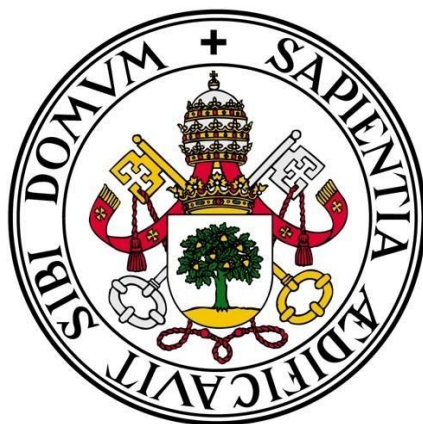




UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

**Estudio y desarrollo de un modelo explicativo en
pacientes críticos sometidos a ventilación mecánica**

Autor:

D. Sergio Heredero González

Tutores:

D. Luis Mariano Tamayo Lomas

D. Enric Samper Sosa

Valladolid, septiembre de
2024

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores Luis Mariano Tamayo Lomas y Enric Samper Sosa por haberme guiado a lo largo de este proyecto, aconsejándome y motivándome para lograr sacarlo adelante. También me gustaría remarcar la gran ayuda prestada por el Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valladolid, ya que todo lo aprendido a su lado ha sido y será de gran valor durante el resto de años.

También me gustaría dar las gracias a todos los clínicos que pertenecen al servicio de cuidados intensivos del Hospital Universitario Río Hortega, me he sentido muy cómodo con ellos y la cantidad de información y conocimiento que han compartido conmigo ha sido de especial interés para mí.

Agradecer al grupo de trabajo de Philips por haberme acogido de esta forma y darme la oportunidad de pertenecer a este gran grupo de profesionales, de los cuales tengo mucho que aprender para seguir mejorando en el mundo laboral.

A mi familia, que han sido el pilar fundamental durante todos estos duros y satisfactorios años de trabajo, en especial a mi padre por inculcarme grandes valores como la capacidad de sacrificio para lograr cualquier objetivo. No me puedo olvidar de mi hermana, esa persona que siempre está ahí, dispuesta a ayudar y con una sonrisa en la cara.

A mis amigos y compañeros de la carrera, con ellos he compartido algunos de los momentos más felices, no solo en el ámbito académico, si no en la vida personal. En especial a Sofía por haber sido otro de los grandes pilares durante estos años.

Por último, a mis amigos de la residencia Río Esgueva, que han sido mi familia día tras día, en la residencia, en la biblioteca, en general en todos los momentos. Nos hemos apoyado unos a otros y juntos hemos conseguido seguir adelante.

Seguro se me quedan muchas personas y aspectos en el tintero, pero solo me queda daros las gracias, espero poderlos recompensar alguna vez por todo lo que me habéis dado.

Gracias por todo,

Sergio

TÍTULO: **Estudio y desarrollo de un modelo explicativo en pacientes críticos sometidos a ventilación mecánica**

AUTOR/A: **D. Sergio Heredero González**

TUTOR/A: **D. Luis Mariano Tamayo Lomas
D. Enric Samper Sosa**

DEPARTAMENTO: **Medicina, Dermatología y Toxicología**

TRIBUNAL

PRESIDENTE: **D. Jesús Poza Crespo**

SECRETARIO: **D. Carlos Gómez Peña**

VOCAL: **D. Luis Mariano Tamayo Lomas**

SUPLENTE 1: **D. Roberto Hornero Sánchez**

SUPLENTE 2: **D^a. María García Gadañón**

FECHA: **septiembre de 2024**

CALIFICACIÓN:

