sin embargo, el bronquio izquierdo se origina con un ángulo de 25° y se divide sólo en dos ramas lobares. Un apunte anatómico importante es que el bronquio lobar superior derecho surge muy proximal, a unos 15-20 mm de la carina, mientras que su homólogo izquierdo se inicia a 50 mm de la misma, por lo que colocar un TDL derecho entraña una mayor dificultad por mala colocación del manguito bronquial, que podría ocluir la salida del bronquio lobar superior derecho, si no enfrentamos adecuadamente la luz del TDL derecho a su salida (23).

#### 2.2.3.2.2 TUBO ENDOTRAQUEAL DE DOBLE LUZ (TDL)

El TDL es un dispositivo tubular doble, de diferente longitud, que consta de dos manguitos, de volumen alto y baja presión, y dos globos piloto. Posee dos luces independientes con un código de color diferente: blanco para la traqueal y azul, para la bronquial. El manguito traqueal, próximo a la luz, se coloca por encima de la carina, y el bronquial se sitúa en el bronquio principal. Se puede utilizar para aislar, ventilar selectivamente o deshinchar cada pulmón de manera independiente según las necesidades quirúrgicas. Se diferencian según el lado del bronquio a intubar y si tienen o no espolón. Existen dos tipos diferentes según el material, de goma (Robertshaw<sup>®</sup>, usado por alrededor del 80% de los anestesiólogos torácicos en España, White<sup>®</sup> y Carlens<sup>®</sup>) y de policloruro de vinilo (Mallinckrodt<sup>®</sup>, Sheridan<sup>®</sup>, Rush<sup>®</sup> y Portex<sup>®</sup>) (2-4,65).

Esta técnica es de elección ya que permite la conversión rápida de VBP a VUP, y viceversa, aplicar presión positiva continua de la vía aérea (CPAP) al pulmón no dependiente y aislar mejor el pulmón. No obstante, presenta cierta dificultad para elegir el tamaño del tubo adecuado y para colocarlo mediante fibrobroncoscopia, y no es idóneo para la ventilación postoperatoria (63).

La elección del tamaño adecuado del TDL es importante para conseguir el sellado bronquial con la menor resistencia de las vías respiratorias y el menor volumen del manguito. En general, se utiliza un diámetro de 39 French (F) para varones de menos de 1,70m de altura y de 41F, para el resto de hombres. Para las mujeres, se usa un TDL de 35F para aquellas de menos de 1,60m de altura y para el resto, de 37F (3,63). El TDL es responsable del 30% de la auto-PEEP durante la VUP, pero esta es independiente del tamaño del TDL elegido (28).

El proceso de colocación comienza en introducir el TDL con la curvatura distal cóncava hacia arriba, se retira la guía al pasar las cuerdas vocales y se gira 90° hacia

el bronquio objetivo a intubar. Se aboca al bronquio elegido, se deja a unos 29cm de distancia de la dentadura del paciente y se infla en balón de neumotaponamiento traqueal, comprobando la VBP. Después, se infla el manguito bronquial unos 2-3ml y se pinza la luz del pulmón no dependiente, para comprobar que se puede proceder a la VUP. Por último, se confirma la intubación bronquial selectiva mediante el fibrobroncoscopio (63). Colocado a ciegas, el 65% de los TDL se han colocado de manera incorrecta (1).

Generalmente, se prefiere intubar con un TDL el hemipulmón izquierdo por la dificultad del neumotaponamiento y de la ventilación del lóbulo superior derecho. No obstante, en las cirugías de fístula broncopleural, bronquiectasias, hemorragia pulmonar, aneurismas del arco aórtico y de la aorta descendente es obligado intubar el bronquio contralateral (1).

#### 2.2.3.2.3 TUBO ENDOTRAQUEAL CON BLOQUEADOR BRONQUIAL (TBB)

Un bloqueador bronquial dispone de un globo de volumen alto y presión baja en el extremo distal y un canal central hueco para aplicar la CPAP o para aspirar y permite el aislamiento completo y la atelectasia del pulmón homolateral. Se colocan a través o al lado de los tubos endotraqueales convencionales y, en todos ellos, se necesita del fibrobroncoscopio.

Entre sus ventajas se encuentran poder acoplarse fácilmente a un tubo endotraqueal y a la ventilación postoperatoria y constituyen uno de los dispositivos de elección en caso de vía aérea difícil. Por otro lado, su técnica es más laboriosa lo que entraña un índice de recolocación intraoperatoria mayor (1,3,4,23,63).

Algunos modelos diferentes son el TBB con guía metálica de Arndt<sup>®</sup>, el TBB con punta curva de Cohen<sup>®</sup>, Fuji Univent<sup>™</sup>, que permite la administración de oxígeno, Fuji Uniblocker<sup>™</sup>, con un colapso hemipulmonar más lento y sin aplicación de CPAP, Rüscher EZ-Bloker<sup>™</sup> (1,23,63).

## 2.3 CUIDADOS CRÍTICOS POSTOPERATORIOS

En el postoperatorio quirúrgico inmediato, las medidas iniciales son la extubación precoz, si no se ha extubado previamente en quirófano, el contaje del débito de los drenajes torácicos y siempre se debe realizar una radiografía de tórax. Habitualmente, los drenajes torácicos se vigilan cada 30 minutos o 1 hora y se colocan en aspiración



excepto en los casos de neumonectomía, donde es contraindicación absoluta. En ese caso, se deja un drenaje único que siempre debe estar pinzado y se libera 2-5 min cada hora. Si en un drenaje se contabiliza un volumen mayor de 500 mL en la primera hora o de 250 mL durante 3 horas, es indicación de reintervención quirúrgica inmediata. Ante una desviación importante del mediastino en la radiografía, se debe descartar neumotórax, atelectasia, disfunción del drenaje torácico o herniación cardíaca (1,63).

Al cambiar de posición de decúbito lateral a supino, se debe monitorizar al paciente especialmente en neumonectomía porque es el momento de mayor riesgo de herniación cardíaca que posteriormente, produce una torsión de la vena cava superior desencadenando una parada cardiorrespiratoria (1,3).

Se continúa con una fluidoterapia postoperatoria guiada por objetivos ya que, ingresos mayores de 3L en las primeras 24 horas se han relacionado con la aparición de LPA o edema agudo de pulmón. Una diuresis adecuada se establece en 0,5mL/kg/h (1,3,63). Se debe iniciar la prevención tromboembólica, la fisioterapia respiratoria y la movilización precoz a las 24 horas(1).

Las complicaciones postoperatorias más prevalentes son las respiratorias, en particular, la atelectasia, que suele originarse por secreciones o alteraciones del surfactante. Estas alcanzan un 15-20% de incidencia perioperatorias y son la principal causa de mortalidad (2-5%) (1). Además, junto con el broncoespasmo, otras complicaciones postoperatorias inmediatas son el sangrado brusco, siendo normal un volumen de 200mL durante las dos primeras horas y 50mL/h las siguientes 10 horas, la insuficiencia respiratoria, la hipoxemia, el neumotórax donde se debe descartar obstrucción bronquial, y el enfisema subcutáneo cuyo tratamiento es conservador o mediante aspiración con sonda supraesternal o por traqueostomía (63). Algunos factores de riesgo para instaurar la VM postoperatoria son un  $FEV_{1ppo} < 30\%$  y una  $PaCO_2 > 45$  mmHg con una  $FiO_2$  del 21% (1,3,4).

Entre otras repercusiones postquirúrgicas respiratorias se encuentran la LPA, el síndrome de distrés respiratorio del adulto (SDRA), la torsión lobular y la fístula bronquial, si se produce una disnea súbita con neumotórax. Respecto al compromiso hemodinámico, se presenta en alrededor del 10-15% de los casos, siendo más frecuente tras neumonectomía (1). La arritmia cardíaca es la más frecuente y responde bien a la oxigenoterapia. También, se observa hemotórax, insuficiencia

cardiaca derecha o herniación cardíaca, que puede desencadenar en un colapso hemodinámico súbito (1,63).

El control del dolor postoperatorio tiene que ser multimodal y exhaustivo ya que la toracotomía es una de las cirugías más dolorosas. Existe un riesgo de desarrollar dolor crónico, hasta en el 10-30% de los casos y está más relacionado con las incisiones posterolaterales (1,4). Factores de riesgo para padecerlo son la edad, el sexo femenino, los antecedentes de dolor preoperatorio y la ansiedad. En caso de fallo de la anestesia locorregional iniciada intraoperatoria, se puede iniciar morfina por vía epidural o intravenosa controlada por el paciente (tipo PCA) o ketamina a dosis bajas durante los primeros días (63).

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVO PRIMARIO

1. Disponer de un registro de la PEEP óptima tras la maniobra de reclutamiento durante la ventilación unipulmonar realizada según práctica clínica habitual, con el fin de demostrar y evaluar la heterogeneidad de esta.

### 3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

1. Conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y las características basales del paciente: sexo, altura, peso ideal, peso real, índice de masa corporal, ARISCAT.
2. Conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y las condiciones pulmonares preoperatorias del paciente, evaluadas con las pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y la gasometría arterial.
3. Conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y el lado quirúrgico.
4. Conocer si difieren los valores de PEEP, de la Crs dinámica y de la DP anteriores y posteriores a la MRA intraoperatoria.
5. Conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y la Crs dinámica previa a la MRA, la DP previa a la MRA, la mejor Crs y la DP post-MRA.
6. Conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y el tipo de cirugía, el sitio quirúrgico, el modo ventilatorio, la realización completa de la MRA y la causa de la realización incompleta de la MRA.

### 3.3 DEFINICIÓN DE LAS HIPÓTESIS PRINCIPALES

- Existe relación entre el valor de PEEP óptima y las características basales del paciente: sexo, altura, peso ideal, peso real, índice de masa corporal, ARISCAT.
- Existe relación entre el valor de PEEP óptima y las condiciones pulmonares preoperatorias del paciente, evaluadas con las pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y la gasometría arterial.
- Existe relación entre el valor de PEEP óptima y el lado quirúrgico.
- Hay diferencias significativas entre los valores de PEEP, de la Crs dinámica y de la DP anteriores y posteriores a la MRA intraoperatoria.
- Existe relación entre el valor de PEEP óptima y la Crs dinámica previa a la MRA, la DP previa a la MRA, la mejor Crs y la DP post-MRA.
- Existe relación entre el valor de PEEP óptima y el tipo de cirugía, el sitio quirúrgico, el modo ventilatorio, la realización completa de la MRA y la causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento.

## 4 MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se ha llevado a cabo con la colaboración del equipo y personal del Hospital Universitario Miguel Servet, de Zaragoza (España).

La composición de este trabajo se redactó de acuerdo con la declaración de la iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) (87).

### 4.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Para el abordaje del tema clínico de “La Presión espiratoria al final de la espiración (PEEP) óptima aplicada durante la ventilación unipulmonar en cirugía torácica” se ha realizado una búsqueda bibliográfica sistemática exploratoria para describir la literatura publicada hasta la actualidad.

#### 4.1.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA:

Los materiales utilizados para la localización de dicha literatura han sido las bases de datos bibliográficas médicas, internacionales y nacionales: MEDLINE®, Excerpta Medica Base (EMBASE), Cochrane e IBECS (Índice Bibliográfico Español de Ciencias de la Salud). Las bases de datos MEDLINE®, EMBASE y Cochrane se han consultado a través del buscador PubMed, de la edición de pago de Elsevier y del buscador The Cochrane Library.

El acceso a los buscadores bibliográficos y a las publicaciones correspondientes se llevó a cabo por medio de la herramienta C17-Catálogo Biblioteca virtual de la Biblioteca Médica del Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza y de la página digital del Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud (IACS). Ambos sitios web se encuentran accesibles por internet (88,89).

En la búsqueda principal, el período cronológico revisado comprende desde el año 2010 hasta el año 2017. Posteriormente, en la búsqueda libre se consultaron artículos publicados con anterioridad.

#### 4.1.2 PERFIL ESPECÍFICO DE BÚSQUEDA

En primer lugar, se identificaron las principales palabras clave elegidas, en castellano: presión positiva al final de la espiración (PEEP), ventilación unipulmonar, cirugía torácica, reclutamiento alveolar, complicaciones pulmonares perioperatorias, lado quirúrgico, índice de riesgo pulmonar preoperatorio, ventilación mecánica protectora y ARISCAT.

Posteriormente, se localizaron los descriptores más adecuados a estas palabras claves mediante la traducción del léxico castellano natural al thesaurus o lenguaje documental de indización (Medical Subject Headings [MeSH]) inglés de MEDLINE. En la exploración del thesaurus en lengua inglesa, se determinaron los términos MeSH: “Positive-Pressure Respiration”, “One-Lung Ventilation” y “Thoracic Surgical Procedures”. No se encontró ninguna equivalencia para el resto de palabras principales.

Igualmente, para la identificación del thesaurus en castellano, se ha consultado el buscador “Descriptores en Ciencias de la Salud” (DeCS) de la “Biblioteca virtual en Salud”, creada por BIREME (Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud). Se han reconocido los términos: “presión positiva al final de la espiración”, “ventilación unipulmonar” y “cirugía torácica”. Lo que permitió ejecutar la búsqueda bibliográfica en la base de datos IBECS.

La elección del perfil de búsqueda adecuado ha resultado compleja debido a la ausencia de algunos de los términos clave específicos y requisito para optar por la estrategia de búsqueda de elección por thesaurus o enfocada exclusiva. Por lo tanto, se ha efectuado una estrategia enfocada limitada a los términos MeSH concordantes encontrados, combinada con una estrategia mixta de búsqueda enfocada y libre con el resto de palabras claves.

En cada una de las cuatro bases de datos registradas, la estrategia final de búsqueda utilizada ha sido similar, una combinación de búsqueda tipo enfocada por descriptores MeSH y Emtree traducidos, junto con una de tipo libre con el resto de palabras clave, conjugadas con filtros selectivos de operadores booleanos. La búsqueda principal se realizó con los términos MeSH: “Positive-Pressure Respiration”, “One-Lung Ventilation” y “Thoracic Surgical Procedures”. Se añadieron los filtros de búsqueda de Species: Human y Publication Dates: 10 years.

Posteriormente, se realizaron otras búsquedas secundarias con el perfil de búsqueda de descriptores MeSH, restringidos a Major topics: ("Positive-Pressure Respiration"[Majr]) AND ("One-Lung Ventilation"[Majr]) AND ("Thoracic Surgical Procedures"[Majr]). Junto con varias búsquedas mixtas y libres, añadiendo los términos libres de "alveolar recruitment" y "Preoperative Pulmonary Risk Scores".

Igualmente, se llevaron a cabo otros registros en las bases bibliográficas que versan sobre los objetivos secundarios de nuestro estudio. Para ello, se intentó localizar los términos MeSH de las palabras: condición pulmonar preoperatoria, gasometría arterial, características antropométricas y lado quirúrgico. Después, se ejecutaron varias búsquedas, enfocada y libre, cruzando estas palabras con los descriptores MeSH principales (Positive-Pressure Respiration y Thoracic Surgery), con un resultado final de 10 citas relevantes de 55 referencias encontradas.

La fórmula de solicitud de la búsqueda enfocada principal quedó definida como: *Mesh: ("Positive-Pressure Respiration"[Mesh]) AND ("One-Lung Ventilation"[Mesh]) AND ("Thoracic Surgical Procedures"[Mesh])*. Dicha estrategia se representa por la ecuación booleana siguiente:  $A \cap B \cap C$ , que equivale a: A AND B AND C. Aquí, el término "A" se define como Positive-Pressure Respiration, el "B" como One-Lung Ventilation y el "C" como Thoracic Surgical Procedures.

#### **4.1.3 RECUPERACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA**

Tras la revisión sistemática exploratoria de este tema clínico, el número total de referencias bibliográficas citadas fue de 111. Se han incluido 81 artículos originales, 14 libros o secciones de libros especializados, 7 guías de práctica clínica o protocolos, 4 revisiones sistemáticas, 4 metanálisis y 1 artículo de consulta en internet.

En la base de datos MEDLINE, 15 referencias bibliográficas corresponden a la búsqueda enfocada por descriptores MeSH, 6 a la enfocada por descriptores MeSH restringida a Major Topic. En la base EMBASE, se recuperaron 99 referencias para la misma búsqueda enfocada. En cuanto a la base de Cochrane, se encontraron 11 resultados de 1039010 artículos registrados. En cuanto a la base de datos IBECs no se encontró sin ningún resultado relevante.

## 4.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

Planteamos un estudio descriptivo, observacional, prospectivo y unicéntrico de una muestra simple de pacientes intervenidos de cirugía torácica bajo anestesia general con ventilación unipulmonar, y que siguiendo la práctica clínica habitual el anestesista responsable del paciente realice alguna maniobra de reclutamiento y ajuste de la PEEP óptima a lo largo del periodo intraoperatorio.

## 4.3 CONTEXTO

El registro de los casos de este estudio se ha efectuado en el Hospital Universitario Miguel Servet, hospital de tercer nivel dependiente del Servicio Aragonés de Salud y hospital de referencia del Sector Sanitario Zaragoza II (España), donde se ha generado y custodiado la base de datos generada.

En cuanto a las pruebas funcionales respiratorias, fueron realizadas en la sección de “Pruebas funcionales” del Servicio de Neumología del H.U.M.S. En relación a las gasometrías arteriales, las muestras sanguíneas fueron extraídas en la sección de “Extracciones sanguíneas” de Consultas Externas del H.U.M.S y analizadas en el servicio de Bioquímica del H.U.M.S.

Aquellos casos reclutados con origen en un hospital secundario diferente del H.U.M.S, las pruebas complementarias preoperatorias fueron recogidas en los servicios homólogos respectivos de sus hospitales de referencia.

Los procedimientos anestésicos y quirúrgicos se efectuaron en los quirófanos de la sección de Anestesia Cardior torácica del Edificio Multifuncional del H.U.M.S.

El periodo de reclutamiento ha comprendido 9 meses (1 de agosto de 2016 hasta el 30 de abril de 2017) durante los cuales se han incluido, de manera consecutiva, todos aquellos pacientes que han cumplido los criterios de inclusión de la población a estudio. El seguimiento y la recogida de datos se efectuaron tras el procedimiento quirúrgico, durante el mismo periodo de tiempo del reclutamiento. En total, se revisaron la historia clínica de los 129 individuos reclutados.

Los datos de las características basales, las pruebas funcionales respiratorias y las gasometrías arteriales de los pacientes se han recopilado preoperatoriamente, y las



medidas de la ventilación mecánica anestésica, intraoperatoriamente, de manera paralela al reclutamiento de los pacientes.

#### 4.3.1 CRONOGRAMA DE INVESTIGACIÓN

**ETAPA 1: Planificación del trabajo y del grupo de investigación (Junio 2016).** Los investigadores principales establecen las hipótesis de investigación y los objetivos de trabajo así como organizan el material disponible y accesible, el personal cualificado y los componentes del equipo de investigación, dentro de las posibilidades del Servicio de Anestesia y Reanimación del Hospital Universitario Miguel Servet (H.U.M.S) de Zaragoza (España).

**ETAPA 2: Elaboración del protocolo de investigación. Búsqueda bibliográfica sistemática (Junio y Julio 2016).** Los investigadores principales junto con los investigadores colaboradores redactan el protocolo de investigación concreto del estudio a seguir durante los meses posteriores. Se realiza una búsqueda bibliográfica sistemática exploratoria acerca del tema de interés en los principales buscadores y bases de datos bibliográficas médicas, para describir la literatura publicada hasta la actualidad.

**ETAPA 3: Reclutamiento de los pacientes (Agosto 2016–Abril 2017).** Se recluta una muestra de pacientes de 129 pacientes de la práctica quirúrgica habitual de la Unidad de Cardiorrástica del Servicio de Anestesia y Reanimación del H.U.M.S. El reclutamiento inicial de los casos se lleva a cabo en la consulta de evaluación preanestésica de dicha unidad en el edificio de Consultas Externas del H.U.M.S por el anestesiólogo responsable de la consulta diaria. En este momento, se obtienen los datos antropométricos de los pacientes reclutados (edad, sexo, peso, talla, IMC y puntuación ARISCAT).

El reclutamiento de aquellos pacientes provenientes de otras provincias, cuyo hospital de referencia de Cirugía Torácica es el H.U.M.S, comienza en la consulta de evaluación preanestésica del hospital comarcal correspondiente. Igualmente, allí, se solicitan y extraen las muestras biológicas y las pruebas de función pulmonar preoperatorias requeridas en el estudio.

**ETAPA 4: Toma de muestras biológicas preoperatorias y análisis de las variables de función pulmonar (Agosto 2016–Abril 2017).** Durante las consultas ambulatorias de los pacientes reclutados, el anestesiólogo responsable del reclutamiento en consulta solicita, mediante un formulario estandarizado de uso interno hospitalario, la obtención de las pruebas complementarias convencionales del preoperatorio (una bioquímica, un hemograma y una coagulación de sangre, una radiografía de tórax y un electrocardiograma).