Resumen

La ventilación mecánica (VM) es un soporte vital fundamental en el tratamiento de los pacientes críticos. Su función principal es asegurar una correcta oxigenación y ventilación en aquellos pacientes que no pueden mantenerla de manera autónoma. A pesar de su utilidad, un manejo inadecuado de la VM puede ocasionar complicaciones, lo que puede impactar negativamente en la recuperación del paciente y aumentar el riesgo de mortalidad. Por ello, es crucial evaluar la calidad de la VM administrada, buscando siempre un equilibrio entre la necesidad de asistencia respiratoria y la minimización de riesgos. El presente trabajo trata de analizar si se llevó a cabo una VM de calidad a los pacientes que han estado ingresados en los últimos 12 años en la unidad de cuidados intensivos (UCI) del Hospital Universitario Río Hortega (HURH). Para ello se analizaron los datos de la historia clínica electrónica *IntelliSpace Critical Care and Anesthesia* (ICCA) de manera retrospectiva de aquellos pacientes que habían requerido VM más de 48 horas a partir del año 2012. Existe un gran número de variables que pueden influir tanto en la calidad de la VM como en la mortalidad que esta lleva asociada. Por este motivo, en primera instancia, se llevó a cabo un estudio global que permitió ver la importancia y las asociaciones existentes de las variables tanto ventilatorias como clínicas generales. Tras la realización de una primera exploración, el estudio se centró en analizar la calidad de la VM a través de tres variables de especial interés: presión meseta (PM), *driving pressure* (DP) y volumen tidal ajustado por peso ideal (VT/peso ideal). Estas variables han sido identificadas como críticas para evaluar la eficacia y seguridad de la ventilación, ya que su control está estrechamente relacionado con la protección pulmonar y la reducción de complicaciones ventilatorias. Además de examinar la relación directa entre estas variables y la calidad de la VM, el estudio también explora cómo dichas variables se vinculan con otros factores relevantes, como el diagnóstico del paciente y el estado de alta. Estos factores no solo reflejan el estado clínico final del paciente, sino que también permiten establecer conexiones entre el manejo de la VM y la mortalidad observada, destacando posibles diferencias en los patrones ventilatorios en función del diagnóstico o desenlace clínico. Los resultados revelan que los episodios con valores elevados de PM y DP están claramente asociados con una mayor mortalidad, particularmente en aquellos pacientes cuyo fallecimiento se produce en la UCI del hospital. Aunque la relación entre el VT/peso ideal y la mortalidad es menos evidente, las diferencias significativas que se aprecian entre los grupos sugieren que no alcanzar los estándares establecidos de esta variable también puede influir en el desenlace clínico. Además, los pacientes con diagnósticos diferentes presentan patrones distintos en cuanto a la calidad de la VM, mostrando una mayor adherencia a los valores recomendados aquellos que no cuentan con diagnósticos de tipo ventilatorio. Por otro lado, los pacientes con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) tienen un peor desenlace. En conclusión, este estudio destaca la importancia de un manejo exhaustivo y preciso de las variables ventilatorias para mejorar la calidad de la VM y reducir la mortalidad en pacientes críticos. Los resultados también sugieren que tanto la calidad de la VM como la mortalidad están relacionadas con las tres categorías diagnósticas en las que se han dividido al conjunto de todos los pacientes del estudio.

Palabras clave

Ventilación mecánica, paciente crítico, unidad de cuidados intensivos, ventilación protectora, mortalidad

Abstract

Mechanical ventilation (MV) is a vital support in the treatment of critically ill patients. Its main function is to ensure proper oxygenation and ventilation for patients who cannot maintain them on their own. Despite its usefulness, poor management of MV can lead to complications, which may negatively affect patient recovery and increase the risk of death. Therefore, it is crucial to evaluate the quality of the MV provided, always aiming to balance the need for respiratory support and minimizing risks. This study aims to analyze if high-quality MV was provided to patients admitted to the Intensive Care Unit (ICU) of the Río Hortega University Hospital (HURH) over the past 12 years. To do this, data from the electronic medical record (ICCA) of patients who required MV for more than 48 hours since 2012 were analyzed retrospectively. There are many variables that can influence both the quality of MV and the mortality associated with it. For this reason, a global study was first conducted to understand the importance and relationships between ventilatory and general clinical variables. After an initial exploration, the study focused on analyzing the quality of MV using three key variables: plateau pressure (PP), driving pressure (DP), and tidal volume adjusted for ideal body weight (VT/ideal weight). These variables have been identified as critical for evaluating the effectiveness and safety of ventilation, as their control is closely related to lung protection and reducing ventilatory complications. In addition to examining the direct relationship between these variables and MV quality, the study also explores how they relate to other important factors, such as the patient's diagnosis and discharge status. These factors not only reflect the patient's final clinical condition but also allow for connections to be made between MV management and mortality, highlighting possible differences in ventilation patterns based on diagnosis or clinical outcome. The results show that episodes with high PP and DP values are clearly associated with higher mortality, particularly in patients who die in the ICU. Although the relationship between VT/ideal weight and mortality is less clear, significant differences between groups suggest that not meeting the established standards for this variable may also influence clinical outcomes. Additionally, patients with different diagnoses show varying patterns in MV quality, with better adherence to recommended values seen in patients without ventilatory diagnoses. On the other hand, patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) have worse outcomes. In conclusion, this study highlights the importance of thorough and precise management of ventilatory variables to improve MV quality and reduce mortality in critically ill patients. The results also suggest that both the quality of MV and mortality are related to the three diagnostic categories into which all the patients in the study were divided.

Keywords

Mechanical ventilation, critically ill patient, intensive care unit, protective ventilation, mortality.

Índice general

Capítulo 1.	Introducción	1
1.1	Ventilación mecánica	1
1.2	Hipótesis del TFG	1
1.3	Objetivos del TFG	2
1.4	Estructura del documento	2
Capítulo 2.	Ventilación mecánica	5
2.1	Concepto de ventilación mecánica	5
2.2	Reseña histórica.....	5
2.3	Bases y tipos de la ventilación mecánica	6
2.3.1	Bases de la ventilación mecánica.....	6
2.3.2	Tipos de ventilación mecánica.....	8
2.4	Ventilación mecánica y el paciente crítico.....	10
2.5	Inteligencia artificial y ventilación mecánica.....	11
Capítulo 3.	Materiales y métodos.....	15
3.1	Introducción.....	15
3.2	Diseño del trabajo.....	15
3.3	Características de la base de datos	16
3.4	Métodos de procesado de datos.....	18
3.5	Métodos de análisis	19
Capítulo 4.	Resultados	22
4.1	Introducción.....	22
4.2	Redes de asociación.....	22
4.3	Análisis individual PM.....	24
4.3.1	Análisis base PM	24
4.3.2	Análisis de la PM en función del estado de alta	26
4.3.3	Análisis del valor medio de la PM por episodio en función del estado de alta.....	27
4.3.4	Análisis del valor medio de la PM por episodio en función del estado de alta UCI.....	29

4.3.5	Análisis del valor medio de la PM por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico.....	30
4.4	Análisis individual de la DP	33
4.4.1	Análisis base DP	33
4.4.2	Análisis de la PM en función del estado de alta	35
4.4.3	Análisis del valor medio de la DP por episodio en función del estado de alta	36
4.4.4	Análisis del valor medio de la DP por episodio en función del estado de alta UCI	38
4.4.5	Análisis del valor medio de la DP por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico.....	39
4.5	Análisis individual del VT/peso ideal	42
4.5.1	Análisis base VT/peso ideal.....	42
4.5.2	Análisis del VT/peso ideal en función del estado de alta	44
4.5.3	Análisis del valor medio del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta..	45
4.5.4	Análisis del valor medio de la VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta UCI	47
4.5.5	Análisis del valor medio del VT/peso ideal por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico.....	48
4.6	Análisis comparativo PM, DP, VT.....	54
4.7	Análisis de la relación entre FIO ₂ y PEEP con diagnóstico SDRA.....	56
Capítulo 5.	Discusión.....	58
5.1	Discusión.....	58
5.1.1	Diferencias entre variables en función del estado al alta	58
5.1.2	Análisis de las variables PM, DP y VT/peso ideal en función del diagnóstico y el estado al alta.....	59
5.2	Limitaciones y aspectos de mejora.....	61
Capítulo 6.	Conclusiones y líneas futuras	63
6.1	Cumplimiento de los objetivos propuestos	63
6.2	Líneas futuras	63
6.3	Conclusiones y aportaciones	64