En este momento, además, el anestesiólogo de consulta solicita la obtención de una gasometría arterial y la realización de pruebas funcionales pulmonares (espirometría, pletismografía y prueba de difusión) al Servicio de Neumología y de Bioquímica del H.U.M.S. Dichas pruebas deben de ser efectuadas dentro de los seis meses de validez del preoperatorio de anestesia evaluado.

**ETAPA 5: Seguimiento. Procedimiento anestésico y quirúrgico. Toma de datos perioperatorios (Agosto 2016–Abril 2017).** Los datos perioperatorios de cada caso reclutado (tipo de cirugía, lado quirúrgico, modo ventilatorio, Crs previa, Crs óptima, PEEP previa, PEEP óptima y Driving pressure) se registran en una ficha informatizada individual de forma simultánea al procedimiento quirúrgico, por el anestesiólogo encargado de la anestesia en quirófano del caso.

Además, este anestesiólogo es el encargado de anotar los datos preoperatorios del caso referidos a las pruebas funcionales pulmonares y a la muestra biológica efectuados durante el periodo entre la evaluación preanestésica y la cirugía.

Todos los datos clínicos de interés de los casos reclutados se registran en un formulario estandarizado para el estudio, en formato de documento portátil (.pdf). Estos cuestionarios se archivan en la base de datos de la Unidad de Cardiotorácica del Servicio de Anestesia y Reanimación del H.U.M.S.

**ETAPA 6: Procesamiento de la información clínica y biológica. Obtención de resultados. (Abril-Mayo 2017).** Una vez finalizado el periodo de reclutamiento, se elabora una base de datos personalizada del estudio. Posteriormente, se analiza toda la información clínica almacenada en los cuestionarios, así como, los valores perdidos.

**ETAPA 7: Análisis estadístico (Mayo 2017).** Los resultados clínicos y biológicos obtenidos se someten a análisis estadístico, mediante el programa informático SPSS Versión 22. Se realiza un análisis descriptivo de las variables estudiadas y un análisis de correlación con el objetivo de responder a los objetivos primarios y secundarios del estudio. Se recibe colaboración del Área de Bioestadística del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad de Zaragoza.

**ETAPA 8: Discusión de los resultados. Redacción de las conclusiones del estudio (Mayo-Junio 2017).** Después de extraer los resultados de los hallazgos clínicos y someterlos al análisis estadístico, se compara con los resultados publicados en la literatura científica hasta la fecha actual. Entonces, se trata de contestar a las hipótesis formuladas en el protocolo de investigación del estudio y se definen las conclusiones finales de nuestro trabajo.

**ETAPA 9: Revisión final del estudio (Junio 2017).** Por último, los investigadores principales llevan a cabo una revisión final del trabajo.

Para ver más información detallada acerca de las fechas y el personal específico requerido de cada etapa, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en Anexos.



Código de color	Asignación del trabajo del proyecto de investigación
	Investigadores principales (IP).
	IP y grupo de investigadores colaboradores (IC).
	Equipo clínico: anestesiólogos y enfermería de la Unidad de Cardiotorácica del Servicio de Anestesia del HUMS.
	Equipo clínico: médicos, enfermería y auxiliares del Servicio de Neumología del HUMS.
	Equipo clínico y de laboratorio: médicos, enfermería, bioquímicos y auxiliares del Servicio de Bioquímica del HUMS.
	Equipo clínico: enfermería y auxiliares de la sección de "Extracciones Sanguíneas" del HUMS.
	Equipo clínico: médicos, enfermería y auxiliares del Servicio de Cirugía Torácica del HUMS.
	Equipo de estadística. Médicos y técnico de informática.

Tabla 1. Resumen del Cronograma del estudio: fechas relevantes y personal responsable de cada etapa.

#### 4.4 POBLACIÓN PARTICIPANTE

Los criterios de inclusión de los participantes fueron pacientes (1) mayores de edad (>18 años), (2) intervenidos de cirugía torácica, (3) bajo anestesia general, (4) con ventilación unipulmonar y (5) que en el estudio preoperatorio tengan realizadas pruebas funcionales respiratorias y gasometría arterial. Además, se debió (6) realizar alguna maniobra de reclutamiento y de ajuste de la PEEP óptima, por el anestesista responsable a lo largo del periodo intraoperatorio, siguiendo la práctica clínica habitual.

La fuente de la muestra fueron los pacientes derivados del servicio de Cirugía Torácica del HUMS para ser intervenidos quirúrgicamente, que acudían a la consulta de Evaluación preanestésica. Basándonos en la actividad quirúrgica anual promedio de este centro hospitalario, nuestra primera estimación del tamaño muestral se aproximó a 80-100 pacientes adultos (> 18 años) por año, para finalmente, conseguir un total de 129 registros.

El método de selección se ha establecido por muestreo no probabilístico de casos consecutivos, en todos aquellos pacientes que cumplieran los criterios de selección, y dentro del intervalo de tiempo definido.

El seguimiento de los casos se llevó a cabo mediante la base de datos elaborada y los formularios individualizados rellenos en consulta, archivados en la Unidad de Anestesia Cardiorrástica del servicio de Anestesia y Reanimación del HUMS.

#### 4.5 VARIABLES A ESTUDIO

Durante la recogida de los datos clínicos, se elaboró una ficha en formato informático (.pdf) en la que se recogieron todas las variables definidas. Estas se recogieron prospectivamente durante todo el periodo preoperatorio e intraoperatorio de cada caso. A continuación, se detallan las variables del estudio.

- **Características basales del paciente:**

1. Edad: años.
2. Sexo:
  - Hombre: 1.
  - Mujer: 2.

3. Altura: cm.
4. Peso real: kilogramos (kg.)
5. Peso ideal: kg.
6. IMC: kg/m<sup>2</sup>.
7. ARISCAT: número.

La variable peso ideal se calcula con la fórmula de peso corporal ideal (PBW) (34):

- Hombres: PBW (kg) = 50 + 0.91 (altura en cm-152)
- Mujeres: PBW (kg) = 45.5 + 0.91 (altura en cm-152)

En la variable IMC, según la Sociedad Española para el estudio de obesidad (SEEDO), el normopeso se establece en 18,5-24,9. Un peso insuficiente corresponde a <18,5, sobrepeso grado I a 25-26,9 y grado II a 27-29,9. Obesidad de tipo I se diagnostica con 30-34,9, de tipo II con 35-39,9, de tipo III (Obesidad mórbida) con 40-49,9, y de tipo IV (Obesidad extrema) con >50 (90).

El cálculo del riesgo pulmonar postoperatorio (ARISCAT) se calculó mediante la Tabla 2 extraída de Canet et al. [2010](40). De acuerdo con la puntuación en este score, la probabilidad de complicaciones pulmonares se establece en un 1,6% si score <26 puntos, un 13,3% si score 26-44 y un 42,1% si score >44 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos) (91).

Tabla 2. Score ARISCAT		
Variable	Puntuación	Score
Edad (años)	≤ 50	0
	51-80	3
	≥ 80	16
<b>SpO<sub>2</sub> preoperatoria</b>	<b>≥ 96</b>	<b>0</b>
	<b>91- 95</b>	<b>8</b>
	<b>≥ 90</b>	<b>24</b>
<b>Infección respiratoria en el último mes</b>		<b>17</b>
<b>Anemia preoperatoria (≥ 10 g/dl)</b>		<b>11</b>
<b>Incisión quirúrgica</b>	<b>Intratorácica</b>	<b>24</b>
<b>Duración de la cirugía (h)</b>	≤ 2	0
	> 2 a 3	16
	> 3	23

Cirugía emergente		8
-------------------	--	---

- **Pruebas funcionales respiratorias:**

8. Capacidad vital forzada: FVC (%).
9. Capacidad vital forzada: FVC (L).
10. Volumen espiratorio máximo espirado en el primer segundo: FEV1 (%).
11. Volumen espiratorio máximo espirado en el primer segundo: FEV1 (L).
12. Relación FEV1/FVC (%).
13. Flujo espiratorio máximo entre el 25% y el 75% de la FVC: FEF25%-75% (ml/seg).
14. Capacidad de difusión o Difusión libre de monóxido de carbono: DLCO (%).
15. Capacidad de difusión o Difusión libre de monóxido de carbono: DLCO (mmol/min/kPa).
16. Cociente de Krogh o Relación DLCO/VA (%).
17. Cociente de Krogh o Relación DLCO/VA (mmol/min/kPa/L).
18. Volumen residual (%).
19. Volumen residual (L).

De acuerdo con las guías de práctica clínica consultadas, se determina la normalidad de la mayoría de los parámetros funcionales respiratorios entre 80 y 120%: FVC, FEV1 y FEV1/FVC. Excepto, de FEF25-75% que se establece en 60%. Igualmente, la DLCO se considera normal en 25 ml/min/mmHg o >80%. DLCO 60-80% corresponde a una alteración leve, 40-60%: alteración moderada y <40%: alteración severa. El VR normal se aproxima a 1.200 ml.

Luego, más concretamente, la FEV1/FVC se define como patrón obstructivo: FEV1/FVC <70% y como patrón restrictivo: FEV1/FVC >85%. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Anexos (54).

- **Gasometría Arterial preoperatoria:**

20. pH:
21. PaCO<sub>2</sub>: mmHg.
22. PaO<sub>2</sub>: mmHg.
23. Saturación arterial de oxígeno: SaO<sub>2</sub> (%).



Los valores normales de una gasometría arterial se establecen en pH 7,35-7,45 (Acidosis: pH <7,35 y Alcalosis: pH >7,45), PCO<sub>2</sub> 35-45 mmHg (Hipocapnia: PCO<sub>2</sub> <35 e hipercapnia: PCO<sub>2</sub> >45mmHg), PO<sub>2</sub> >80 mmHg (Hipoxemia: PO<sub>2</sub> <80) y la SaO<sub>2</sub> (95-99%).

- **Datos intraoperatorios:**

24. Tipo de cirugía:

- VATS: 1.
- Toracotomía: 2.
- Otras: 3.

25. Lado quirúrgico:

- Derecho: 1.
- Izquierdo: 2.

26. Modo ventilatorio:

- Controlado por volumen: 1.
- Controlado por presión: 2.

27. Crs (dinámica) previa a la maniobra de reclutamiento: ml/cmH<sub>2</sub>O.

28. PEEP previa a la maniobra de reclutamiento: cmH<sub>2</sub>O.

29. Tipo de ventilación previa a la maniobra de reclutamiento:

- Unipulmonar: 1.
- Bipulmonar: 2.

30. Driving pressure (Pmeseta - PEEP): cmH<sub>2</sub>O.

31. Tipo de ventilación para cálculo inicial (previo a la maniobra de reclutamiento) de Driving pressure (Pmeseta - PEEP):

- Unipulmonar: 1.
- Bipulmonar: 2.

32. Maniobra de reclutamiento realizada en:

- Unipulmonar: 1.
- Bipulmonar: 2.

33. Maniobra de reclutamiento completa:

- Sí: 1.
- No: 2.

34. Causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento:

- Oxigenación: 1.
- Hemodinámica: 2.
- Fugas: 3.

- Otras: 4.
- 35. Máxima presión de apertura alcanzada: cmH<sub>2</sub>O.
- 36. Mejor Crs: ml/cmH<sub>2</sub>O.
- 37. PEEP óptima: cmH<sub>2</sub>O.
- 38. Volumen corriente (unipulmonar): mL/Kg de peso corporal ideal.
- 39. Driving pressure post-Maniobra de reclutamiento (Pmeseta - PEEP): cmH<sub>2</sub>O.

Establecemos los valores normales de Crs en 50-100 ml/cmH<sub>2</sub>O, de Driving pressure en <15 cmH<sub>2</sub>O, de PEEP óptima 5-15 cmH<sub>2</sub>O, de máxima presión de apertura alcanzada en 2,5-8 cmH<sub>2</sub>O/L y de volumen corriente en 500 mL o 6-8 ml/kg.

## 4.6 FUENTES DE DATOS E INSTRUMENTOS

Las variables “Características basales del paciente” fueron registradas en la consulta de Evaluación preanestésica en el edificio de Consultas Externas del H.U.M.S mediante la anamnesis de la entrevista clínica y la exploración del paciente en la balanza y el estadímetro de consulta.

Las pruebas funcionales respiratorias se efectuaron en una Cabina pletismográfica BODY BOX 5500 (MEDISOFT® Respiratorio, Sorinnes, Bélgica) con funciones de espirometría, DLCO, TGV, RAW, MIP/MEP y P01, modelo adaptado a acceso para silla de ruedas o pediátrico. Mediante la espirometría, se calcularon las variables de la FVC (% y L), de la FEV1 (% y L), el FEV1/FVC (%), el FEF25%-75% (ml/seg). Por medio de la pletismografía y la prueba de difusión se registraron la DLCO (% y mmol/min/kPa), la relación DLCO/VA (% y mmol/min/kPa/L) y el Volumen residual (% y L). Los datos respiratorios fueron tratados con el software de test diagnósticos ExpAir® (MEDISOFT® Respiratorio, Sorinnes, Bélgica).

Las gasometrías arteriales fueron extraídas con material hospitalario disponible según protocolo y mediante un analizador de gases en sangre GEM Premier 3000 (Instrumentación Laboratory®, Bedford, Massachussets, USA) se trataron las variables pH, PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> y SaO<sub>2</sub>(61,92).

Para las medidas ventilatorias intraoperatorias, las máquinas de anestesia empleadas en el estudio fueron las estaciones de anestesia Primus® (Dräger medical, Lübeck, Alemania).

Todos los datos recogidos y los análisis primarios se catalogaron en un formulario de formato informático (.pdf) previamente a la elaboración de la base de datos mediante el programa informático Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation®, Redmond, WA, USA).

## 4.7 SESGOS

En este presente estudio se ha podido incurrir en una serie de errores sistemáticos o sesgos que pueden afectar a la validez interna y, secundariamente, a la validez externa de nuestro trabajo.

En primer lugar, ha podido tener lugar un sesgo de autoselección o “sesgo del voluntario”. Los pacientes reclutados en nuestro trabajo han sido derivados para ser sometidos a una intervención quirúrgica por su patología pulmonar luego en la mayoría de los casos, presentan una comorbilidad respiratoria que puede afectar negativamente a los datos de las variables respiratorias medidas.

Por otro lado, se ha podido cometer un sesgo de clasificación incorrecta no diferencial. Esto se debe a que algunos pacientes han sido derivados de otros hospitales y la medición de los parámetros preoperatorios (variables: “Características basales del paciente”, “Pruebas funcionales respiratorias” y “Gasometría arterial preoperatoria”) se ha efectuado con diferentes aparatos de medida.

Además, se ha incurrido en un sesgo de atrición por los datos ausentes no recogidos durante la recogida de datos preoperatorio e intraoperatoria de los individuos reclutados.

## 4.8 TAMAÑO MUESTRAL

Se realizó una estimación *a priori* del tamaño de la muestra necesario para la proporción de PEEP óptima en nuestro centro (93–95).

La frecuencia hipotética anticipada del factor del resultado, establecer la PEEP óptima en la MRA durante la VUP en la práctica quirúrgica habitual del anestesiólogo, en la población (p) la situamos alrededor del 2% según la práctica clínica habitual de nuestro centro hospitalaria. No obstante, la prevalencia del uso de PEEP estándar se

estima en el 43%, de acuerdo con la literatura publicada. En la cual encontramos que el uso rutinario en la práctica anestésica de PEEP intraquirúrgica varía en el rango comprendido entre el 43% en países de Oriente Medio hasta el 79% en Italia (65,96–98). Esto concuerda con que el uso de PEEP óptima es una técnica novedosa de los últimos años en comparación con la aplicación de PEEP estándar, con más años de experiencia. La prevalencia de aplicación de PEEP óptima del 43% es la estimación más próxima al 50%, valor que hace máximo el tamaño muestral (94,95).

Además, se estableció un nivel de confianza del 95% y una precisión absoluta del 5%, por lo que se estimó una muestra necesaria de 31 pacientes para llevar a cabo los objetivos de nuestro estudio. Este dato concuerda con el tamaño muestral reducido utilizado en los estudios sobre la PEEP óptima publicados hasta la fecha actual, cuyo tamaño máximo alcanza los 40 pacientes (14,52,99).

De acuerdo con la actividad quirúrgica anual en el Servicio de Cirugía Torácica de nuestro centro y dado el período de reclutamiento de pacientes recogido en el apartado 4.3.1 del presente TFM, se dispuso finalmente de una muestra de 129 pacientes ( $n = 129$ ), superior al tamaño muestral calculado *a priori*.

La estimación del tamaño muestral se calculó mediante el *software* para epidemiología *Open Epi*, de acceso abierto (100).

## 4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron recogidos en tablas Microsoft Excel, el software informático *IBM SPSS* Versión 22 para Windows [bajo la licencia de la Universidad de Zaragoza] y el software libre *Open Epi v3.0.1*. Para todos los análisis se asume resultado estadísticamente significativo si  $p < 0,05$ . El análisis estadístico desarrollado abarcó un análisis descriptivo e inferencial.

### 4.9.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

En primer lugar, se introdujeron los datos de la base de datos, recopilada tras el periodo de reclutamiento, en el programa informático *Excel*. A continuación, se procedió a la depuración de los datos con *IBM SPSS*. En el análisis descriptivo de nuestra muestra, se han descrito las variables estudiadas desde un punto de vista numérico y gráfico.

Se definieron 39 variables: 30 variables cuantitativas y 9 variables cualitativas. En razón a las variables cuantitativas, 29 son continuas y 1 es discreta (ARISCAT). Todas las variables cualitativas son nominales y no hay ninguna ordinal. Siete de ellas son dicotómicas (Sexo, Lado quirúrgico, Modo ventilatorio, Tipo de ventilación previa a la maniobra de reclutamiento, Tipo de ventilación para cálculo inicial de Driving pressure, Maniobra de reclutamiento realizada en, Maniobra de reclutamiento completa) y 2 policotómicas (Tipo de cirugía y Causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento).

Se comprobó el cumplimiento o no de los criterios de normalidad de la distribución de todas las variables estudiadas mediante la inspección visual de los gráficos Q-Q de normalidad y los histogramas. Posteriormente, se evaluó analíticamente dicha asunción mediante la prueba de Kolmogoro-Smirnov, ya que el tamaño de la muestra es mayor que 50, aplicando la corrección de significación de Lilliefors.

Para expresar las variables cuantitativas, se utilizaron una medida de tendencia central (media  $[\bar{x}]$  o mediana [Me]) y su medida de dispersión correspondiente (desviación típica [DT] o recorrido intercuartílico [RI]), dependiendo de si dicha variable seguía una distribución normal o no, respectivamente. Así mismo, se han obtenido otras medidas descriptivas como la amplitud, el mínimo y máximo, los coeficientes de asimetría y apuntamiento, los percentiles 25 y 75. Igualmente, se describieron gráficamente mediante histogramas.

En cuanto a las variables cualitativas, se expresaron por medio de los valores absolutos de las frecuencias, sus porcentajes y la moda, como único estadístico descriptivo. Se emplearon tablas de frecuencias, diagramas de barras y de sectores.

El nivel de confianza escogido para todos los test estadísticos de nuestro trabajo es del 95%, asumiendo un nivel de significación  $\alpha=0,05$ .

#### **4.9.2 ANÁLISIS INFERENCIAL**

En razón al análisis inferencial, para la comparación de medias de las variables cuantitativas con una distribución no normal se ha utilizado la prueba U de Mann-Whitney como prueba no paramétrica. Respecto a las variables cualitativas, las comparaciones han sido establecidas mediante la utilización del Test de Chi cuadrado y Test exacto de Fisher cuando fuese necesario.

Para responder a las hipótesis principales planteadas en nuestro estudio, se examinó el grado de asociación existente entre las variables implicadas mediante métodos gráficos (de diagramas de dispersión) y analíticos (coeficiente de correlación simple).

Por último, nos gustaría aclarar que el Teorema Central del Límite no es aplicable en el contexto del estudio de la correlación, luego, dado que la variable PEEP óptima no siguió una distribución de probabilidad normal, se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman en todos los análisis (94). La interpretación de la intensidad de la relación se realizó de acuerdo con los criterios establecidos por Gerstman (2015) y Martínez-González y et al. (2014) (94,95).

#### **4.10 CONSIDERACIONES ÉTICAS**

El estudio se inició después de la obtención del dictamen favorable del Comité Ético de Investigación Clínica de Aragón (Ceica).

Se trata de un estudio observacional en el que se recogerán datos de las variables que se indican a continuación de forma anónima y con la única finalidad de generar un registro. Por este motivo, no se consideró necesaria la solicitud de consentimiento informado por parte del paciente.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA

La muestra reclutada para nuestro estudio está compuesta por 129 individuos adultos, 102 varones (79,1%) y 27 mujeres (20,9%) operados quirúrgicamente en el servicio de Cirugía Torácica del H.U. Miguel Servet de Zaragoza (España).

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis descriptivo de la totalidad de las variables de la muestra. Se comprobó la normalidad de las variables cuantitativas simultáneamente mediante métodos gráficos (histogramas y Q-Q plots) y analíticos (contraste de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en aquellas variables con menos de 50 valores registrados).