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del diseño del trabajo y los pasos seguidos	15
Figura 2. Red de asociación representando en los nodos las distintas variables de estudio y sus relaciones con cada una de las demás variables.....	23
Figura 3. Violin plot general de la distribución de la PM en cmH ₂ O representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado	24
Figura 4. Violin plot general de la distribución del valor medio de la PM en cmH ₂ O por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado. 25	
Figura 5. Violin plot de la distribución de la PM en cmH ₂ O representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	27
Figura 6. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado. 28	
Figura 7. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	29
Figura 8. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	31
Figura 9. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstrutivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	31
Figura 10. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	32
Figura 11. Violin plot general de la distribución de la DP en cmH ₂ O representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado	33

Figura 12. Violin plot general de la distribución del valor medio de la PM en cmH ₂ O por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado.	34
Figura 13. Violin plot de la distribución de la DP en cmH ₂ O representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	36
Figura 14. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	37
Figura 15. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	38
Figura 16. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	40
Figura 17. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstructivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	41
Figura 18. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	41
Figura 19. Violin plot general de la distribución del VT/peso ideal en ml/kg representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado.....	42
Figura 20. Violin plot general de la distribución del valor medio del VT/peso ideal en ml/kg por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado	
Figura 21. Violin plot de la distribución del VT/peso ideal en kg/ml representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.....	45

Figura 22. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	46
Figura 23. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	47
Figura 24. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	49
Figura 25. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstructivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	50
Figura 26. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.	50
Figura 27. Scatter plot del valor medio de cada paciente para la PM, DP y VT/peso ideal en función el estado al alta. Acompañado de un cubo que delimita los máximos recomendados para cada una de las variables.	55
Figura 28. Scatter plot que muestra la relación entre la FiO2 y la PEEP teniendo en cuenta el estado al alta en UCI.	56

Índice de tablas

Tabla 1. Caracterización de las variables de la base de datos mediante parámetros de interés..	17
Tabla 2. Recuento total de episodios y recuento de episodios por estado al alta.....	17
Tabla 3. Recuento total de episodios por estado al alta y diagnóstico.....	18
Tabla 4. Recuento total de episodios por estado al alta en UCI.....	18
Tabla 5. Porcentaje de datos totales con valor inferior al máximo recomendado para las variables PM, DP y VT.....	51
Tabla 6. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado para las variables PM, DP y VT.....	51
Tabla 7. Porcentaje de datos totales con valor inferior al máximo recomendado por estado de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT.	51
Tabla 8. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los 4 estados de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta todos los datos.....	51
Tabla 9. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por estado de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT.....	51
Tabla 10. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los 4 estados de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por estado de alta ‘Vivos en UCI’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT.	52
Tabla 12. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los estados de alta ‘Vivos en UCI’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio.....	52
Tabla 13. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por diagnóstico ‘SDRA’, ‘Obstrutivo’ y ‘Resto diagnósticos’, y por estado de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT.....	52

Tabla 14. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre diagnósticos ‘SDRA’, ‘Obstructivo’ y ‘Resto diagnósticos’, en función del estado de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio53

Tabla 15. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre estados de alta ‘Vivo-Vivo’, ‘Vivo-Exitus’, ‘Vivo-Continúa ingresado a los 30 días’ y ‘Exitus UCI’ en función de los diagnósticos ‘SDRA’, ‘Obstructivo’ y ‘Resto diagnósticos’ para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio53

Tabla 16. Porcentaje de episodios que cumplen los distintos máximos recomendados para las variables PM, DP y VT/peso ideal de forma individual, así como sus combinaciones.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Ventilación mecánica

La ventilación mecánica (VM) es una práctica habitual en nuestros días ya que un alto porcentaje de pacientes críticos terminan necesiéndola en el tiempo que transcurren en la UCI. Según diferentes estudios entre el 20% y el 40% de los pacientes ingresados en una UCI necesitarán este tipo de ventilación (Rubulotta et al., 2024). Esta técnica pretende ayudar o reemplazar la respiración espontánea en pacientes que no pueden respirar de forma adecuada por si solos.

Existen dos grandes tipos: ventilación mecánica invasiva (VMI) y ventilación mecánica no invasiva (VMNI). La invasiva consiste en insertar un tubo en las vías respiratorias, ya sea por intubación endotraqueal o mediante traqueotomía; es usada sobre todo en pacientes que requieran una administración de oxígeno prolongada en el tiempo. Por otro lado, la VMNI administra el oxígeno mediante mascarillas faciales, mascarillas nasales o dispositivos que no requieran la inserción de un tubo en la vía aérea. Es importante elegir el método adecuado en función del estado clínico del paciente (Tobin, 2013).

Uno de los aspectos más importantes de la VM consiste en lograr mantener al paciente crítico con la mayor estabilidad posible tratando de crear el mínimo daño posible. Hay ciertos parámetros que van a servirnos para visualizar si el paciente está teniendo una ventilación satisfactoria. Por ello, siempre se lleva a cabo la monitorización de los mismos, teniendo en todo momento el control de la situación para evitar riesgos innecesarios (Cairo, 2016).

1.2 Hipótesis del TFG

Existen evidencias según distintos estudios que una VM de calidad influye en el desenlace de los pacientes. Conseguir una ventilación protectora para no inducir complicaciones es de gran importancia a la hora de velar por la seguridad del paciente (Coleman et al., 2021). Por ello, la hipótesis de este TFG es que existe una relación entre realizar una VM de calidad y el desenlace final en pacientes que han requerido VMI en el servicio de UCI del HURH.

1.3 Objetivos del TFG

El objetivo principal del trabajo consiste en la utilización de técnicas descriptivas para analizar y explicar la calidad de la VM en los pacientes críticos del servicio de UCI del HURH y su asociación con la mortalidad. En cuanto a los objetivos específicos del estudio, son los siguientes:

- **Objetivo I:** revisar la bibliografía relacionada con la VM.
- **Objetivo II:** estudiar las relaciones existentes entre todas las variables que se tendrán en cuenta en el estudio.
- **Objetivo III:** analizar por variables ventilatorias la calidad de la VM y su mortalidad asociada.
- **Objetivo IV:** analizar por grupos diagnósticos la calidad de VM y su mortalidad asociada en función de distintas variables.
- **Objetivo V:** utilizar técnicas de curado y procesado de datos para realizar el posterior análisis y obtención de resultados.

1.4 Estructura del documento

Este apartado define la estructura del TFG que cuenta con siete capítulos. A continuación, se enumeran y se resume brevemente en qué consiste cada uno de ellos.

- **Capítulo 1: Introducción.** Se introduce el tema general del trabajo explicando la VM. Además, cuenta con la hipótesis, los objetivos y la estructura del documento.
- **Capítulo 2: Ventilación mecánica.** Se aborda el concepto general de VM seguido de una breve reseña histórica. Se continúa con las bases y tipos de VM, por último, se relaciona con el paciente crítico y la IA.
- **Capítulo 3: Materiales y métodos.** Se lleva a cabo una introducción seguida del diseño del trabajo. A continuación, se caracteriza la base de datos y se presentan los métodos de procesado y análisis de datos.
- **Capítulo 4: Resultados.** Se realiza una pequeña introducción seguida de los resultados. En ellos se incluyen redes de asociación, el estudio general de los distintos grupos que se analizarán y el análisis de las distintas variables de interés tanto de forma individual como comparativa.
- **Capítulo 5: Discusión.** Se incluye la discusión de los resultados seguida de las limitaciones y los aspectos de mejora.

- **Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras.** Se analiza el cumplimiento de los objetivos propuestos, seguido de las líneas futuras y por último las conclusiones y aportaciones.

Capítulo 2. Ventilación mecánica

2.1 Concepto de ventilación mecánica

La VM consiste en un método de asistencia respiratoria en el que un ventilador mecánico ayuda a introducir y expulsar aire en las vías respiratorias para conseguir una correcta ventilación. Hay numerosas ocasiones en las que puede ser de gran utilidad, sobre todo en situaciones críticas como por ejemplo pacientes con insuficiencia respiratoria, durante cirugías o durante anestesia general (Tobin, 2013). El ventilador puede suministrar una mezcla de aire en concentraciones específicas, además, se pueden controlar parámetros como la frecuencia respiratoria, el volumen de aire y la presión que se ejerce en función de las necesidades del paciente (Tobin, 2013). Esta técnica pretende ayudar o reemplazar la respiración espontánea en pacientes que no pueden respirar de forma adecuada por si solos. Existen dos grandes tipos: VMI y VMNI. La VMI consiste en insertar un tubo en las vías respiratorias, ya sea por intubación endotraqueal o mediante traqueotomía. Es usada sobre todo en pacientes que requieran una administración de oxígeno prolongada en el tiempo. Por otro lado, la VMNI administra el oxígeno mediante mascarillas faciales, mascarillas nasales o dispositivos que no requieren la inserción de un tubo en la vía aérea. Es importante elegir el método adecuado en función del estado clínico del paciente (Tobin, 2013).