En nuestro análisis estadístico, 24 variables no siguieron una distribución normal: Edad, Altura, IMC, ARISCAT, FVC (%), FVC (L), FEV1 (L), Relación FEV1/FVC (%), FEF25%-75% (ml/seg), DLCO (mmol/min/kPa), Relación DLCO/VA (%), Relación DLCO/VA (mmol/min/kPa/L), pH, PaO<sub>2</sub>, Crs (dinámica) previa a la maniobra de reclutamiento, PEEP previa a la maniobra de reclutamiento, Driving pressure, Máxima presión de apertura alcanzada, Mejor Crs, PEEP óptima, Volumen corriente (unipulmonar) y Driving pressure post-Maniobra de reclutamiento (Pmeseta - PEEP).

Así, las variables categóricas fueron descritas mediante frecuencias absolutas y relativas. Si cumplían criterios de una distribución normal, las variables cuantitativas fueron definidas mediante la media como medida de tendencia central y la desviación típica como medida de dispersión. En caso contrario, se especificaron mediante la mediana y el rango intercuartílico, respectivamente.

#### 5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE PRINCIPAL: PEEP ÓPTIMA

La variable principal PEEP óptima no siguió una distribución normal ( $p < 0,001$ , contraste K-S). La inspección visual de los gráficos de normalidad nos condujo a la misma conclusión (Figura 1).

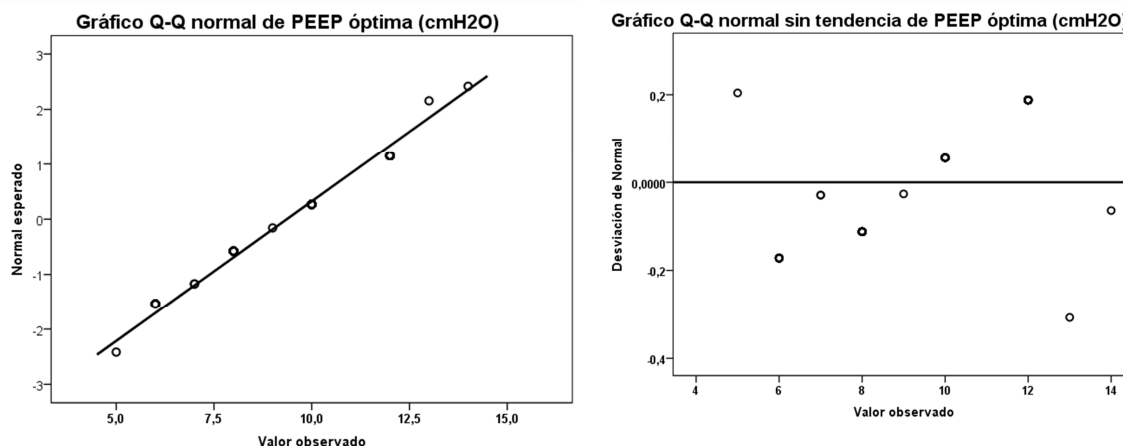


Figura 1. Gráficos cuantil-cuantil de normalidad de la variable principal PEEP óptima.

Esta variable presentó un valor mediano de 10 cmH<sub>2</sub>O con un rango intercuartílico de 2 cmH<sub>2</sub>O. Sus valores se comprendieron entre 5 y 14 cmH<sub>2</sub>O, con una asimetría casi nula (-0,05) y un aplanamiento o curtosis negativo (-0,77). Los percentiles 25 y 75 fueron los valores 8 y 10 cmH<sub>2</sub>O, respectivamente. Así mismo, se analizó gráficamente por medio de un histograma y un diagrama de cajas de Tukey (Tabla 3, Figura 2 y Figura 3).

Tabla 3. Análisis descriptivo de la variable principal: PEEP óptima.

N (%)	Me <sup>A</sup>	RI <sup>B</sup>	Min <sup>C</sup>	Max <sup>D</sup>	Rango	P25 <sup>E</sup>	P75 <sup>F</sup>	p <sup>G*</sup>
127 (98,4)	10,00	2,00	5,00	14,00	9,00	8,00	10,00	<0,001
<b>Asimetría (Estadístico±EE<sup>H</sup>)</b>					<b>Curtosis (Estadístico±EE<sup>H</sup>)</b>			
<b>-0,05±0,215</b>					<b>-0,77±0,43</b>			
<i><sup>A</sup>Me: Mediana. <sup>B</sup>RI: Rango intercuartílico. <sup>C</sup>Min: valor mínimo. <sup>D</sup>Max: valor máximo. <sup>E</sup>P25: percentil 25. <sup>F</sup>P75: percentil 75. <sup>G</sup>p: valor p del análisis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para la variable PEEP óptima. <sup>H</sup>EE: Error estándar.</i>								

\* En caso de que la variable cuantitativa no siga una distribución normal ( $p < 0.05$ ) mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) o \*\*Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), se describe mediante la mediana (Me) como medida de tendencia central, y el Rango Intercuartílico (RI) como medida de dispersión.



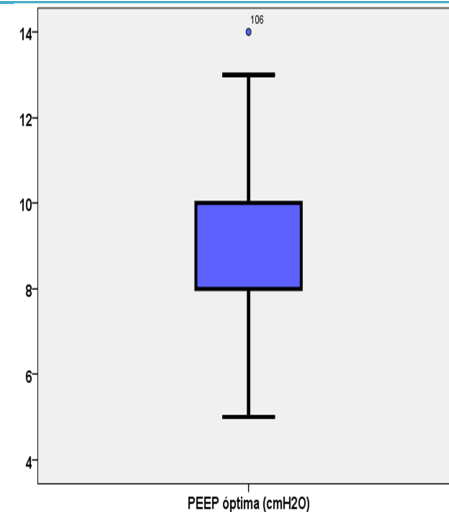
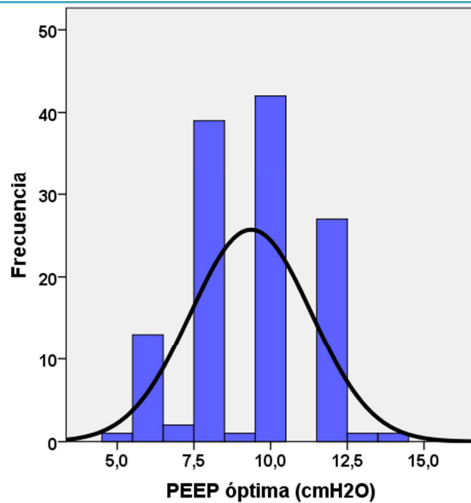


Figura 2. Histograma de la variable principal PEEP óptima.

Figura 3. Diagrama de cajas de Tukey de la variable principal PEEP óptima.

### 5.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES SECUNDARIAS

Las características basales de nuestra muestra [edad (años), altura (cm), peso real (kg), peso ideal (kg), IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y ARISCAT] se describen en la Tabla 4.

**Tabla 4. Características basales de la muestra reclutada.**

Variable	Casos: n (%)	Muestra (n=129): Me <sup>A</sup> ± RI <sup>B</sup>
Edad (años)	129 (100,00)	67,00±15,00
Altura (cm)	129 (100,00)	168,00±10,00
Peso real (kg)	129 (100,00)	74,67±13,14 *
Peso ideal (kg)	129 (100,00)	64,50±11,00
IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	129 (100,00)	26,42±4,22 *
ARISCAT	129 (100,00)	50,00±18,00

<sup>A</sup>Me: Mediana. <sup>B</sup>RI: Rango intercuartílico.

\* En caso de que la variable cuantitativa siga una distribución normal ( $p>0.05$ ) mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $n>50$ ) o \*\*Shapiro-Wilk ( $n<50$ ), se describe mediante la media ( $\bar{x}$ ) como medida de tendencia central, y la desviación típica ( $\sigma$ ) como medida de dispersión.

Respecto a los datos antropométricos, los individuos reclutados median alrededor de  $168\pm 10$  cm y pesaban una media de  $74,67\pm 13,14$  kg, siendo su peso ideal  $64,50\pm 11$  kg. En nuestro trabajo, los hombres median unos  $170\pm 10$  cm y pesaban  $77,36\pm 12,22$  kg. Las mujeres median  $159,15\pm 5,68$  cm y pesaban  $62\pm 11$  kg.

En relación al sexo, en nuestra muestra se reclutaron 102 hombres (79,1%) y 27 mujeres (20,9%), para un total de 129 individuos (Figura 5).

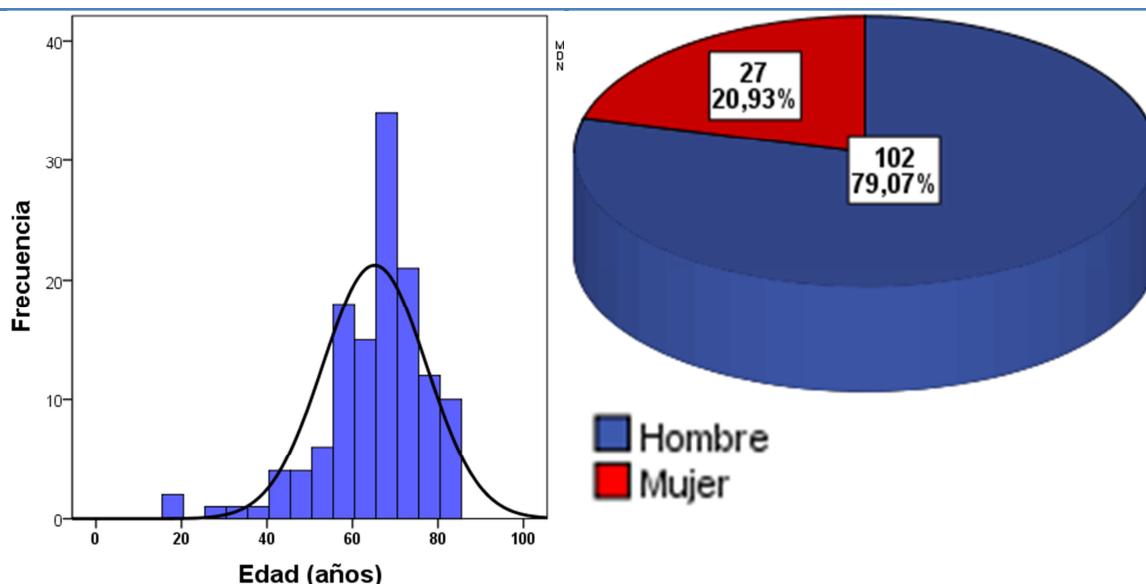


Figura 4. Distribución de la frecuencia muestral de la variable Edad (años).

Figura 5. Distribución muestral de la variable Sexo: hombres y mujeres.

El IMC observado tenía una media de  $26,42\pm 4,22$  kg/m<sup>2</sup>. 49 personas (37,98%) presentaron normopeso (IMC 18,5-24,9 kg/m<sup>2</sup>). En 2 personas (1,55%) se detectó un peso bajo (IMC<18,5 kg/m<sup>2</sup>). 54 personas (41,86%) tenían sobrepeso (IMC 25-29,9 kg/m<sup>2</sup>). 24 personas (18,60%) eran obesas (IMC≥30,0 kg/m<sup>2</sup>) (Figura 6).

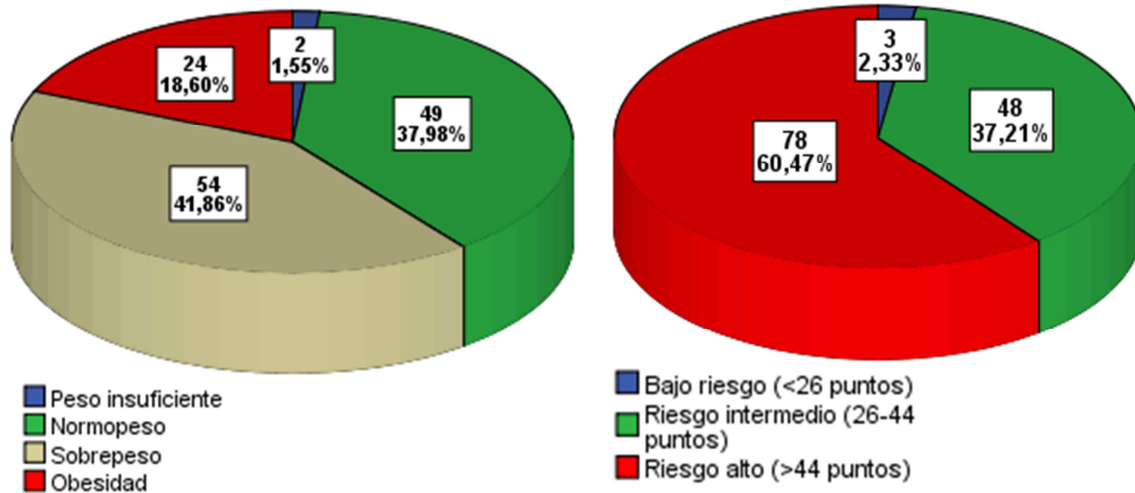


Figura 6. Distribución muestral de la variable IMC (kg/m<sup>2</sup>).

Figura 7. Distribución muestral de la variable ARISCAT

En relación al score ARISCAT, el valor mediano encontrado fue de  $50 \pm 18$  puntos. 78 de nuestros pacientes (60,47%) presentaban un riesgo pulmonar alto (>44 puntos) con un 42,1% de riesgo de padecer CPP. 48 pacientes (37,21%) tenían un riesgo intermedio (26-44 puntos) con un 13,3 % de riesgo de sufrir CPP. Sólo 3 personas (2,33%) presentaban un riesgo bajo (<26 puntos) con un 1,6% de riesgo de padecer CPP (Figura 7).

A continuación, se describen las pruebas respiratorias preoperatorias evaluadas, las pruebas funcionales respiratorias (FVC, FEV1, FEV1/FVC, FEF25%-75%, DLCO, DLCO/VA y VR) y la gasometría (pH, PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> y SaO<sub>2</sub>) en la Tabla 5 y la Tabla 6.

**Tabla 5. Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias.**

Variable	Casos: n (%)	Muestra (n=129): Media $\pm$ DT <sup>A</sup>
FVC (%) <sup>B</sup>	121 (93,80)	97,47 $\pm$ 21,55
FVC (L)	94 (72,90)	3,37 $\pm$ 0,74
FEV1 (%) <sup>C</sup>	120 (93,00)	86,87 $\pm$ 22,09

Variable	Casos: n (%)	Muestra (n=129): Media±DT <sup>A</sup>
FEV1 (L)	94 (72,90)	2,33±0,59
FEV1/FVC (%) <sup>D</sup>	114 (88,40)	75,71±15,73
FEF25%-75% (mL/s) <sup>E</sup>	36 (27,90) **	1677,68±1201,53
DLCO (%) <sup>F</sup>	112 (86,80)	83,50±24,18
DLCO (mmol/min/kPa)	66 (51,20)	18,02±8,22
DLCO/VA (%) <sup>G</sup>	53 (41,10)	99,23±37,47
DLCO/VA (mmol/min/kPa/L)	35 (27,10) **	3,88±1,18
VR (%) <sup>H</sup>	4 (3,10) **	89,88±45,18
VR (L)	8 (6,20) **	2,23±0,55 *

<sup>A</sup>Media±DT: Media±Desviación típica. <sup>B</sup>FVC: Capacidad Vital Forzada. <sup>C</sup>FEV1: Volumen espiratorio máximo espirado en el primer segundo. <sup>D</sup>Relación FEV1/FVC. <sup>E</sup>FEF 25%-75%: Flujo espiratorio máximo entre el 25% y el 75% de la FVC. <sup>F</sup>DLCO: Capacidad de difusión o Difusión libre de monóxido de carbono: DLCO (%). <sup>G</sup>Cociente de Krogh o Relación DLCO/VA. <sup>H</sup>Volumen residual.

\* En caso de que la variable cuantitativa no siga una distribución normal ( $p < 0.05$ ) mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) o \*\*Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), se describe mediante la mediana (Me) como medida de tendencia central, y el Rango Intercuartílico (RI) como medida de dispersión.

En relación a los valores catalogados de las variables de las pruebas funcionales respiratorias preoperatorias observamos que los individuos estudiados presentaban un FEV1 (%) con una media de 86,87±22,09. Según la Normativa SEPAR (Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica) de los criterios de gravedad de la patología pulmonar obstructiva, 75 individuos reclutados (62,50%) no padecían enfermedad pulmonar obstructiva (FEV1≥80%). 21 pacientes (17,50%) tenían una patología obstructiva leve (FEV1 70-80%). 13 personas (10,83%) sufrían una obstrucción moderada (FEV1 60-70%). 6 personas (5,00%) estaban aquejados de una

obstrucción moderadamente grave (FEV1 50-60%) y 5 individuos (4,17%) de una patología obstructiva grave (FEV1 35-50%) (Figura 8).

La mayoría de los individuos de nuestra muestra mostraban unos valores de espirometría (un FVC, una relación FEV1/FVC y un FEF 25-75%) dentro de la normalidad (FVC y FEV1/FVC  $\geq$ 70% y FEF 25-75%  $\geq$ 60%) el 73,6%, el 77% y el 91,75% respectivamente. Sin embargo, se observaron alteraciones en la pletismografía y la prueba de capacidad de difusión donde hasta 47 de los pacientes (41,96%) presentaban alteraciones basales. Fueron considerados valores de normalidad, un DLCO de 80-120% y un VR de 65-120%. En razón a las variaciones en el DLCO, 22 personas (19,64%) (18,75%) presentaron una disminución de DLCO leve (DLCO 60-80%) y 21 personas, moderada (DLCO 40-60%) (Figura 9).

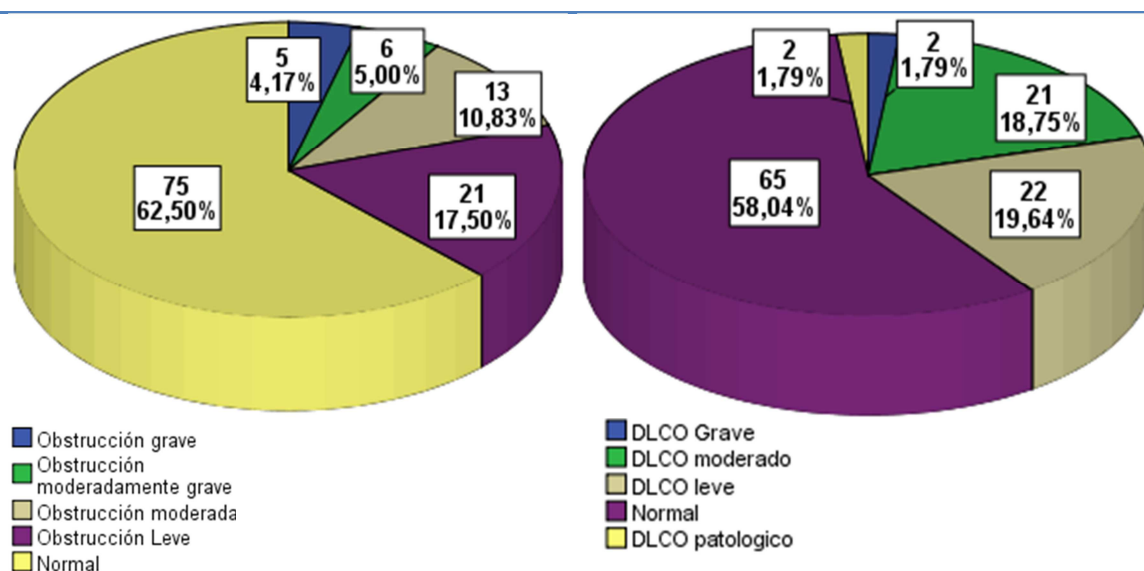


Figura 8. Distribución de patología pulmonar obstructiva preoperatoria según la variable FEV1 (%).

Figura 9. Distribución de los resultados de la prueba capacidad de difusión pulmonar según la variable DLCO (%).

En razón a las gasometrías, observamos que las cuatro variables registradas (pH, PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> y SaO<sub>2</sub>) presentaron unos valores medianos dentro de la normalidad. Esta queda establecida según criterios analíticos como pH 7,35-7,45, PaCO<sub>2</sub> 35-45 mmHg, PaO<sub>2</sub> >80 mmHg y SaO<sub>2</sub> >95%.

**Tabla 6. Gasometrías arteriales preoperatorias.**

Variable	Casos: n (%)	Muestra (n=129): Media±DT
pH	23 (17,80) **	7,43±0,03 *
PaCO <sub>2</sub> <sup>A</sup>	25 (19,40) **	38,74±7,40
PaO <sub>2</sub> <sup>B</sup>	25 (19,40) **	84,00±40,50 *
SaO <sub>2</sub> <sup>C</sup>	25 (19,40) **	96,22±1,92

<sup>A</sup>PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de dióxido de carbono (mmHg). <sup>B</sup>PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de oxígeno (mmHg).  
<sup>C</sup>SaO<sub>2</sub>: Saturación arterial de oxígeno (%).

\* En caso de que la variable cuantitativa no siga una distribución normal ( $p < 0.05$ ) mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) o \*\*Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), se describe mediante la mediana (Me) como medida de tendencia central, y el Rango Intercuartílico (RI) como medida de dispersión.

Aquí, sólo 1 persona (4,00% de las muestras recogidas) presenta acidosis ( $\text{pH} < 7,35$ ) de tipo respiratorio por hipercapnia y 5 personas (20,00%), alcalosis ( $\text{pH} > 7,45$ ). 4 personas (16,00%) padecían hipercapnia basal y solamente, 1 persona (4,00%) sufría insuficiencia respiratoria hipoxémica o parcial o de tipo I(101). Respecto a la SaO<sub>2</sub>, 7 personas (28,00%) tenían cifras patológicas.

La descripción del lado quirúrgico y la variable PEEP óptima se realiza en la Tabla 7.

**Tabla 7. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Lado quirúrgico.**

Variable	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Lado quirúrgico	Derecho	74 57,40
	Izquierdo	55 42,60

En la Tabla 8 y Tabla 9, se resumen los resultados de los datos intraoperatorios referentes al procedimiento quirúrgico y a la ventilación mecánica.

<b>Tabla 8. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Variables cuantitativas.</b>		
<b>Variable</b>	<b>Casos: n (%)</b>	<b>Muestra (n=129): Me±RI</b>
<b>Crs<sup>1</sup> dinámica previa a la MRA (mL/cmH<sub>2</sub>O)</b>	128 (99,20)	28,95±8,10
<b>PEEP<sup>3</sup> previa a la MRA (cmH<sub>2</sub>O)</b>	127 (98,40)	6,00±1,00
<b>DPres<sup>4</sup> previa a la MRA (cmH<sub>2</sub>O)</b>	64 (49,60)	14,00±5,00
<b>Máxima presión de apertura alcanzada (cmH<sub>2</sub>O)</b>	129 (100,00)	40,00±0,00
<b>Mejor Crs<sup>1</sup> (mL/cmH<sub>2</sub>O)</b>	128 (99,20)	44,30±13,00
<b>Vc<sup>5</sup> (Unipulmonar) (mL/kg)</b>	129 (100,00)	6,00±0,00
<b>DPres<sup>4</sup> post-MRA (cmH<sub>2</sub>O)</b>	122 (94,96)	10,00±4,00
<i><sup>A</sup>Me: Mediana. <sup>B</sup>RI: Rango intercuartílico. <sup>1</sup>Crs: Compliance pulmonar. <sup>2</sup>MRA: Maniobra de reclutamiento alveolar. <sup>3</sup>PEEP: Presión positiva al final de la espiración. <sup>4</sup>DPres: Driving pressure. <sup>5</sup>Vc: Volumen corriente.</i>		

\* En caso de que la variable cuantitativa siga una distribución normal ( $p>0.05$ ) mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $n>50$ ) o \*\*Shapiro-Wilk ( $n<50$ ), se describe mediante la media ( $\bar{x}$ ) como medida de tendencia central, y la desviación típica ( $\sigma$ ) como medida de dispersión.

Los valores de PEEP previas a la MRA eran normales (5-10 cmH<sub>2</sub>O) en 5 registros (3,88%) eran inferiores a 5 cmH<sub>2</sub>O y 2 registros (1,55%) fueron superiores a 10 cmH<sub>2</sub>O.

En la Figura 10, observamos la evolución de la Crs según la MRA. Antes de la MRA, 125 pacientes (96,90%) presentaron una Crs baja (<50mL/cmH<sub>2</sub>O) y 3 pacientes (2,33%) tenían una Crs normal ( $\geq 50$ mL/cmH<sub>2</sub>O). Después de realizar la MRA y la aplicación de una PEEP óptima individualizada se observó que 85 personas (65,89%) presentaron una Crs normal y 43 personas (33,33%) tenían una Crs disminuida.

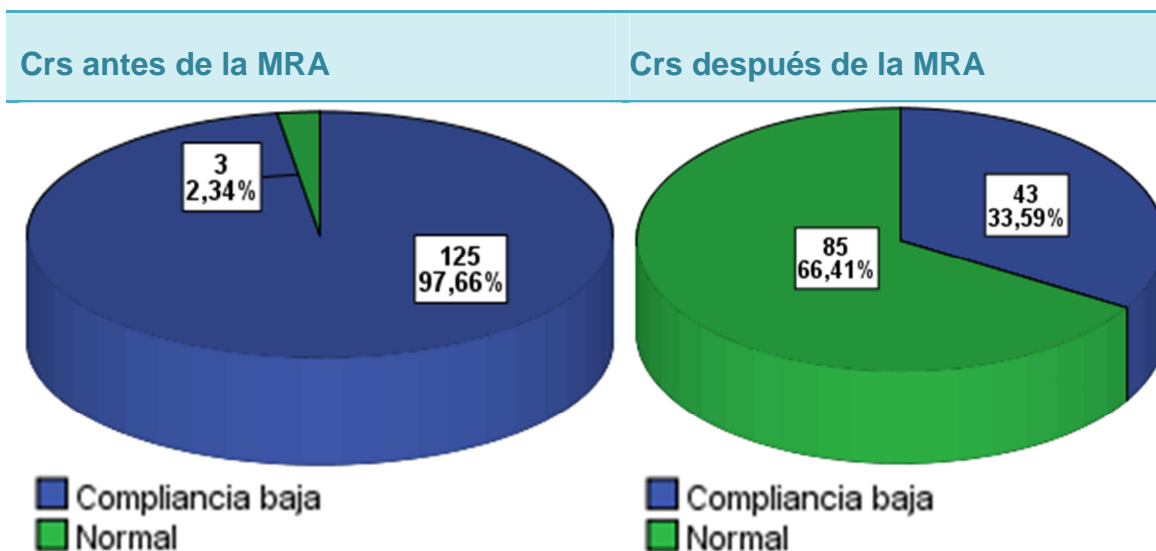


Figura 10. Evolución de la Compliancia pulmonar (Crs) antes y después de la maniobra de reclutamiento alveolar (MRA) y la aplicación de PEEP óptima.

En la recogida de datos, se registraron 64 valores (49,61% de los pacientes) de Driving pressure. En 33 pacientes (51,56%) la DP previa a la MRA era normal (<15 mL/cmH<sub>2</sub>O) y en los 31 pacientes restantes (48,44%) la DP era alta, superando los 15 mL/cmH<sub>2</sub>O. La DP posterior a la MRA y la aplicación de PEEP óptima fue normal en 109 personas (89,34%) y alta en 13 personas (10,66%) (Figura 11).

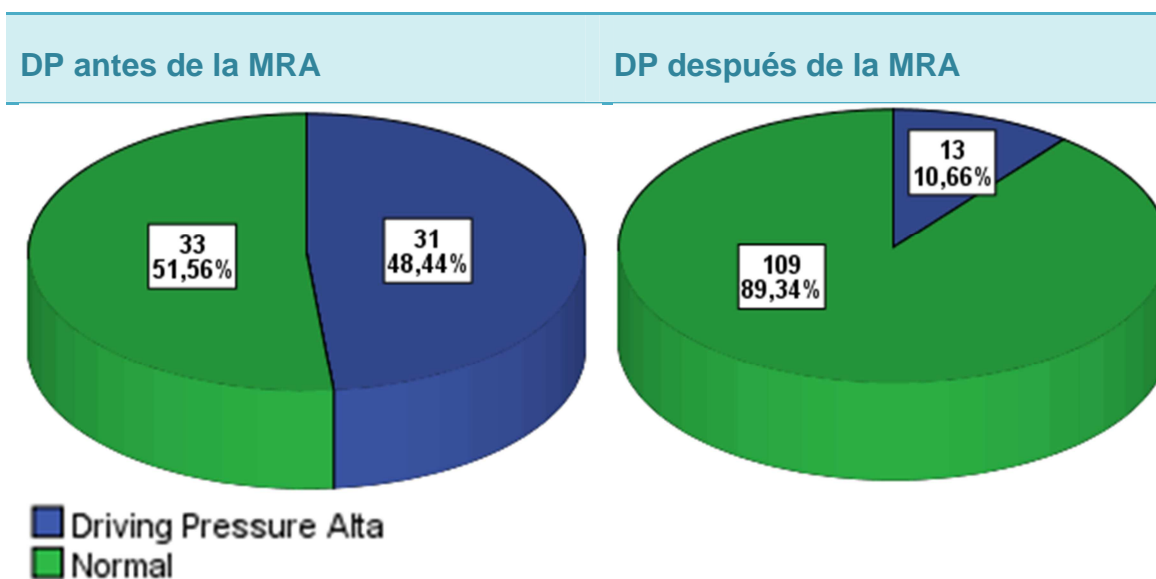


Figura 11. Evolución de la Driving pressure (DP) antes y después de la maniobra de



reclutamiento alveolar (MRA) y la aplicación de PEEP óptima individualizada.

**Tabla 9. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Variables categóricas.**

Variable		Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
<b>Tipo cirugía</b>	Toracotomía	48	37,20
	VATS <sup>B</sup>	75	58,10
<b>Sitio quirúrgico</b>	LSD <sup>C</sup>	33	25,60
	LMD <sup>D</sup>	1	0,80
	LID <sup>E</sup>	13	10,10
	LSI <sup>F</sup>	15	11,60
	LII <sup>G</sup>	7	5,40
	Lingula	1	0,80
	Bilob. Drcho <sup>H</sup>	1	0,80
	Bilob. Izq <sup>I</sup>	2	1,60
	Bilateral	1	0,80
<b>Modo ventilatorio</b>	VCV <sup>J</sup>	123	95,30
	VCP <sup>K</sup>	6	4,70
<b>MRA<sup>L</sup> completa</b>	Sí	123	95,3
	No	6	4,70

Variable		Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Causa cese MRA <sup>L</sup>	Oxigenación	122	94,60
	Hemodinámica	6	4,70
	Fugas	0	0
	Oxig y hemod. <sup>M</sup>	1	0,80
	Otras	0	0

<sup>A</sup>Me±RI: Mediana±Rango intercuartílico. <sup>B</sup>VATS: videotoracoscopia. <sup>C</sup>LSD: Lóbulo superior derecho. <sup>D</sup>LMD: Lóbulo medio derecho. <sup>E</sup>LID: Lóbulo inferior derecho. <sup>F</sup>LSI: Lóbulo superior izquierdo. <sup>G</sup>LII: Lóbulo inferior izquierdo. <sup>H</sup>Bilob. Drcho: Bilobular derecho. <sup>I</sup>Bilob. Izq: Bilobular izquierdo. <sup>J</sup>VCV: Ventilación controlada por volumen. <sup>K</sup>VCP: Ventilación controlada por presión. <sup>L</sup>MRA: Maniobra de reclutamiento pulmonar. <sup>M</sup>Oxig y hemod: oxigenación y hemodinámica.

## 5.2 ANÁLISIS INFERENCIAL

El estudio de la relación entre las características basales de los individuos y la variable principal PEEP óptima se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de correlación de las variables Características basales y PEEP óptima.				
Variable	Casos n (%)	r <sub>s</sub> <sup>A</sup>	IC al 95% <sup>B</sup>	p <sup>C</sup>
Edad (años)	127 (98,40)	0,073	(-0,103; 0,244)	0,418
Altura (cm)		0,035	(-0,140; 0,208)	0,694
<b>Peso real (kg)</b>		<b>0,324</b>	<b>(0,159; 0,472)</b>	<b>&lt;0,001</b>
Peso ideal (kg)		0,043	(-0,132; 0,216)	0,631
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>		<b>0,303</b>	<b>(0,136; 0,453)</b>	<b>0,001</b>
ARISCAT		-0,061	(-0,233; 0,115)	0,494

<sup>A</sup>  $r_s$ : Coeficiente de correlación de Spearman. <sup>B</sup> IC al 95%: Intervalo de confianza al 95%. <sup>C</sup>  $p$ : valor  $p$  del contraste de significación para el coeficiente de correlación de Spearman poblacional.

Se observó que existe una correlación positiva baja ( $r_s=0,324$ ) y estadísticamente significativa entre las variables Peso real (kg) y PEEP óptima ( $p<0,001$ ). Esta relación se examinó gráficamente mediante su diagrama de dispersión (Figura 12).

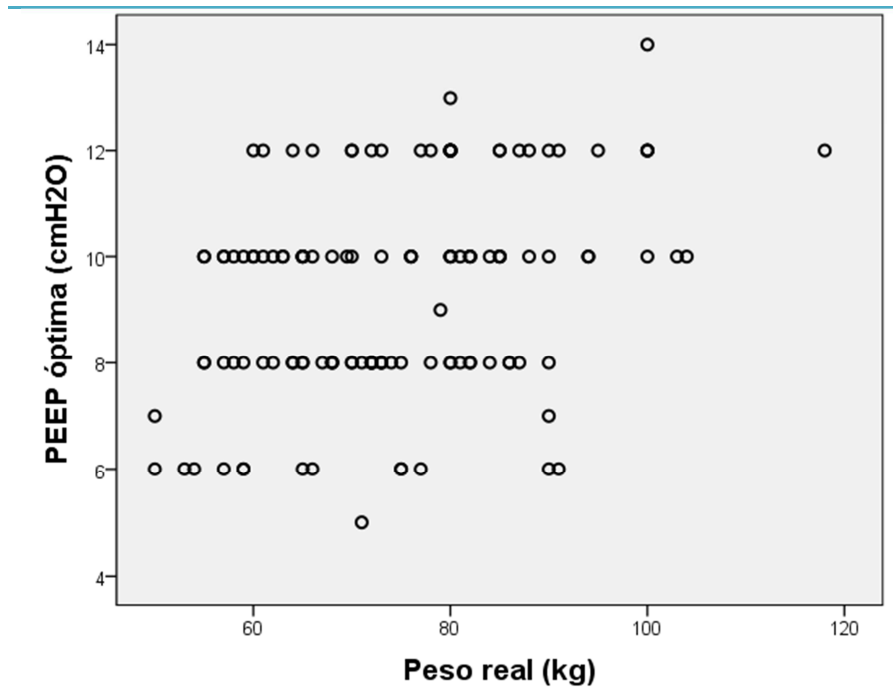


Figura 12. Diagrama de dispersión de las variables Peso real (kg) y PEEP óptima.

Del mismo modo, se observó que existe una correlación positiva baja ( $r_s=0,303$ ) entre las variables IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y PEEP óptima ( $p=0,001$ ). Esta relación se examinó gráficamente mediante el diagrama de dispersión pertinente (Figura 13).

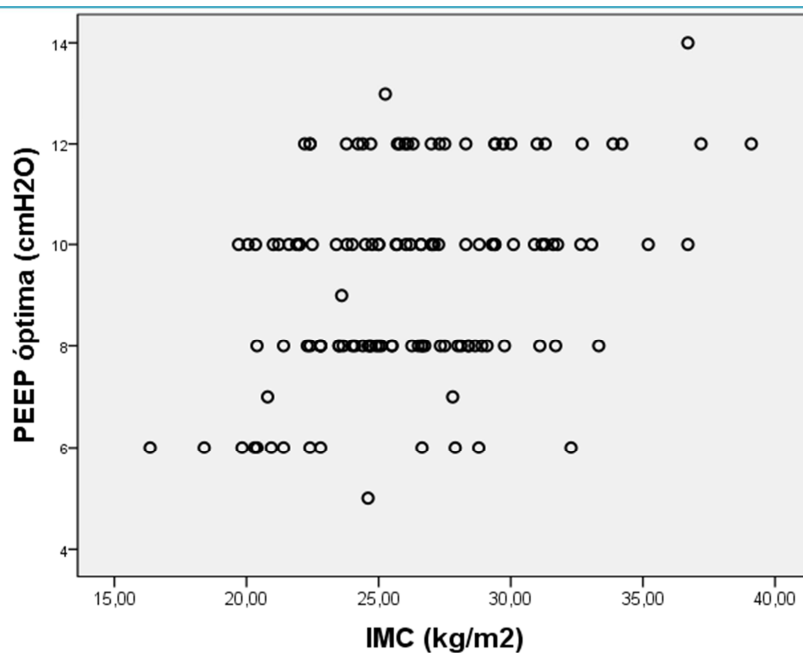


Figura 13. Diagrama de dispersión de las variables IMC (kg/m<sup>2</sup>) y PEEP óptima.

También, se comparó las variables sexo (hombre y mujer) y PEEP óptima, aunque no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en el nivel mediano de PEEP óptima entre hombres y mujeres ( $p=0,322$ ) (Tabla 15 y Tabla 12).

Tabla 11. Análisis descriptivo de las variables sexo y PEEP óptima.

Variable: Sexo	Casos n (%)	Muestra (n=127) Me±RI <sup>A*</sup>	Min <sup>B</sup>	Max <sup>C</sup>	P25 <sup>D</sup>	P75 <sup>E</sup>	p <sup>F</sup>
Hombre	100 (78,74)	<b>10,00±4,00</b>	5,00	14,00	8,00	12,00	<b>&lt;0,001</b>
Mujer	27 (21,26)	<b>8,00±2,00</b>	6,00	12,00	8,00	10,00	<b>0,002</b>

<sup>A</sup>Me±RI: Mediana±Rango intercuartílico. <sup>B</sup>Min: valor mínimo. <sup>C</sup>Max: valor máximo. <sup>D</sup>P25: percentil 25. <sup>E</sup>P75: percentil 75. <sup>F</sup>p: valor p del análisis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

\* Como el análisis de la normalidad en ambas distribuciones no sigue una distribución normal ( $p<0.05$ ) mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov ( $n>50$ ) o Shapiro-Wilk ( $n<50$ ), se describe mediante la

mediana (Me) como medida de tendencia central, y el Rango Intercuartílico (RI) como medida de dispersión.

**Tabla 12. Contraste de hipótesis: comparación del nivel de PEEP óptima según el sexo del paciente.**

	Sexo		
	Masculino (n=100)	Femenino (n=127)	p <sup>A</sup>
<b>Nivel de PEEP óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>B</sup></b>	10,00 (4,00)	8,00 (2,00)	<b>0,322</b>

<sup>A</sup>p: valor p del contraste de significación para la prueba U de Mann Whitney poblacional. <sup>B</sup>Me (RI): Mediana (Rango intercuartílico).

Asimismo, se confirmó gráficamente la ausencia de diferencias significativas en el estudio de la variable PEEP óptima según sexo mediante un diagrama de cajas de Tukey (Figura 14).

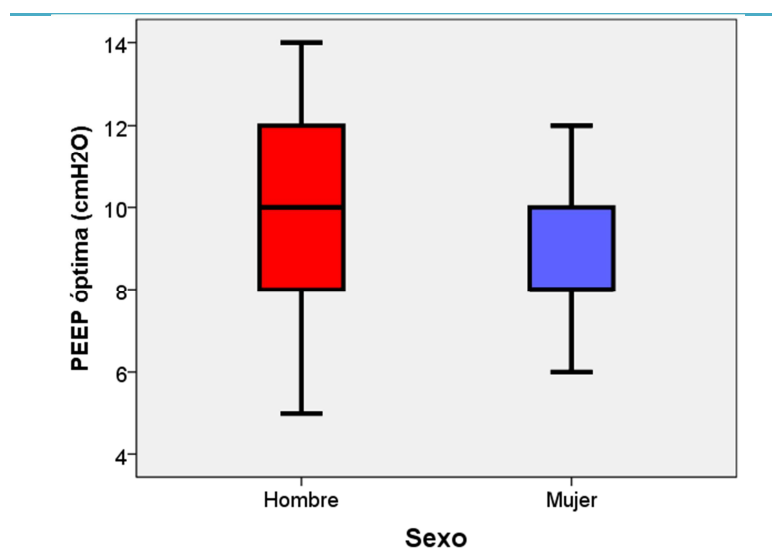


Figura 14. Diagrama de cajas de Tukey del contraste de hipótesis de las variables sexo y PEEP óptima.

Del mismo modo, se comparó el nivel de PEEP óptima según las variables respiratorias preoperatorias, Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y Gasometría arterial preoperatoria, en la Tabla 14 y la Tabla 14.