2.2 Reseña histórica

La VM ha conseguido salvar innumerables vidas a lo largo de la historia y ha ido sufriendo grandes avances desde sus inicios hasta ahora. Esta práctica comenzó en el siglo XVI cuando Andrea Vesalius describió la insuflación de aire en los pulmones de animales a través de una caña. Pasado un tiempo en el siglo XVIII, John Hunter dio un gran salto en el avance de esta técnica mediante la utilización de un fuelle para ventilar a pacientes que estaban sufriendo asfixia (Rubulotta et al., 2024). Ya iniciado el siglo XX, Philip Drinker y Louis Agassiz desarrollaron en 1928 el ‘pulmón de acero’ que consistía en una máquina de gran tamaño basada en la creación de presión negativa alrededor del paciente, excluyendo la cabeza que se encuentra fuera de ella. A pesar de su gran tamaño y su complicado uso, el dispositivo fue de vital importancia particularmente en pacientes con parálisis respiratoria. El punto de inflexión se produjo en el año 1952 cuando Bjørn Ibsen implementó la ventilación mecánica manual durante el brote de polio en Copenhague. Este hecho fue de gran importancia ya que la mortalidad se redujo drásticamente gracias al desarrollo de ventiladores de presión positiva que introducen el aire dentro de los pulmones. Gracias a la creación de Ibsen se consiguió una mejora en el control y la eficiencia en la respiración del paciente; adaptándose de esta forma a sus necesidades (Rubulotta et al., 2024)Haga clic o pulse aquí para escribir texto..

Desde entonces, la tecnología de VM ha progresado enormemente. Los ventiladores modernos son dispositivos altamente sofisticados que permiten un control detallado de parámetros como la presión, el volumen y la frecuencia respiratoria. Además, están equipados

con diversos modos que pueden ajustarse a las condiciones específicas de cada paciente, desde aquellos con enfermedades pulmón.

Aunque mucho más reciente, otro hecho que nos sirve para darnos cuenta de la importancia de la VM ha sido la pandemia de COVID-19. La alta demanda de estos dispositivos produjo avances e innovaciones a la vez que aumentó su producción debido a la elevada demanda para satisfacer las necesidades existentes. Actualmente se están empezando a utilizar técnicas de IA que consiguen optimizar la VM consiguiendo mejores resultados. El tamaño de estas máquinas también se ha ido reduciendo para mejorar su portabilidad y facilidad de uso en distintas situaciones. (Rubulotta et al., 2024).

2.3 Bases y tipos de la ventilación mecánica

2.3.1 Bases de la ventilación mecánica

La VM es un soporte vital crucial para pacientes con insuficiencia respiratoria aguda y otras condiciones graves que afectan a la capacidad respiratoria. Para llevar a cabo una VM efectiva es necesario entender determinados aspectos fisiológicos (Tobin, 2013).

Una correcta ventilación implica una adecuada relación entre la presión, el volumen y el flujo de aire en los pulmones. El objetivo de este proceso mecánico es mantener una adecuada oxigenación y eliminación de dióxido de carbono (CO_2) a la vez que se vela por proteger el pulmón para evitar dañarlo. Se debe tener en cuenta que la ventilación depende de la complianza pulmonar (la capacidad de los pulmones para expandirse) y la resistencia de las vías respiratorias. La comprensión de estas propiedades es esencial para ajustar adecuadamente los parámetros del ventilador. (Fan et al., 2017).

Esta técnica se encuentra indicada en pacientes que padezcan una insuficiencia respiratoria aguda (IRA), apnea, hipoxemia severa e hipercapnia. También es utilizada en situaciones perioperatorias para proteger las vías respiratorias evitando su colapso o deterioro durante los periodos de inconsciencia del paciente. Cabe destacar la gran importancia que adquiere la VM a la hora de abordar el tratamiento de pacientes que han desarrollado un SDRA, siendo habituales la difícil oxigenación y el fallo respiratorio global. (Fan et al., 2017).