**Tabla 13. Análisis de correlación de las variables Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y PEEP óptima.**

Variable	Casos n (%)	$r_s^A$	IC al 95% <sup>B</sup>	$p^C$
FVC (%)	119 (92,25)	<b>-0,095</b>	(-0,270; 0,087)	<b>0,304</b>
FVC (L)	93 (72,09)	<b>0,060</b>	(-0,146; 0,261)	<b>0,569</b>
FEV1 (%)	118 (91,47)	<b>-0,094</b>	(-0,270; 0,088)	<b>0,310</b>
FEV1 (L)	93 (72,09)	<b>-0,021</b>	(-0,224; 0,184)	<b>0,843</b>
FEV1/FVC (%)	112 (86,82)	<b>0,028</b>	(-0,158; 0,213)	<b>0,767</b>
FEF25%-75% (mL/s)	36 (27,91)	<b>-0,103</b>	(0,418; 0,234)	<b>0,550</b>
DLCO (%)	110 (85,27)	<b>0,083</b>	(-0,106; 0,266)	<b>0,390</b>
DLCO (mmol/min/kPa)	66 (51,16)	<b>0,033</b>	(-0,211; 0,273)	<b>0,793</b>
DLCO/VA (%)	51 (39,53)	<b>0,133</b>	(-0,148; 0,394)	<b>0,353</b>
DLCO/VA (mmol/min/kPa/L)	35 (27,10)	<b>-0,062</b>	(-0,388; 0,278)	<b>0,723</b>
VR (%)	4 (3,10)	<b>0,949</b>	(-0,010; 0,999)	<b>0,051</b>
VR (L)	8 (6,20)	<b>0,575</b>	(-0,222; 0,911)	<b>0,136</b>

<sup>A</sup>  $r_s$ : Coeficiente de correlación de Spearman. <sup>B</sup> IC al 95%: Intervalo de confianza al 95%. <sup>C</sup> p: valor p del contraste de significación para el coeficiente de correlación de Spearman poblacional.

**Tabla 14. Análisis de correlación de las variables gasometría arterial preoperatoria y PEEP óptima.**

Variable	Casos n (%)	$r_s^A$	IC al 95% <sup>B</sup>	$p^C$
pH	22 (17,05)	<b>0,385</b>	(-0,045; 0,695)	<b>0,077</b>
PaCO <sub>2</sub>	24 (18,60)	<b>-0,150</b>	(-0,523; 0,271)	<b>0,483</b>
<b>PaO<sub>2</sub></b>		<b>-0,443</b>	<b>(-0,719; 0,047)</b>	<b>0,030</b>
SaO <sub>2</sub>		<b>-0,300</b>	(-0,628; 0,119)	<b>0,155</b>

<sup>A</sup>  $r_s$ : Coeficiente de correlación de Spearman. <sup>B</sup> IC al 95%: Intervalo de confianza al 95%. <sup>C</sup> p: valor p del contraste de significación para el coeficiente de correlación de Spearman poblacional.

Únicamente, se observó una correlación negativa moderada entre las variables PaO<sub>2</sub> y PEEP óptima ( $r_s=-0,443$ ) ( $p=0,030$ ). Se interpretó gráficamente esta correlación mediante un diagrama de dispersión (Figura 15).

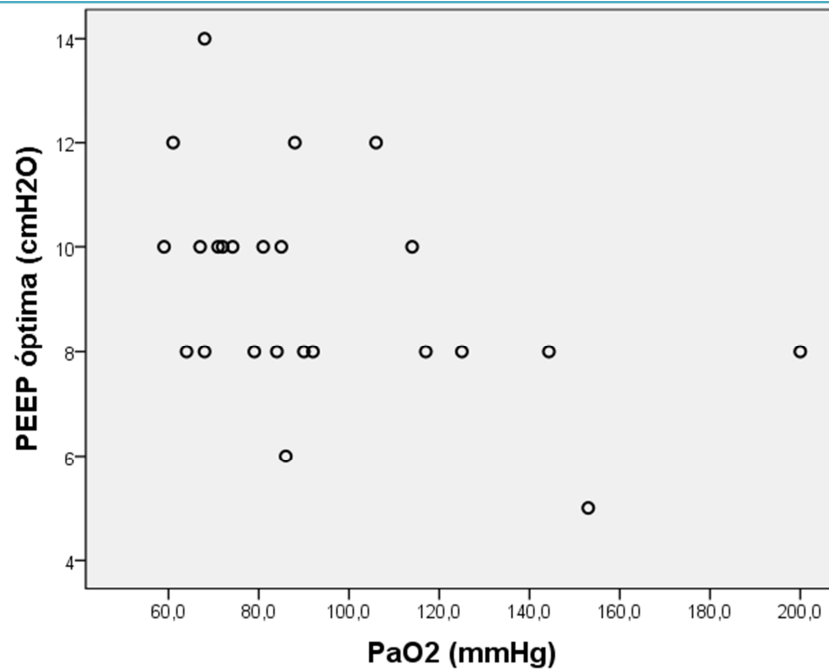


Figura 15. Diagrama de dispersión de las variables PaO<sub>2</sub> (mmHg) y PEEP óptima.

Por otro lado, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en el nivel de PEEP óptima entre aquellos pacientes intervenidos del lado derecho y aquellos intervenidos del lado izquierdo ( $p=0,262$ ). La Tabla 15 y la Tabla 16 muestran el análisis descriptivo de ambos grupos y el contraste de hipótesis de ambas variables.

**Tabla 15. Análisis descriptivo de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima.**

Variable: Lado Qx	Casos n (%)	Muestra (n=127) Me±RI <sup>A*</sup>	Min <sup>B</sup>	Max <sup>C</sup>	P25 <sup>D</sup>	P75 <sup>E</sup>	p <sup>F</sup>
Derecho	73 (57,48)	<b>10,00±4,00</b>	5,00	14,00	8,00	12,00	<0,001
Izquierdo	54 (42,52)	<b>9,00±2,00</b>	6,00	13,00	8,00	12,00	<0,001

<sup>A</sup>Sig.Bilateral (p): Significación bilateral. <sup>B</sup>Me±RI: Mediana±Rango intercuartílico. <sup>C</sup>Min: valor mínimo. <sup>D</sup>Max: valor máximo. <sup>E</sup>P25: percentil 25. <sup>F</sup>P75: percentil 75.



\* Como el análisis de la normalidad en ambas distribuciones no sigue una distribución normal ( $p < 0.05$ ) mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) o Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ), se describe mediante la mediana ( $Me$ ) como medida de tendencia central, y el Rango Intercuartílico ( $RI$ ) como medida de dispersión.

**Tabla 16. Contraste de hipótesis de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima: test U de Mann-Whitney.**

	Lado quirúrgico		
	Derecho (n=73)	Izquierdo (n=54)	$p^A$
<b>Nivel de PEEP óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>B</sup></b>	10,00 (4,00)	9,00 (2,00)	<b>0,262</b>

<sup>A</sup> $p$ : valor  $p$  del contraste de significación para la prueba U de Mann Whitney poblacional. <sup>B</sup>Me (RI): Mediana (Rango intercuartílico).

Esta ausencia de diferencias significativas se corroboró gráficamente mediante la inspección visual un diagrama de cajas de Tukey (Figura 16).

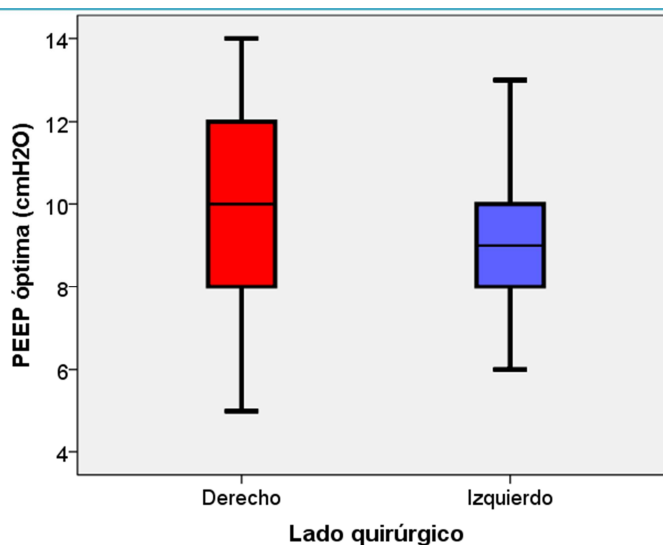


Figura 16. Diagrama de cajas de Tukey del contraste de hipótesis de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima.

Durante la recogida de datos, se registraron varias variables en dos momentos puntuales durante la intervención quirúrgica, antes y después de la MRA: la Crs pulmonar, la PEEP y la DP. En la Tabla 17, se sometieron estas variables al test no paramétrico de Wilcoxon para comprobar si la MRA nos reportaba diferencias significativas en estas tres variables referentes a la VMP.

**Tabla 17. Diferencias significativas en las variables Crs, PEEP óptima y DP tras la MRA y la aplicación de PEEP: Test de Wilcoxon.**

	Crs <sup>A</sup>		
	Pre-MRA <sup>B</sup> (n=128)	Post-MRA <sup>C</sup> (n=128)	p <sup>D</sup>
<b>Crs (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>E</sup></b>	<b>28,95 (8,10)</b>	<b>44,30 (13,00)</b>	<b>&lt;0,001</b>
	PEEP <sup>E</sup>		
	Pre-MRA <sup>B</sup> (n=128)	Post-MRA <sup>C</sup> (n=128)	p <sup>D</sup>
<b>PEEP (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>E</sup></b>	<b>6,00 (1,00)</b>	<b>10,00 (2,00)</b>	<b>&lt;0,001</b>
	DP		
	Pre-MRA <sup>B</sup> (n=128)	Post-MRA <sup>C</sup> (n=128)	p <sup>D</sup>
<b>DP (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>E</sup></b>	<b>14,00 (5,00)</b>	<b>10,00 (4,00)</b>	<b>&lt;0,001</b>

<sup>A</sup>Crs: Compliancia pulmonar. <sup>B</sup>Pre-MRA: previo a la maniobra de reclutamiento alveolar. <sup>C</sup>post-MRA: posterior a la maniobra de reclutamiento alveolar. <sup>D</sup>p: valor p del contraste de significación para la prueba U de Mann Whitney poblacional. <sup>E</sup>Me (RI): Mediana (Rango intercuartílico).

Se encontró que la Crs y la PEEP aumentaban significativamente ( $p < 0,001$ ) y la DP disminuía de manera significativa ( $p < 0,001$ ) después de realizar la MRA durante la intervención quirúrgica. Estos resultados se plasman en la Figura 18., la Figura 18 y la Figura 199.

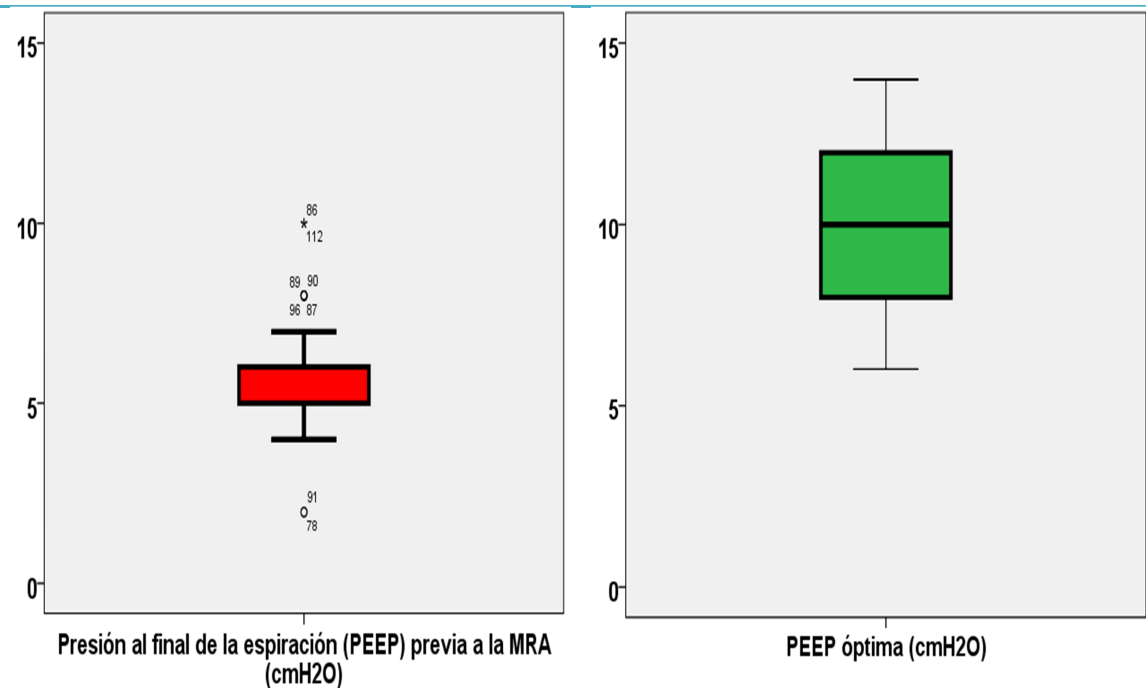


Figura 17. Evolución de la Presión positiva al final de la espiración (PEEP) antes (diagrama rojo) y después (diagrama verde) de la Maniobra de reclutamiento alveolar.

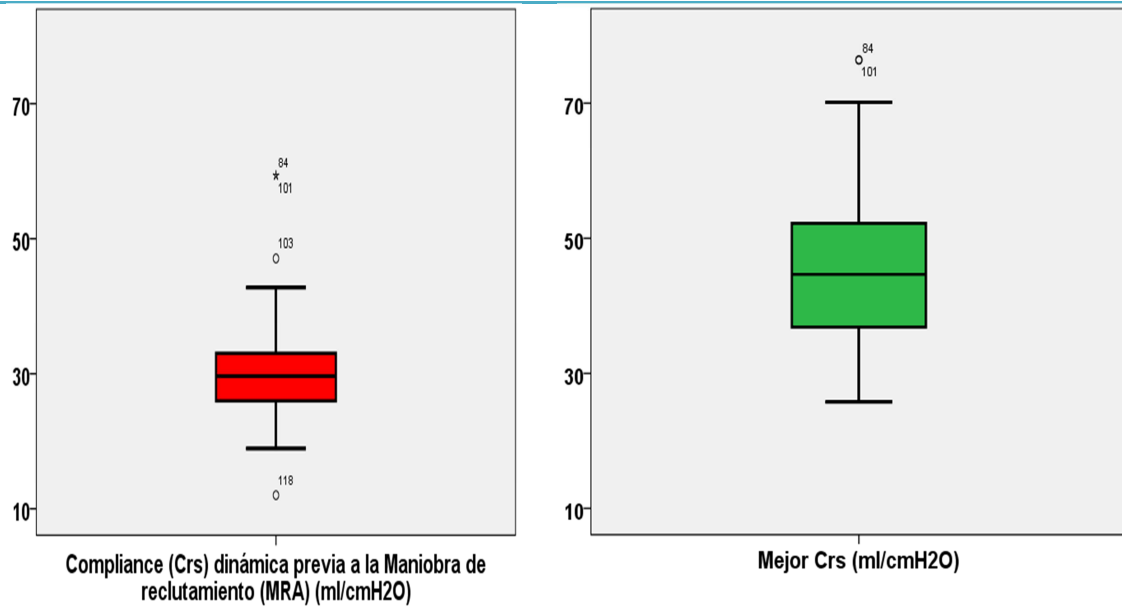


Figura 18. Evolución de la Compliance pulmonar antes (diagrama rojo) y después (diagrama verde) de la Maniobra de reclutamiento alveolar.

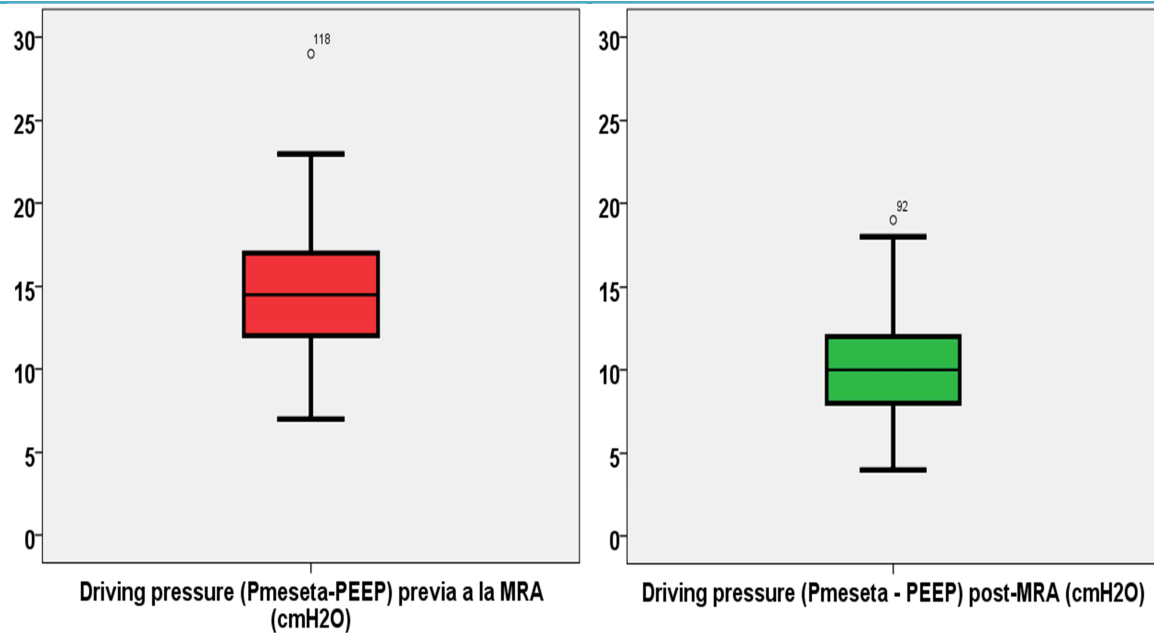


Figura 19. Evolución de la Driving pressure antes (diagrama rojo) y después (diagrama verde) de la Maniobra de reclutamiento alveolar.

Ahora, se procedió al contraste de hipótesis de las variables cuantitativas (Crs dinámica previa a la MRA, DP, Mejor Crs y DP post-MRA) y cualitativas intraquirúrgicas (Tipo de cirugía, Sitio quirúrgico, Modo ventilatorio, MRA completa, Causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento y Manejo de la causa de la realización incompleta de la MRA) ventilatorias intraoperatorias.

Para ello, se procesaron mediante análisis de correlación bivariantes todas las variables cuantitativas intraquirúrgicas en la Tabla 188.

<b>Tabla 18. Análisis de correlación de las variables intraquirúrgicas y PEEP óptima.</b>				
<b>Variable</b>	<b>Casos n (%)</b>	<b><math>r_s^A</math></b>	<b>IC al 95%<sup>B</sup></b>	<b><math>p^C</math></b>
<b>Crs pre-MRA<sup>D</sup></b>	126 (97,67%)	<b>-0,06</b>	(-0,233; 0,116)	<b>0,508</b>
<b>DP<sup>E</sup></b>	64 (49,61%)	<b>-0,116</b>	(-0,352; 0,134)	<b>0,361</b>
<b>Mejor Crs<sup>D</sup></b>	126 (97,67%)	<b>0,237</b>	<b>(0,065; 0,396)</b>	<b>0,008</b>
<b>DP post-MRA<sup>F</sup></b>	122 (94,57%)	<b>-0,086</b>	(-0,260; 0,093)	<b>0,349</b>

<sup>A</sup> $r_s$ : Coeficiente de correlación de Spearman. <sup>B</sup> IC al 95%: Intervalo de confianza al 95%. <sup>C</sup> $p$ : valor  $p$  del contraste de significación para el coeficiente de correlación de Spearman poblacional. <sup>D</sup>Crs pre-MRA: Compliancia pulmonar dinámica antes de la maniobra de reclutamiento alveolar (MRA). <sup>E</sup>Driving pressure. <sup>F</sup>Driving pressure después de la MRA.

Se observó que existe una correlación positiva baja ( $r_s=0,237$ ) y estadísticamente significativa entre las variables Mejor Crs y PEEP óptima ( $p=0,008$ ).

Por otra parte, las variables cualitativas se analizaron mediante la prueba no paramétrica de la U de Mann-Whitney, para aquellas variables con sólo 2 grupos:

Modo ventilatorio (VCV/VCP) y Maniobra de reclutamiento completa (Sí/No). Para aquellas variables con más de tres grupos se empleó la prueba no paramétrica de Krustal-Wallis: Tipo de cirugía (VATS/Toracotomía/Otras), Sitio quirúrgico (LSD/LMD/LID/LSI/LII/Língula/LSD y LMD/LMD y LID/LSI y LII/Bilateral) y Causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento (Oxigenación/Hemodinámica/Fugas/Otras).

Para ninguna de las variables cualitativas intraquirúrgicas se encontró correlación significativa con la variable principal PEEP óptima (Tabla 20 y Tabla 19).

**Tabla 19. Contraste de hipótesis entre las variables cualitativas intraquirúrgicas y PEEP óptima: test no paramétrico U de Mann-Whitney.**

	Modo ventilatorio		
	VCV <sup>A</sup> (n=121)	VCPB <sup>B</sup> (n=6)	p <sup>C</sup>
<b>Nivel de PEEP<sup>D</sup> óptima</b>	10,00 (2,00)	7,50 (4,00)	<b>0,056</b>
	MRA <sup>G</sup> completa		
	Sí (n=123)	No (n=4)	p <sup>C</sup>
<b>Nivel de PEEP<sup>D</sup> óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>E</sup></b>	10,00 (2,00)	9,00 (4,00)	<b>0,937</b>

<sup>A</sup>VCV: Ventilación controlada por volumen. <sup>B</sup>VCP: Ventilación controlada por presión. <sup>C</sup>p: valor p del contraste de significación para la prueba U de Mann Whitney poblacional. <sup>D</sup>PEEP: Presión positiva al final de la espiración. <sup>E</sup>Me (RI): Mediana (Rango intercuartílico). <sup>F</sup>Compliance pulmonar. <sup>G</sup>MRA: Maniobra de reclutamiento alveolar. <sup>H</sup>VUP: Ventilación unipulmonar. <sup>I</sup>VBP: Ventilación bipulmonar. <sup>J</sup>DP: Driving pressure.

\* PEEP óptima (cmH<sub>2</sub>O) es constante para esa variable. Ha sido omitida en el análisis estadístico por SPSS.

**Tabla 20. Contraste de hipótesis entre las variables cualitativas intraquirúrgicas y PEEP óptima: test no paramétrico Krustal-Wallis.**

	Tipo de cirugía				p <sup>B</sup>
	Toracotomía (n=47)	VATS <sup>A</sup> (n=74)	Otras (n=4)		
<b>Nivel de PEEP<sup>C</sup> óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>D</sup></b>	10,00 (4,00)	10,00 (2,00)	10,00 (6,00)		<b>0,661</b>
	Sitio quirúrgico				p <sup>B</sup>
	LSD <sup>E</sup> (n=33)	LMD <sup>F</sup> (n=1)	LID <sup>G</sup> (n=13)	LSI <sup>H</sup> (n=14)	
<b>Nivel de PEEP<sup>C</sup> óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>D</sup></b>	10,0 (2,0)	10,0 (3,0)	10,0 (4,0)	10,0 (2,0)	<b>0,977</b>
	LII <sup>I</sup> (n=7)	Lingula (n=1)	LSI y LII (n=2)	Bilateral (n=1)	
	10,0 (4,0)	*	9,0 (0,0)	*	
	Causa cese de MRA <sup>J</sup>			p <sup>B</sup>	
	Oxigenación (n=121)	Hemodinámica (n=5)	Mixta (n=1)		
<b>Nivel de PEEP<sup>C</sup> óptima (cmH<sub>2</sub>O): Me (RI)<sup>D</sup></b>	10,00 (2,00)	8,00 (2,00)	*	<b>0,665</b>	

<sup>A</sup>VATS: Videotoracoscopia. <sup>B</sup>p: valor p del contraste de significación para la prueba Krustal-Wallis poblacional. <sup>C</sup>PEEP: Presión positiva al final de la espiración. <sup>D</sup>Me (RI): Mediana (Rango intercuartílico). <sup>E</sup>LSD: Lóbulo superior derecho. <sup>F</sup>LMD: Lóbulo medio derecho. <sup>G</sup>LID: Lóbulo inferior derecho. <sup>H</sup>LSI: Lóbulo superior izquierdo. <sup>I</sup>LII: Lóbulo inferior izquierdo. <sup>J</sup>MRA: Maniobra de reclutamiento alveolar.

\*PEEP óptima (cmH<sub>2</sub>O) es constante para esa variable y es omitida en el análisis estadístico por SPSS.

## 6 DISCUSIÓN

### 6.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA APLICACIÓN DE LA PEEP ÓPTIMA EN CIRUGÍA TORÁCICA EN ANESTESIOLOGÍA Y REANIMACIÓN

Los procedimientos quirúrgicos torácicos, especialmente aquellos con resección pulmonar, tienen un riesgo estimado de CPP de alrededor del 20% de los pacientes y de LPA postoperatoria que alcanza hasta el 15% (7). Las causas de mortalidad más importantes tras la cirugía de resección pulmonar son la LPA postoperatoria y el distrés respiratorio (45,62). Cuyos mecanismos etiológicos principales son el atelectrauma y la sobredistensión alveolar (21).

En cirugía torácica, el patrón respiratorio perioperatorio característico es restrictivo por lo que la VMP constituye el mejor método de prevención de la LPA (2,41). Además, esta estrategia de ventilación puede prevenir la aparición de atelectasias mediante la aplicación de una PEEP individualizada mediante el método de aumento escalonado de la PEEP (14,26,32,34,73). Diversas técnicas ventilatorias ayudan a prevenir esta disfunción ventilatoria mediante la aplicación de Vc bajos y el empleo de PEEP y de MRA intermitentes (13,15,16,32,33,53,67–70). La PEEP ha demostrado disminuir la LPA ocasionada por el atelectrauma durante la ventilación mecánica y ser necesaria para el mantenimiento perioperatorio de la oxigenación y la ventilación del paciente (15–19,29).

Estas maniobras ventilatorias han demostrado mejorar significativamente los resultados respiratorios postoperatorios y reducir la incidencia de CPP, de lesión pulmonar asociada al ventilador y de la estancia hospitalaria (3,4,32,33,53,67,69–72).

No obstante, el nivel óptimo de PEEP durante la VUP ha sido fuente de conflicto en la literatura. De acuerdo con las principales guías de práctica clínica, se ha recomendado la aplicación de PEEP a niveles moderados para minimizar sus efectos secundarios, fundamentalmente la aparición de PEEP intrínseca y la sobredistensión alveolar (64,77).

Recientemente, se ha demostrado que el método correcto de ajustar el nivel de PEEP es mediante un ajuste individualizado a través de la monitorización de la Crs. Igualmente, se ha probado que la PEEP óptima ajustada por la mejor Crs alcanzada



mantiene los mejores niveles de oxigenación, ventilación y mecánica respiratoria (14). Se han publicados varios trabajos donde se afirma que la tomografía computarizada es el único medio para ajustar la PEEP óptima, lo que es poco eficiente e inviable en la práctica clínica hospitalaria habitual. Sin embargo, la Crs durante la titulación de la PEEP tras una MRA se ha señalado como un indicador preciso del menor colapso pulmonar, equiparable al diagnóstico por medio de la tomografía (102). Actualmente, la Crs forma parte de la monitorización básica de cualquier máquina de anestesia en quirófano.

Por otro lado, el ajuste individualizado de la PEEP no ha demostrado hasta la fecha actual resultados significativos beneficiosos durante el postoperatorio. Por esta razón, hay corrientes científicas que apoyan un uso estándar de PEEP para todos los pacientes.

En recientes publicaciones, se comienza a poner en entredicho este ajuste pragmático y estandarizado de la PEEP ya que un nivel de PEEP inferior favorece la reaparición de colapso alveolar tras la MRA y uno superior, incrementa el riesgo de sobredistensión (22). Ambas complicaciones son reconocidas como factores condicionantes de deterioro de la función pulmonar durante el intraoperatorio y de un aumento del riesgo de LPA durante el postoperatorio.

A pesar de que la MRA y el ajuste de la PEEP suele estar protocolizado en la mayoría de los hospitales durante la cirugía torácica, no existen datos publicados acerca de su aplicación en el periodo intraoperatorio y su posible relación con otros factores.

## **6.2 RESULTADOS CLAVE**

El propósito de este estudio fue elaborar un registro de la PEEP óptima tras la MRA durante la VUP realizada según práctica clínica habitual y conocer si existe relación entre el valor de PEEP óptima y las características basales del paciente, las condiciones pulmonares preoperatorias, el lado quirúrgico y los datos ventilatorios intraoperatorios.

Los principales resultados de nuestro trabajo han sido:

1. La variable PEEP óptima no sigue una distribución normal en nuestra muestra. Queda definida como  $10 \text{ cmH}_2\text{O} \pm 2 \text{ cmH}_2\text{O}$  ( $Me \pm RI$ ) y comprende de 5 a 14  $\text{cmH}_2\text{O}$ .
2. Se encontró que la variable PEEP óptima se correlaciona de manera estadísticamente significativa y de forma directamente proporcional con las variables Peso real (kg) e IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).
3. Se observó que la variable PEEP óptima se correlaciona de manera estadísticamente significativa e inversamente proporcional con la variable  $\text{PaO}_2$  (mmHg).
4. Se halló que la variable PEEP óptima se correlaciona de manera estadísticamente significativa y directamente proporcional con la variable Mejor Crs ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ).
5. Se observaron diferencias significativas entre los niveles de PEEP, de Crs y de DP previos y posteriores a la realización de la MRA.
6. No se observó ninguna otra relación entre la variable PEEP óptima y el resto de variables analizadas Características basales, Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y Datos intraoperatorios.

### 6.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este trabajo muestra una serie de limitaciones que requieren ser señalizadas y criticar los métodos usados que intentaron paliarlas.

Uno de los factores limitantes de este estudio ha sido los valores perdidos de los individuos reclutados, especialmente de las pruebas funcionales preoperatorias y de las gasometrías arteriales preoperatorias. El tamaño muestral reclutado superó ampliamente el tamaño muestral predefinido, *a priori*, de 31 pacientes para un nivel de confianza del 95%. Estos valores perdidos pueden haber ocasionado que nuestros resultados no alcancen la significación estadística. En un futuro, si diseñamos un nuevo estudio con controles intermedios, es posible que se consiga alcanzar la significación estadística para las variables observadas que no lo han conseguido en el presente trabajo. Así, obtendríamos una disminución de los errores aleatorios (error alfa y error beta) y un aumento de la potencia estadística de nuestro estudio.

Igualmente, existieron ciertos aspectos que dificultaron la recogida y el análisis de los datos y la selección adecuada de la muestra.

Los datos perioperatorios recogidos por el anestesiólogo fueron extraídos manualmente de la gráfica de anestesia por no existir un soporte informático a disposición del profesional, en el hospital donde se desarrolló el estudio. La gráfica de anestesia es el documento médico-legal donde queda registrado el manejo perioperatorio completo del paciente: las técnicas anestésicas realizadas, los parámetros hemodinámicos monitorizados, los tratamientos administrados y las complicaciones ocurridas. A pesar de utilizar un formulario en formato electrónico durante la fase de recogida de datos, la transcripción manual de los datos perioperatorios pudo conllevar a una recogida errónea y a la generación de valores extremos en la muestra.

La variabilidad interprofesional existente en la práctica clínica habitual en quirófano y en la valoración de los parámetros ventilatorios perioperatorios (por ejemplo, diferentes unidades de medida) del anestesiólogo ha podido alterar la recolección de los datos del trabajo.

Después de la recogida de los datos muestrales, se sometieron a un análisis estadístico y revisiones de seguridad de los formularios para valorar la existencia de valores extremos y comprobar la veracidad de dichos datos.

Otra limitación podría ser no haber acotado el tiempo concreto de recogida de las pruebas funcionales respiratorias preoperatorias con respecto a la fecha de la intervención quirúrgica. Además, se podían haber recogido más datos clínicos de relevancia de los individuos reclutados, como el riesgo ASA.

Respecto al análisis estadístico, queremos aclarar que todos los resultados observados fueron procesados mediante análisis estadísticos no paramétricos por coherencia global del estudio. Por lo que se disminuyó la potencia estadística del trabajo al no utilizar test paramétricos.

En cuanto a los sesgos debidos al diseño inicial del estudio, se han podido un sesgo de autoselección o “sesgo del voluntario”, un sesgo de clasificación incorrecta no diferencial y un sesgo de atrición. El sesgo de autoselección en la muestra reclutada es intrínseco al prototipo de paciente candidato a este tipo de cirugía y tiene una magnitud considerable al empeorar los valores recogidos en el análisis de las variables de Pruebas funcionales respiratorias y Gasometría preoperatoria. El sesgo de clasificación incorrecta no diferencial se ha originado porque la evaluación preanestésica de los individuos reclutados no se ha llevado a cabo en un único centro hospitalario. Como se han reclutado individuos de toda el área geográfica de

referencia del H.U.M.S, estos pasaban la consulta anestésica en el centro sanitario especializado más cercano a su domicilio. Por lo tanto, se han utilizado diferentes aparatos de medida y diferentes profesionales que recogían los datos. Se podía haber evitado unificando la consulta de evaluación preanestésica en el H.U.M.S y así, haber efectuado todas las pruebas complementarias preoperatorias en el mismo marco hospitalario. En razón al sesgo de atrición, solo se han analizado los individuos de los que se recogieron los datos intraoperatorios luego las pérdidas observadas durante el reclutamiento no fueron contabilizadas. Para evitar estos datos ausentes se podían haber efectuado diversas técnicas estadísticas como la imputación múltiple, la observación basal llevada hacia delante o la última observación llevada hacia delante.

## **6.4 INTERPRETACIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS**

Actualmente, el aumento de la esperanza de vida, del acceso a pruebas complementarias que ayudan al diagnóstico precoz y de las indicaciones quirúrgicas torácicas conlleva a un aumento del número de procedimientos quirúrgicos torácicos. A principios del siglo XXI, en España, el número de cirugías torácicas solía oscilar entre 50 y 200 operaciones mayores al año por hospital (103). En nuestro trabajo, se pudieron recoger 129 procedimientos quirúrgicos torácicos.

### **6.4.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA**

El análisis de la variable principal de nuestro registro, la PEEP óptima, ha demostrado que esta no sigue una distribución normal. Este hallazgo significa que existe una variabilidad interindividual de la PEEP óptima por lo tanto constituye un argumento a favor de que la aplicación de una PEEP como estrategia de VMP habría que realizarla de una manera individualizada en cada paciente y en cada intervención quirúrgica. Nuestras observaciones están de acuerdo con las conclusiones de Ferrando et al. en el protocolo del estudio iPROVE y Gutiérrez et al. (34,99). En la literatura publicada hasta la fecha, existen muy pocos artículos que empleen una aplicación individualizada de la PEEP óptima. La mayoría de artículos publicados de esta temática usan un nivel de PEEP estándar, idéntico y generalizado para todos los pacientes como Trela-Stachurska et al. Végh et al. Choi et al. (24,79,80).

Según la base de datos de la The European Society of Thoracic Surgeons (ESTS), los pacientes intervenidos de cirugía torácica tienen una edad aproximada de 62 años, ligeramente inferior a la edad de nuestra muestra que se calculó en 70 años (104).

Respecto a los datos antropométricos, las proporciones contempladas de los individuos reclutados son similares a los valores medios registrados en el Instituto Nacional de Estadística (INE) que estiman el peso medio de la población española en 70,2 kg, 76,8 kg para los varones y 64,1 kg para las mujeres (105). De acuerdo con los datos registrados en el Ministerio de Sanidad, Servicios sociales e Igualdad del Gobierno de España, la prevalencia de obesidad en España se establece en un 16,9%, cifra muy similar a lo observado en nuestra muestra (105).

En relación al score ARISCAT, la mayoría de nuestros pacientes presentaban un riesgo pulmonar alto (>44 puntos) con un riesgo elevado de padecer CPP. Esto es una observación lógica dado que eran individuos en seguimiento por una patología respiratoria aunque en nuestro trabajo no observamos que este score sea un factor pronóstico preoperatorio de la PEEP óptima. A pesar de que encontramos el score ARISCAT elevado, la situación basal respiratoria de nuestra muestra era adecuada ya que más de la mitad de los pacientes no poseían criterios diagnósticos ni de patología respiratoria obstructiva ni restrictiva de acuerdo con la Normativa SEPAR (54,101,106).

Igualmente, las observaciones de las gasometrías arterial preoperatorias se encuentran dentro de la normalidad. Aquí, sólo se recogieron 25 muestras de gasometría arterial de los pacientes reclutados (19,38%) debido a que nuestro trabajo se trataba de un registro, por lo que no hubo ninguna modificación de la práctica clínica habitual que conllevó a que en muchos de los casos recogidos no se considerara necesario solicitar una gasometría arterial preoperatoriamente.

Actualmente, no hay consenso sobre los riesgos y beneficios de la MRA en la literatura. En general, en nuestro trabajo la MRA fue una maniobra segura ya que se consiguieron alcanzar presiones de 40 cmH<sub>2</sub>O en todos los casos y no se registró ninguna complicación respiratoria o cardiovascular como en la mayoría de estudios sobre MRA consultados, como Unzueta et al. (20). En aquellos individuos donde no se pudo completar la MRA, la causa más frecuentemente observada fue el fallo en la oxigenación, en 122 intervenciones (94,57%). Aquí, pudo influir la comorbilidad respiratoria del paciente como patología enfisematosa, la realización incorrecta de la MRA por parte del anestesiólogo o la intolerancia del paciente a la VUP. Únicamente, en 6 casos (4,65%) no se pudo completar por problemas hemodinámicos donde se tuvo que administrar fármacos vasótropos como efedrina o fenilefrina. Este hallazgo concuerda con las observaciones de Garutti et al. y de Gutiérrez et al. que concluyen que la MRA efectiva en cirugía torácica sólo implica un compromiso hemodinámico

transitorio y moderado con una afectación ligera de la precarga cardiaca y la tensión arterial (52,99). En nuestro caso concreto, pudo ser desencadenado por hipovolemia debido a diferentes factores como el sangrado quirúrgico.

De acuerdo con las guías de práctica clínica, los valores normales de referencia para la Crs son 50-100 cmH<sub>2</sub>O (12). Como se refleja en los resultados, en nuestro trabajo se reflejó claramente la mejoría de la Crs después de realizar la MRA y la aplicación de la PEEP óptima. Partimos de una Crs basal precaria (<50mL/cmH<sub>2</sub>O) en la mayoría de los casos (125 pacientes, el 96,90%) Sin embargo, después de realizar la MRA y la aplicación de una PEEP óptima individualizada se observó una importante mejoría de la Crs. Ahora, la mayoría de los pacientes (85 personas, 65,89%) presentaban una Crs dentro de los valores normales ( $\geq$ 50mL/cmH<sub>2</sub>O). La tasa de individuos con una Crs disminuida se observó que descendió hasta el 33,33% (43 personas).

Aquí, se pone de manifiesto la importancia que supone conseguir optimizar la ventilación precaria de esta clase de pacientes durante la VUP. Estas observaciones apoyan la literatura publicada que afirma la importancia de llevar a cabo una MRA junto con la aplicación de una PEEP individualizada, lo que se percibió que optimizó la Crs durante la VUP, de esta clase de pacientes con gran morbilidad respiratoria (24,72,99)

En nuestro trabajo, la mayor parte de las observaciones de la PEEP previas a la MRA estaban comprendidas en valores normales habituales 5-10 cmH<sub>2</sub>O. Wirth et al. observó que valores de PEEP intraoperatoria inferiores a 5 cmH<sub>2</sub>O no son efectivas y no previenen el reclutamiento alveolar (72). Nosotros observamos 5 registros (3,88%) inferiores a 5 cmH<sub>2</sub>O por lo aquí, se empleó un PEEP insuficiente antes de la VUP. 2 procedimientos (1,55%) alcanzaron valores superiores a 10 cmH<sub>2</sub>O. Después de establecer la PEEP óptima de manera individual, la totalidad de los pacientes tenían una PEEP con valores normales comprendidos entre 5-15 cmH<sub>2</sub>O, lo cual refuerza la hipótesis de que una PEEP igual o menor a 5 cmH<sub>2</sub>O es insuficiente (72). Del mismo modo, Ishikawa et al. afirma que probablemente el impacto de la VMP durante la VUP es dependiente directamente de la cantidad de PEEP que se emplee (107). De hecho, nuestros datos del registro de PEEP óptima coinciden con Gúldner et al. quien establece un nivel límite de PEEP de 10 cmH<sub>2</sub>O para prevenir las atelectasias, un valor superior a las antiguas recomendaciones de PEEP que la infraestimaban en 5 cmH<sub>2</sub>O (68). Se observó un aumento neto y una variabilidad aumentada en la variable de la PEEP óptima de 10,00 $\pm$ 2,00, con respecto a la PEEP previa a la MRA de 6,00 $\pm$ 1,00. Esto nos anima en el argumento que tras una MRA y para conservar las ventajas de la

misma tenemos que disponer de una PEEP que suele ser mayor a la previamente registrada y más variable.

Últimamente está resurgiendo la importancia de la DP como factor de riesgo de la LPA y elemento clave para realizar una VMP (13). La DP que se define como la diferencia entre la presión meseta y la PEEP, constituye una medida de control de las presiones aplicadas sobre la vía aérea para prevenir patologías como el barotrauma asociado a la ventilación mecánica (20). En nuestro trabajo, se pone de manifiesto una mejoría de la DP tras la optimización que conseguimos con la realización de la MRA y la aplicación de PEEP óptima. Antes de proceder a la MRA, solo 33 pacientes (51,56%) tenían una DP normal (15 mL/cmH<sub>2</sub>O) en comparación con los 31 restantes (48,44%) que tenían una DP alta que superaba los 15 mL/cmH<sub>2</sub>O recomendados para realizar una VMP (13,64,68). Tras finalizar la MRA e instaurar la PEEP óptima, la DP se había normalizado en la mayoría de los pacientes, 109 personas (89,34%), y sólo se observó una DP elevada en 13 personas (10,66%) (73). Por ello, esta mejoría observada tras la MRA y la administración de una PEEP óptima individual nos permitió disminuir los valores de DP por debajo de los 15 cmH<sub>2</sub>O y así, optimizar la VUP de nuestros pacientes, sin tener que limitar el Vc insuflado.

El modo ventilatorio más corrientemente utilizado en el aparato de anestesia fue la VCV (94,35% de las intervenciones) con respecto a la VCP. Esta elección del modo de ventilación fue arbitraria en función de la práctica habitual de cada anestesiólogo. Aquí, quizás pudieron verse reflejadas las últimas recomendaciones científicas al respecto, como por ejemplo, las de Montes et al. y Unzueta et al. donde observan una no inferioridad de la VCV frente a la VCP durante la VUP (74,78). De hecho, de acuerdo con Sentürk et al. el modo ventilatorio tampoco influye en la DP, factor de riesgo de la LPA (13). Esto contrasta con las recomendaciones establecidas en el pasado, cuando se prefería la VCP frente a la VCV durante la VUP porque mejoraba la oxigenación. Teóricamente, esta estrategia protegía frente a la hipoxemia que es una de las principales complicaciones de la VUP. En general, en este tipo de cirugía, los riesgos y beneficios de cada modo de ventilación mecánica aún no están claramente definidos (74,78).

La mayoría de los anestesiólogos del trabajo aplicaron las MRA después de iniciar la VUP, en 127 intervenciones (98,40%) frente a 2 intervenciones (1,60%). Esto fue debido a que, una vez intubado selectivamente al paciente, se le coloca en decúbito lateral rápidamente y se clampa el pulmón sobre el que se va a realizar la intervención, para el comienzo de la misma. Es entonces cuando se procede a realizar la MRA.

Igualmente, la mayor parte de ellos pudieron completar la MRA, solamente en 6 operaciones (4,65%) no se pudo finalizarla.

#### 6.4.2 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS INFERENCIAL DE LA MUESTRA

El empleo de la PEEP óptima individual de cada paciente en ventilación mecánica es un concepto muy novedoso por lo que no hay mucha literatura científica publicada al respecto. La mayoría de artículos publicados emplean un nivel estándar de PEEP para todos sus pacientes.

Las variables resultado se sometieron a contraste de hipótesis para probar su posible relación con la variable principal PEEP óptima. Para ello, se llevó a cabo los correspondientes análisis de correlación que demostraron que la variable PEEP óptima únicamente manifiesta de manera significativa estar relacionada con el Peso real (kg) y el IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) de forma directamente proporcional e inversamente proporcional, con la  $\text{PaO}_2$ . En nuestra muestra, se observó que conforme mayor peso real (kg) presentaron los pacientes conllevó una aplicación posterior de una mayor PEEP óptima individualizada ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ). Igualmente, por la asociación lógica de las variables Peso real (kg) y el IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), se apreció que cuando el IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) de los pacientes aumentaba también aumentaba la PEEP óptima de correspondiente. Por ejemplo, Wirth et al. (85) no encontró diferencias significativas entre el peso y tres niveles diferentes de PEEP estándar prefijados intraoperatoriamente.

No se encontró ninguna influencia significativa entre el sexo, la altura, el peso ideal o el score ARISCAT y la PEEP óptima. En la bibliografía consultada, tampoco se refleja ningún caso de asociación entre estas variables y la PEEP. Aquí, queremos destacar que la mayoría de estudios no son comparables con el nuestro ya que la PEEP utilizada no es la óptima ni es individualizada.

Hubiera sido interesante observar que el score ARISCAT, un score ya validado y contrastado, hubiera sido un factor pronóstico preoperatorio de la PEEP óptima intraoperatorio. Esto hubiera permitido poder introducirlo en la consulta de evaluación preanestésica como un método sencillo a instaurar durante la entrevista clínica. El ARISCAT depende de variables que también podrían influir en la PEEP óptima, como la edad, la  $\text{SpO}_2$ , la incisión quirúrgica, etc. En principio, sería lógico que un score ARISCAT elevado estuviera relacionado directamente con un estado basal respiratorio peor que implicaría un nivel mayor de PEEP óptima necesario durante la VUP y un peor pronóstico. Nosotros no hemos observado relación entre la edad y la PEEP



óptima pero se necesitarían más estudios para demostrar estas aseveraciones. Si el ARISCAT se hubiera hecho en otro tipo de cirugías sin incisión torácica, probablemente la PEEP óptima sería más baja.

No observamos ningún tipo de relación entre los valores de las pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y la PEEP óptima. Aquí, se podría discutir el perfil subjetivo de las pruebas funcionales respiratorias ya que la espirometría es una prueba muy dependiente tanto del operador como del paciente (106). Sería interesante contrastar nuestras observaciones con nuevos estudios ya que de haber obtenido significación estadística, podríamos introducir estas pruebas en la evaluación preanestésica para titular y pronosticar de forma preoperatoria la PEEP óptima individual.

Hallamos que una  $\text{PaO}_2$  preoperatoria disminuida se relaciona con una PEEP óptima mayor intraoperatoria. Así, una disminución de la  $\text{PaO}_2$  objetivada de manera preoperatoria condicionó un suministro de una PEEP óptima mayor a esos pacientes. Esto quiere decir que los pacientes más hipoxémicos se benefician de una PEEP más elevada debido probablemente a que tienen una superficie pulmonar de intercambio gaseoso reducida. Diferentes autores, como Hartland et al. Pang et al. Whalen et al. o Weingarten et al. concuerdan con esta idea y relacionan directamente las atelectasias con una  $\text{PaO}_2$  disminuida y con la incidencia de CPP (9,108,109). Por lo tanto, este argumento iría en la línea de que el empleo de una PEEP óptima optimizaría el intercambio gaseoso pulmonar, mejorando la oxigenación durante la VUP y disminuyendo las CPP.

Sin embargo, no se halló asociación significativa de la PEEP óptima con el resto de valores de la gasometría arterial preoperatoria el pH, la  $\text{PaCO}_2$  y la  $\text{SaO}_2$ . Aquí, los valores perdidos de estas variables condicionaron no encontrar significación estadística en la variable  $\text{SpO}_2$  cuando esta se relaciona directamente con la  $\text{PaO}_2$  donde sí se encontró. Varios estudios no encontraron diferencias significativas entre la aplicación de PEEP intraoperatoria y la  $\text{PaO}_2$  o la  $\text{SpO}_2$  postoperatorias. No especificaron si la PEEP era un valor estándar o individualizado, Por otro lado, Almarakbi et al encontró un aumento de la  $\text{SpO}_2$  en el grupo con PEEP y Severgnini et al informó de un descenso significativo de la  $\text{SpO}_2$  en el grupo control sin PEEP (9,110).

Aquí, hubiera sido interesante recoger varias gasometrías arteriales perioperatorias antes y después de la MRA para evaluar su influencia en el intercambio pulmonar gaseoso, como realizó Garutti et al. (52).

En relación a los datos intraquirúrgicos, no se advirtió relación entre la PEEP óptima y el lado quirúrgico intervenido. Tras analizar el resto de variables intraquirúrgicas, se observó que la Crs se relaciona de manera directamente proporcional con la PEEP óptima ( $r_s=0,237$ ). En nuestro estudio, tras llevar a cabo la MRA y la identificación de la PEEP óptima individual se consiguió objetivar una mejora significativa de la Crs. Como ya afirmaron Hickling et al. y Suárez-Sipmann et al. disminuciones de la PEEP se relacionan con un descenso de la Crs por lo tanto concuerda con la relación proporcional de la Crs y la PEEP observada en nuestro trabajo después de haber encontrado la PEEP óptima de nuestros pacientes, la cual era superior a la PEEP estándar empleada previamente (102,111). Así, se ve reflejada la optimización ventilatoria llevada a cabo en nuestros pacientes gracias a la aplicación de la PEEP óptima en comparación con el uso generalizado de una PEEP estándar, que estaba claramente infraestimada.

Como demuestra la literatura consultada como Wirth et al. Grant et al. Sentürk et al. Brassard et al. Barbosa et al. Della Rocca et al. Unzueta et al.(5,11,13,20,64,71,85) , la MRA con la aplicación de PEEP optimiza la superficie de intercambio pulmonar y mejora la ventilación y el intercambio gaseoso pulmonares durante la VUP. En nuestro trabajo, observamos que gracias a realizar la MRA y la identificación de la PEEP óptima, se optimizó la PEEP previa de cada paciente, aumentándola significativamente. Inicialmente, la PEEP antes de la MRA se empleó a una mediana de  $6,00\pm 1,00$  y después de la MRA, se pudo aumentar a  $10,00\pm 2,00$  cmH<sub>2</sub>O. Este aumento se puede explicar a ese aumento de superficie pulmonar ventilada y al aumento correspondiente de la Crs.

Antes de la MRA, la Crs muestral que se registró estuvo muy por debajo de la normalidad, definida por 50 cmH<sub>2</sub>O (12). Posteriormente a la MRA y al uso de la PEEP óptima calculada, se consiguió aumentar la Crs a valores prácticamente normales lo que significó a una optimización de la VMP y una disminución de las presiones ventilatorias. El grado de mejoría ventilatoria se evidencia claramente al ver disminuido de un 97,66% de los casos con una Crs baja previa a la MRA hasta un 33,59% después de realizar la MRA y aplicar la PEEP óptima. Sin embargo, Wirth et al. no pudo demostrar estas mismas variaciones de manera significativa (85).

Al inicio de la intervención quirúrgica, previo a la MRA, la DP observada estaba muy cercana al límite de seguridad recomendado de 15 cmH<sub>2</sub>O, como medida de prevención del barotrauma. Tras la MRA, las cifras de DP descendieron muy por debajo de ese nivel de peligro citado anteriormente. En los estudios más recientes, como Serpa Neto et al. se propone a la DP como el objetivo más relevante en el manejo de la VMP (73). Por lo que con este manejo ventilatorio de la MRA y el uso de la PEEP óptima pudimos proteger más adecuadamente la vía aérea de los pacientes intervenidos y disminuir la posible incidencia de CPP.

Por otro lado, Wirth et al. y Unzueta et al. no encontraron que la Crs se modificase después de aumentar la PEEP (20,72). Esta divergencia quizás se puede explicar por la metodología diferente de los trabajos comparados ya que en unos, se contempla un aumento estándar de la PEEP frente al nuestro, que implica una titulación individual de la misma.

El resto de variables intraquirúrgicas no demostraron ninguna asociación significativa con la PEEP óptima.

Una vez interpretados nuestros datos y tras revisar la literatura publicada, queremos destacar que la mayoría de trabajos consultados sobre la VUP y la aplicación de MRA y PEEP analizan únicamente los parámetros ventilatorios y de oxigenación intraoperatorios y postoperatorios y emplean una PEEP estándar. No hemos encontrado ningún tipo de registro publicado de valores de ventilación mecánica y de una PEEP óptima individual (9,15,24,72). Uno de los objetivos de nuestro trabajo, era examinar diversos valores fisiológicos que se pueden recoger en la consulta de evaluación preanestésica, de manera preoperatoria, con el propósito de averiguar posibles factores pronósticos de la PEEP óptima ajustada individualmente para realizar el mejor manejo ventilatorio intraoperatorio posible. Un ejemplo de este tipo de factor pronóstico en cirugía torácica, es el FEV1 que se ha determinado como un factor predictor clave de morbi-mortalidad postoperatoria y como criterio de exclusión quirúrgica (7). Por lo tanto, sería de interés la identificación preoperatoria de factores relacionados con la PEEP sobre los que se pudiese actuar para preparar al paciente para la intervención quirúrgica.

Además, la mayor parte de los trabajos referentes a la PEEP durante la VUP en cirugía torácica presentan un tamaño muestral reducido. Por lo tanto, hay que interpretar con cautela las recomendaciones observadas hasta la fecha.

Así, nuestra posible línea de investigación en el futuro se dirige hacia la identificación de factores condicionantes de la PEEP óptima que pueden ser optimizados de manera preoperatoria para poder afrontar la cirugía torácica con las mejores condiciones ventilatorias. Igualmente, otros propósitos futuros son demostrar el carácter pronóstico de la PEEP óptima en el riesgo de CPP y que su aplicación minimice el riesgo posterior de desarrollo de CPP y averiguar cómo afecta la aplicación de una PEEP óptima al pronóstico postoperatorio en comparación al empleo tradicional de una PEEP estándar generalizada. Esto podría entrañar un cambio de paradigma en el manejo anestésico actual de la VUP en cirugía torácica y concordaría con las últimas corrientes de recomendaciones generales en anestesia que abogan por un abordaje individual de cada paciente.

## 6.5 VALIDEZ EXTERNA

En principio, como hemos discutido anteriormente, la muestra reclutada en nuestro trabajo presentó unas características similares a la población general y el tamaño muestral fue adecuado para el intervalo de confianza predeterminado por lo que la muestra reclutada sería *a priori* representativa de la población general. De todas formas, existe la posibilidad de que los errores aleatorios hallados impidan alcanzar la significación estadística. Este hecho afectaría a la validez externa de nuestro trabajo y a la aplicación de nuestros resultados a la población general.

También, todas aquellas pérdidas de pacientes producidas por no cumplir los criterios de inclusión, han afectado a la validez externa de nuestro trabajo.

## 7 CONCLUSIONES

Para finalizar, en nuestro estudio podemos concluir que:

1. La variable PEEP óptima no sigue una distribución normal en nuestra muestra.
2. Encontramos una relación significativa entre la variable PEEP óptima de manera estadísticamente significativa y de forma directamente proporcional, y las variables Peso real (kg) e IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).
3. Observamos una relación significativa entre la variable PEEP óptima de manera estadísticamente significativa e inversamente proporcional, con la variable  $\text{PaO}_2$  (mmHg).
4. Hallamos que la variable PEEP óptima se correlaciona de manera estadísticamente significativa y directamente proporcional con la variable Mejor Crs ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ).
5. Observamos diferencias significativas entre los niveles de PEEP, de Crs y de DP antes y después de la realización de la MRA.
6. No hallamos una relación significativa entre la variable PEEP óptima y las variables Características basales del paciente: sexo, altura, peso ideal y ARISCAT.
7. No observamos una relación significativa entre la variable PEEP óptima y las variables Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias.
8. No encontramos una relación significativa entre la variable PEEP óptima y las variables pH,  $\text{PaCO}_2$  y  $\text{SaO}_2$ .
9. No hallamos una relación significativa entre la variable PEEP óptima y las variables Tipo de cirugía, Lado quirúrgico, Sitio quirúrgico, Modo ventilatorio, Realización completa de la Maniobra de reclutamiento y Causa de la realización incompleta de la maniobra de reclutamiento.

## **8 AGRADECIMIENTOS**

Este estudio ha sido apoyado, económicamente y en el ámbito de infraestructuras, por el Hospital Universitario Miguel Servet y el Sistema de Salud Aragonés (SALUD).

Agradezco la inestimable ayuda y entrega de mis directores la Dra. Lucía Gallego Ligorit y el Dr. Javier Santabárbara Serrano, a la Unidad de Anestesia Cardiorácica, a todo el servicio de Anestesia y Reanimación del Hospital Universitario Miguel Servet (Zaragoza, España) y a todo el personal sanitario que ha participado en el desarrollo de este estudio.

El autor declara no tener conflicto de intereses.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Tornero Tornero C. Anestesia. Fundamentos y manejo clínico. Editorial médica Panamericana, editor. Madrid; 2015. 1174 p.
2. Le Guen M, Fischler M. Anestesia en cirugía torácica. Encyclopédie Médico Chirurgicale. EMC - Anestesia-Reanimación. 2016;42(2):1–16.
3. Miller RD. Miller's Anesthesia. Miller RD, Eriksson LI, Fleisher LA, Wiener-Kronish JP, Young WL, editors. Elsevier; 2015. 3270 p.
4. John F. Butterworth, David C. Mackey JDW. Morgan&Mikhail's: Clinical anesthesiology. 5th ed. McGrawHill Education, editor. McGrawHill Education; 2013. 1383 p.
5. Brassard CL, Lohser J, Donati F, Bussi eres JS. Step-by-step clinical management of one-lung ventilation: continuing professional development. Can J Anaesth. 2014;61(12):1103–21.
6. Tusman G, B ohm SH, Sipmann FS, Maisch S. Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia. Anesth Analg. 2004;98(6):1604–1609, table of contents.
7. Licker MJ, Widikker I, Robert J, Frey J-G, Spiliopoulos A, Ellenberger C, et al. Operative mortality and respiratory complications after lung resection for cancer: impact of chronic obstructive pulmonary disease and time trends. Ann Thorac Surg. 2006;81(5):1830–7.
8. Martin JB ourgeois, Garbee D, Bonanno L. Effectiveness of positive end-expiratory pressure, decreased fraction of inspired oxygen and vital capacity recruitment maneuver in the prevention of pulmonary atelectasis in patients undergoing general anesthesia: a systematic review. JBI database Syst Rev Implement reports. 2015;13(8):211–49.
9. Hartland BL, Newell TJ, Damico N. Alveolar Recruitment Maneuvers Under General Anesthesia: A Systematic Review of the Literature. Respir Care. 2015;60(4):609–20.

10. Viale J-P, Duperret S, Branche P, Robert M-O, Gazon M. Complicaciones respiratorias postoperatorias. *Encyclopédie Médico Chirurgicale. EMC - Anestesia-Reanimación*. 2008;34(4):1–20.
11. Barbosa F, Castro A, De Sousa-Rodrigues C. Positive end-expiratory pressure ( PEEP ) during anaesthesia for prevention of mortality and postoperative pulmonary complications ( Review ) COMPARISON. *Cochrane Libr*. 2013;3(9):56–67.
12. Unzueta DMC. Ventilación mecánica en anestesia. SCARTD. Barcelona; 2015.
13. Şentürk M, Slinger P, Cohen E. Intraoperative mechanical ventilation strategies for one-lung ventilation. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2015;29(3):357–69.
14. Ferrando C, Mugarra A, Gutierrez A, Carbonell JA, García M, Soro M, et al. Setting individualized positive end-expiratory pressure level with a positive end-expiratory pressure decrement trial after a recruitment maneuver improves oxygenation and lung mechanics during one-lung ventilation. *Anesth Analg*. 2014;118(3):657–65.
15. Losher J. Evidence-based Management of One-Lung Ventilation. *Anesthesiol Clin*. 2008;26(2):241–72.
16. Grichnik K, Shaw A. Update on one-lung ventilation: The use of continuous positive airway pressure ventilation and positive end-expiratory pressure ventilation - Clinical application. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2009;22(1):23–30.
17. Park S-H, Jeon Y-T, Hwang J-W, Do S-H, Kim J-H, Park H-P. A preemptive alveolar recruitment strategy before one-lung ventilation improves arterial oxygenation in patients undergoing thoracic surgery: a prospective randomised study. *Eur J Anaesthesiol*. 2011;28(4):298–302.
18. Cinnella G, Grasso S, Natale C, Sollitto F, Cacciapaglia M, Angiolillo M, et al. Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2008;52(6):766–75.
19. Tusman G, Böhm SH, Melkun F, Staltari D, Quinzio C, Nador C, et al. Alveolar recruitment strategy increases arterial oxygenation during one-lung ventilation. *Ann Thorac Surg*. 2002;73(4):1204–9.



20. Unzueta C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Bhm S, Moral V. Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery: A randomized controlled trial. *Br J Anaesth*. 2012;108(3):517–24.
21. Slutsky A, Ranieri V. Ventilator-Induced Lung Injury. *N Engl J Med*. 2013;369:2126– 36.
22. Lu Q. How to assess positive end-expiratory pressure-induced alveolar recruitment? *Minerva Anesthesiol*. 2013;79(1):83–91.
23. Duke J, Keech B. *Anestesia. Secretos. 5ª*. Elsevier España, editor. Barcelona; 2016. 473 p.
24. Choi YS, Bae MK, Kim SH, Park JE, Kim SY, Oh YJ. Effects of alveolar recruitment and positive end-expiratory pressure on oxygenation during one-lung ventilation in the supine position. *Yonsei Med J*. 2015;56(5):1421–7.
25. Suarez-Sipmann F1, Böhm SH, Tusman G, Pesch T, Thamm O, Reissmann H, Reske A, Magnusson A HG. PV15. Use of dynamic compliance for open lung...an experimental study. - PubMed - NCBI.pdf. *Crit Care Med*. 35(1):214–21.
26. Viale JP. Ventilación artificial. *Encyclopédie Médico Chirurgicale*. Paris, france: Elsevier; 1997. 24 p.
27. Slutsky AS. History of Mechanical Ventilation. From Vesalius to Ventilator-induced Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015;191(10):1106–15.
28. Spaeth J, Ott M, Karzai W, Grimm A, Wirth S, Schumann S, et al. Double-lumen tubes and auto-PEEP during one-lung ventilation. *Br J Anaesth*. 2016;116(1):122–30.
29. Tusman G, Böhm SH, Suarez-Sipmann F, Turchetto E. Alveolar recruitment improves ventilatory efficiency of the lungs during anesthesia. *Can J Anesth*. 2004;51(7):723–7.
30. Tusman G, Böhm SH, Tempra A, Melkun F, García E, Turchetto E, et al. Effects of Recruitment Maneuver on Atelectasis in Anesthetized Children. *Anesthesiology*. 2003;98(1):14–22.
31. Tusman G, Böhm S, Melkun F, Nador C, Staltari D, Rodriguez A. Efectos de la

- maniobra de reclutamiento alveolar y la PEEP sobre la oxigenación arterial en pacientes obesos anestesiados. *Rev española Anestesiología y Reanimación*. 2002;49:177–83.
32. Licker M, Diaper J, Villiger Y, Spiliopoulos A, Licker V, Robert J, et al. Impact of intraoperative lung-protective interventions in patients undergoing lung cancer surgery. *Crit Care*. 2009;13(2):R41.
33. Serpa Neto A, Schultz MJ, Slutsky AS. Current concepts of protective ventilation during general anaesthesia. *Swiss Med Wkly*. 2015;145(November).
34. Ferrando C, Soro M, Canet J, Unzueta MC, Suárez F, Librero J, et al. Rationale and study design for an individualized perioperative open lung ventilatory strategy (iPROVE): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. ???; 2015;16:193.
35. Capel YJ. Complicaciones pulmonares postoperatorias: Factores predictivos y escalas de riesgo. *Med Respir*. 2014;7(1):65–74.
36. Langeron O, Carreira S, le Saché F, Raux M. Postoperative pulmonary complications updating. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2014;33(7–8):480–3.
37. Agostini P, Cieslik H, Rathinam S, Bishay E, Kalkat MS, Rajesh PB, et al. Postoperative pulmonary complications following thoracic surgery: are there any modifiable risk factors? *Thorax*. 2010;65(9):815–8.
38. Canet J, Mazo V. Postoperative pulmonary complications. *Minerva Anestesiología*. 2010;16(2):123–31.
39. Barrios JMV, Montero JR, Luna FS. Evaluación preoperatoria en respiratorio. *Neumosur.net*. :209–17.
40. Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Vallès J, Castillo J, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology*. 2010;113(6):1338–50.
41. Lakshminarasimhachar A, Smetana GW. Preoperative Evaluation. Estimation of Pulmonary Risk. *Anesthesiology Clin*. Elsevier Inc; 2016;34(1):71–88.
42. Ivanov A, Yossef J, Tailon J, Worku BM, Gulkarov I, Tortolani AJ, et al. Do pulmonary function tests improve risk stratification before cardiothoracic

- surgery? *J Thorac Cardiovasc Surg*. Elsevier Inc.; 2016;151(4):1183–1189.e3.
43. Lugg ST, Agostini PJ, Tikka T, Kerr A, Adams K, Bishay E, et al. Long-term impact of developing a postoperative pulmonary complication after lung surgery. *Thorax*. 2016;71(2):171–6.
  44. Sabaté S, Mazo V, Canet J. Predicting postoperative pulmonary complications. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2014;27:201–9.
  45. Fernández-Pérez ER, Sprung J, Afessa B, Warner DO, Vachon CM, Schroeder DR, et al. Intraoperative ventilator settings and acute lung injury after elective surgery: a nested case control study. *Thorax*. 2009;64(2):121–7.
  46. Gómez-sánchez G, Zarazúa-juárez DM, García-moran DEA. Alto riesgo perioperatorio : riesgo respiratorio , ventilación mecánica y complicaciones postoperatorias respiratorias. 2016;39:79–81.
  47. Eichenbaum KD, Neustein SM. Acute lung injury after thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. Elsevier Inc.; 2010;24(4):681–90.
  48. Brueckmann B, Villa-Urbe JL, Bateman BT, Grosse-Sundrup M, Hess DR, Schlett CL, et al. Development and validation of a score for prediction of postoperative respiratory complications. *Anesthesiology*. 2013;118(6):1276–85.
  49. Canet J, Hardman J, Sabaté S, Langeron O, Abreu M, Gallart L, et al. PERISCOPE study: predicting post-operative pulmonary complication in Europe. *Eur J Anaesthesiol*. 2011;28(6):459–61.
  50. Pearse R, Moreno RP, Bauer P, Pelosi P, Metnitz P, Spies C, et al. Mortality after surgery in Europe: A 7 day cohort study. *Lancet*. Elsevier Ltd; 2012;380(9847):1059–65.
  51. Dureuil B. Exploración preoperatoria de la función respiratoria. *Encyclopédie Médico Chirurgicale*. 1998. 10 p.
  52. Garutti I, Martinez G, Cruz P, Piñeiro P, Olmedilla L, de la Gala F. The Impact of Lung Recruitment on Hemodynamics During One-Lung Ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. Elsevier Inc.; 2009;23(4):506–8.
  53. Coppola S, Froio S, Chiumello D. Protective lung ventilation during general anesthesia: is there any evidence. *Crit Care*. 2014;18(2):210.

54. García de Vinuesa Broncano G, García de Vinuesa Calvo G. Exploración funcional respiratoria: aplicación clínica. 2010;16.
55. Puente Maestú L, García de Pedro J. Las pruebas funcionales respiratorias en las decisiones clínicas. Arch Bronconeumol. 2012 May;48(5):161–9.
56. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. Eur Respir J. 2005;26(3):511–22.
57. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. Eur Respir J. 2005;26(2):319–38.
58. Miller MR, Crapo R, Hankinson JL, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, et al. General considerations for lung function testing. Eur Respir J. 2005;26(1):153–61.
59. Graham BL, Brusasco V, Burgos F, Cooper BG, Jensen R, Kendrick A, et al. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. Eur Respir J. 2017;49(1):1600016.
60. Davis MD, Walsh BK, Sittig SE, Restrepo RD. AARC Clinical Practice Guideline: Blood Gas Analysis and Hemoximetry: 2013. Respir Care. 2013;58(10):1694–703.
61. WHO. WHO guidelines on drawing blood : best practices in phlebotomy. World Heal Organ. 2010;1–105.
62. Iglesias M, Martinez E, Badia JR, Macchiarini P. Extrapulmonary Ventilation for Unresponsive Severe Acute Respiratory Distress Syndrome After Pulmonary Resection. Ann Thorac Surg. 2008;85(1):237–44.
63. Hernández A. Situaciones Clínicas en Anestesia y Cuidados Críticos. 1<sup>a</sup>. Editorial médica Panamericana, editor. Madrid; 533 p.
64. Della Rocca G, Coccia C. Ventilatory management of one-lung ventilation. Minerva Anesthesiol. 2011;77(5):534–6.
65. Granell-Gil M, Hortal F, Smaranda A, Cruz P, Olmedilla L, Real M. Spanish survey on anesthetic practice in thoracic surgery (2012-2013). European Anaesthesiology Congress. 2014. p. 52(86).

66. Jaffe R, Samuels S. Anestesia con procedimientos en el quirófano. 3<sup>a</sup>. Marbán, editor. Philadelphia USA; 2006. 1262 p.
67. Gu W-J, Wang F, Liu J-C. Effect of lung-protective ventilation with lower tidal volumes on clinical outcomes among patients undergoing surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *CMAJ*. 2015;187(3):E101-9.
68. Güldner A, Kiss T, Serpa Neto A, Hemmes SNT, Canet J, Spieth PM, et al. Intraoperative Protective Mechanical Ventilation for Prevention of Postoperative Pulmonary Complications. *Anesthesiology*. 2015;123(3):692–713.
69. Serpa Neto A, Hemmes SNT, de Abreu MG, Pelosi P, Schultz MJ, PROVE Network investigators. Protocol for a systematic review and individual patient data meta-analysis of benefit of so-called lung-protective ventilation settings in patients under general anesthesia for surgery. *Syst Rev*. 2014;3(1):2.
70. Schultz MJ, Abreu MG De, Pelosi P. Mechanical ventilation strategies for the surgical patient. *Curr Opin Crit Care*. 2015;21(4):351–7.
71. Grant MC, Yang D, Stone A, Wu CL, Wick EC. A Meta-analysis of Intraoperative Ventilation Strategies to Prevent Pulmonary Complications: Is Low Tidal Volume Alone Sufficient to Protect Healthy Lungs? *Ann Surg*. 2015;263(5):[Epub ahead of print].
72. Wirth S, Baur M, Spaeth J, Guttman J, Schumann S. Intraoperative positive end-expiratory pressure evaluation using the intratidal compliance-volume profile. *Br J Anaesth*. 2015;114(3):483–90.
73. Serpa Neto A, Schultz MJ, Gama de Abreu M. Intraoperative Ventilation Strategies to Prevent Postoperative Pulmonary Complications – Systematic Review, Metaanalysis and Trial Sequential Analysis. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. Elsevier Ltd; 2015;29(3):331–40.
74. Unzueta MC, Casas JI, Moral MV. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for thoracic surgery. *Anesth Analg*. 2007;104(5):1029–33.
75. Feng Y, Wang J, Zhang Y, Wang S. One-Lung Ventilation with Additional Ipsilateral Ventilation of Low Tidal Volume and High Frequency in Lung Lobectomy. *Med Sci Monit*. 2016;22:1589–92.

76. Kim SH, Jung KT, An TH. Effects of tidal volume and PEEP on arterial blood gases and pulmonary mechanics during one-lung ventilation. *J Anesth.* 2012;26(4):568–73.
77. Karzai W, Schwarzkopf K. Hypoxemia during One-lung Ventilation. *Anesthesiology.* 2009;110(6):1402–11.
78. Montes FR, Pardo DF, Charrís H, Tellez LJ, Garzón JC, Osorio C. Comparison of two protective lung ventilatory regimes on oxygenation during one-lung ventilation: a randomized controlled trial. *J Cardiothorac Surg. BioMed Central Ltd;* 2010;5(1):99.
79. Trela-Stachurska K, Nestorowicz A, Kotlińska-Hasiec E, Sawulski S, Dąbrowski W. Effects of unilateral PEEP on biomechanics of both lungs during independent lung ventilation in patients anaesthetised for thoracic surgery. *Anestezjol Intens Ter.* 2015;47(1):1–6.
80. Végh T, Juhász M, Szatmári S, Enyedi A, Sessler DI, Szegedi LL, et al. Effects of different tidal volumes for one-lung ventilation on oxygenation with open chest condition and surgical manipulation: A randomised cross-over trial. *Minerva Anesthesiol.* 2013;79(1):24–32.
81. Qutub H, El-Tahan MR, Mowafi H a, El Ghoneimy YF, Regal M a, Al Saflan A a. Effect of tidal volume on extravascular lung water content during one-lung ventilation for video-assisted thoracoscopic surgery: A randomised, controlled trial. *Eur J Anaesthesiol.* 2014;966(56):1–8.
82. Dong C, Yu J, Liu Q, Wu C, Lu Y. Application of CO2 waveform in the alveolar recruitment maneuvers of hypoxemic patients during one-lung ventilation. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(24):e3900.
83. Kashyap L. Comparison of the effect pressure-controlled ventilation with volume controlled ventilation during one-lung ventilation. *Anaesthesia and Intensive Care.* 2012. p. 40:5 (882).
84. Cruz Pardos P, Garutti I, Piñeiro P, Olmedilla L, de la Gala F. Effects of Ventilatory Mode During One-Lung Ventilation on Intraoperative and Postoperative Arterial Oxygenation in Thoracic Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth. Elsevier Inc.;* 2009;23(6):770–4.

85. Wirth S, Kreysing M, Spaeth J, Schumann S. Intraoperative compliance profiles and regional lung ventilation improve with increasing positive end-expiratory pressure. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2016;60(9):1241–50.
86. Nsp M, Mp M, Ma M, Volpato E, V MA, P NJ. Intravenous versus inhalation anaesthesia for one-lung ventilation ( Review ) SUMMARY OF FINDINGS FOR THE MAIN COMPARISON. 2013;(7).
87. Von Elm E, Altman G. D, Egger M, Pocock J. S, Gotsche C. P VPJ. Declaración de la Iniciativa STROBE ( Strengthening the para la comunicación de estudios observacionales. *Gac Sanit.* 2008;22(2):144–50.
88. Hospital Universitario Miguel Servet. Catalogo de revistas [Internet]. Biblioteca virtual. 2017 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://ar-bvhums.c17.net/index.php/opac/opac/action/default/>
89. IACS. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. Biblioteca virtual | IACS [Internet]. Biblioteca virtual. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.iacs.es/servicios/biblioteca-virtual/>
90. Salas-Salvado J, Rubio MA, Barbany M, Moreno B. Consenso SEEDO 2007 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica. *Rev Española Obes.* 2007;5(3):135–75.
91. Kupeli E, Dedekarginoglu BE, Ulubay G, Eyuboglu FO, Haberal M. American Society of Anesthesiologists Classification Versus ARISCAT Risk Index : Predicting Pulmonary Complications Following Renal Transplant. 2017;208–13.
92. Hospital General Universitario Gregorio Marañón. Protocolo de Punción arterial para extracción de sangre. Madrid; 2011. Report No.: PD-GEN-75.
93. Santabárbara Serrano J. Cálculo del tamaño de la muestra en estudios biométricos : (ejercicios resueltos con Epidat 4.1). Prensas de la Universidad de Zaragoza; 2015.
94. Gerstman B. Basic biostatistics: Statistics for public health practice. 2th ed. Sudbury: Jones and Bartlett; 2015. 274 p.
95. Martinez Gonzalez M, Sanchez-Villegas A, Toledo Atucha E, Faulin J. Bioestadística amigable. 3<sup>a</sup>. Barcelona: Elsevier; 2014. 358 p.

96. Shelley B, Macfie A, Kinsella J. Anesthesia for Thoracic Surgery: A Survey of UK Practice. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2011 Dec;25(6):1014–7.
97. Della Rocca G, Langiano N, Baroselli A, Granzotti S, Pravisani C. Survey of Thoracic Anesthetic Practice in Italy. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2013 Dec;27(6):1321–9.
98. Eldawlatly A, Turkistani A, Shelley B, El-Tahan M, Macfie A, Kinsella J, et al. Anesthesia for thoracic surgery: a survey of middle eastern practice. *Saudi J Anaesth*. Medknow Publications; 2012 Jul;6(3):192–6.
99. Gutierrez A, Ferrando C, Carbonell JA, Henao L, Soro M, Belda FJ. Alveolar recruitment and optimal level of PEEP improves oxygenation OLV. *Eur J Anaesthesiol*. 2013;30 SUPPL.(51(87)).
100. Dean A, Sullivan K, Soe M. OpenEpi: Open Source. *Epidemiologic Statistics for Public Health* [Internet]. OpenEpi. 2013 [cited 2017 May 26]. Available from: [www.OpenEpi.com](http://www.OpenEpi.com)
101. SEPAR. *Manual de Procedimientos SEPAR*. 3th ed. SEPAR, editor. Madrid: Elsevier; 2013. 372 p.
102. Suarez-Sipmann F, Böhm SH, Tusman G, Pesch T, Thamm O, Reissmann H, et al. Use of dynamic compliance for open lung positive end-expiratory pressure titration in an experimental study. *Crit Care Med*. 2007;35(1):214–21.
103. Varela G, Molins L, Astudillo J, Borro JM, Canal's E, Freixinet J, et al. Pilot benchmarking study of thoracic surgery in Spain: Comparison of cases of lung resection and indicators of quality | Experiencia piloto de benchmarking en cirugía torácica: Comparación de la casuística e indicadores de calidad en resección pulmonar. *Arch Bronconeumol*. 2006;42(6):267–72.
104. Brunelli A, Berrisford RG, Rocco G, Varela G. The European Thoracic Database project: composite performance score to measure quality of care after major lung resection. *Eur J Cardio-thoracic Surg*. 2009;35(5):769–74.
105. La F de A para, Pública D de la S. *La salud y el sistema sanitario en las comunidades autónomas. Datos y cifras España*. 2016;2–11.
106. García-río F, Calle M, Burgos F, Casan P, Galdiz JB, Giner J, et al.



- Espirometría. Arch Bronconeumol. 2013;49(9):388–401.
107. Ishikawa S, Lohser J. One-lung ventilation and arterial oxygenation. Curr Opin Anaesthesiol. 2011;24(1):24–31.
108. Whalen FX, Gajic O, Thompson GB, Kendrick ML, Que FL, Williams BA, et al. The Effects of the Alveolar Recruitment Maneuver and Positive End-Expiratory Pressure on Arterial Oxygenation During Laparoscopic Bariatric Surgery. Anesth Analg. 2006 Jan;102(1):298–305.
109. Weingarten TN, Whalen FX, Warner DO, Gajic O, Schears GJ, Snyder MR, et al. Comparison of two ventilatory strategies in elderly patients undergoing major abdominal surgery. Br J Anaesth. 2010 Jan 1;104(1):16–22.
110. Almarakbi WA, Fawzi HM, Alhashemi JA. Effects of four intraoperative ventilatory strategies on respiratory compliance and gas exchange during laparoscopic gastric banding in obese patients. Br J Anaesth. Oxford University Press; 2009 Jun 1;102(6):862–8.
111. Hickling K. Best Compliance during a Decremental, But Not Incremental, Positive End-Expiratory Pressure Trial Is Related to Open-Lung Positive End-Expiratory Pressure. Am J Respir Crit Care Med. American Thoracic Society New York, NY; 2001 Jan;163(1):69–78.

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Resumen del Cronograma del estudio: fechas relevantes y personal responsable de cada etapa.....	46
Tabla 2. Score ARISCAT .....	48
Tabla 3. Análisis descriptivo de la variable principal: PEEP óptima.....	57
Tabla 4. Características basales de la muestra reclutada. ....	58
Tabla 5. Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias.....	60
Tabla 6. Gasometrías arteriales preoperatorias. ....	63
Tabla 7. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Lado quirúrgico. ....	63
Tabla 8. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Variables cuantitativas. ....	64
Tabla 9. Datos intraoperatorios del procedimiento quirúrgico y anestésico y de la ventilación mecánica: Variables categóricas.....	66
Tabla 10. Análisis de correlación de las variables Características basales y PEEP óptima.....	67
Tabla 11. Análisis descriptivo de las variables sexo y PEEP óptima. ....	69
Tabla 12. Contraste de hipótesis: comparación del nivel de PEEP óptima según el sexo del paciente.....	70
Tabla 13. Análisis de correlación de las variables Pruebas funcionales respiratorias preoperatorias y PEEP óptima.....	71
Tabla 14. Análisis de correlación de las variables gasometría arterial preoperatoria y PEEP óptima. ....	72
Tabla 15. Análisis descriptivo de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima. ....	73

Tabla 16. Contraste de hipótesis de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima: test U de Mann-Whitney.....	74
Tabla 17. Diferencias significativas en las variables Crs, PEEP óptima y DP tras la MRA y la aplicación de PEEP: Test de Wilcoxon. ....	75
Tabla 18. Análisis de correlación de las variables intraquirúrgicas y PEEP óptima. ....	78
Tabla 19. Contraste de hipótesis entre las variables cualitativas intraquirúrgicas y PEEP óptima: test no paramétrico U de Mann-Whitney. ....	79
Tabla 20. Contraste de hipótesis entre las variables cualitativas intraquirúrgicas y PEEP óptima: test no paramétrico Krustal-Wallis.....	80
Figura 1. Gráficos cuantil-cuantil de normalidad de la variable principal PEEP óptima. ....	57
Figura 2. Histograma de la variable principal PEEP óptima. ....	58
Figura 3. Diagrama de cajas de Tukey de la variable principal PEEP óptima.....	58
Figura 4. Distribución de la frecuencia muestral de la variable Edad (años). ....	59
Figura 5. Distribución muestral de la variable Sexo: hombres y mujeres.....	59
Figura 6. Distribución muestral de la variable IMC (kg/m <sup>2</sup> ).....	60
Figura 7. Distribución muestral de la variable ARISCAT .....	60
Figura 8. Distribución de patología pulmonar obstructiva preoperatoria según la variable FEV1 (%). ....	62
Figura 9. Distribución de los resultados de la prueba capacidad de difusión pulmonar según la variable DLCO (%). ....	62
Figura 10. Evolución de la Compliancia pulmonar (Crs) antes y después de la maniobra de reclutamiento alveolar (MRA) y la aplicación de PEEP óptima. ....	65
Figura 11. Evolución de la Driving pressure (DP) antes y después de la maniobra de reclutamiento alveolar (MRA) y la aplicación de PEEP óptima individualizada.....	65

Figura 12. Diagrama de dispersión de las variables Peso real (kg) y PEEP óptima. ....	68
Figura 13. Diagrama de dispersión de las variables IMC (kg/m <sup>2</sup> ) y PEEP óptima. ....	69
Figura 14. Diagrama de cajas de Tukey del contraste de hipótesis de las variables sexo y PEEP óptima. ....	70
Figura 15. Diagrama de dispersión de las variables PaO <sub>2</sub> (mmHg) y PEEP óptima. ....	73
Figura 16. Diagrama de cajas de Tukey del contraste de hipótesis de las variables lado quirúrgico y PEEP óptima. ....	74
Figura 17. Evolución de la Presión positiva al final de la espiración (PEEP) antes y después de la Maniobra de reclutamiento alveolar. ....	76
Figura 18. Evolución de la Compliance pulmonar antes y después de la Maniobra de reclutamiento alveolar. ....	77
Figura 19. Evolución de la Driving pressure antes y después de la Maniobra de reclutamiento alveolar. ....	77