Si nos centramos en los principales objetivos de la VM estos serían una oxigenación adecuada, eliminación del CO_2 , disminución del trabajo respiratorio y mejora de la mecánica pulmonar. Estos objetivos ayudan a mantener la homeostasis y prevenir complicaciones relacionadas con la ventilación (Cairo, 2016).

- **Oxigenación:** consiste en mantener niveles adecuados de oxígeno sangre. Se ajusta la fracción inspiratoria de oxígeno (FiO_2) para alcanzar saturaciones de oxígeno correctas.

- **Eliminación de CO₂:** controlar la ventilación alveolar para la eliminación de CO₂. Podemos manejarlo ajustando el VT y la frecuencia respiratoria (FR).
- **Disminución del trabajo respiratorio:** la VM reduce el esfuerzo realizado por el paciente al proporcionar soporte ventilatorio, permitiendo que los músculos respiratorios se recuperen.
- **Mejora de la mecánica pulmonar:** mantener una presión positiva al final de la espiración (PEEP) ayuda a mantener los alveolos abiertos, mejorando la oxigenación y reduciendo el colapso alveolar.

Conseguir que los parámetros básicos como son el VT, frecuencia respiratoria (FR), FiO₂, PM y PEEP se ajusten a los rangos de normalidad es crucial para conseguir una VM de calidad. A continuación, se definen los rangos que se consideran adecuados de cada uno de los parámetros básicos nombrados anteriormente (Tobin, 2013):

- **VT:** volumen de aire que se inhala y exhala durante cada ciclo respiratorio en condiciones de reposo. Generalmente se ajusta a 6-8 ml/kg de peso ideal para prevenir volutrauma.
- **FR:** número de respiraciones por minuto. Se ajusta según las necesidades metabólicas del paciente y los niveles de CO₂.
- **FiO₂:** proporción de oxígeno en la mezcla de gases inhalada. Los rangos adecuados para mantener la saturación de oxígeno (SpO₂) son entre 88-92% en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y 92-96% en otros pacientes.
- **PM:** presión medida al final de la fase inspiratoria y es un reflejo de la presión de retracción elástica del pulmón. Para tener una VM de calidad el valor debe ser inferior 30 cmH₂O.
- **PEEP:** presión positiva al final de la espiración. Esta presión ayuda a mantener los alveolos abiertos, mejorando la oxigenación y reduciendo el riesgo de atelectasia.
- **DP:** variable dependiente de la relación entre la distensibilidad pulmonar, la presión positiva al final de la espiración (PEEP) y el volumen corriente inspirado por kg de peso ideal. Para conseguir una ventilación de calidad el valor debe ser inferior a 15 cmH₂O.

Otro aspecto importante es la monitorización constante de los pacientes sometidos a VM para conseguir que esta sea exitosa. Se deben observar los gases arteriales, la mecánica pulmonar y todos los signos vitales. Durante la ventilación es importante monitorizar al paciente para poder ajustar los parámetros en función de sus necesidades. Para disminuir el riesgo de sufrir barotraumas o volutraumas se debe medir el valor de la PM y de la PIP ya que nos permiten evaluar la complianza y las resistencias pulmonares (Cairo, 2016).

El barotrauma nombrado anteriormente consiste en sufrir daño pulmonar debido a presiones elevadas y el volutrauma debido a grandes volúmenes de aire. Otras complicaciones

que se pueden sufrir causadas por la VM serían atelectasia, infecciones nosocomiales como la neumonía asociada al ventilador, complicaciones hemodinámicas, disfunción del diafragma y lesiones traqueales o laríngeas. (Tobin, 2013).

Un aspecto que debemos conocer es el proceso de destete (conocido como *weaning* en la terminología anglosajona) y que consiste en una reducción gradual del soporte ventilatorio, hasta que el paciente es capaz de mantener una respiración espontánea eficaz, una vez estabilizado del cuadro clínico que le hizo precisar de un respirador. Para llevarla a cabo hay que realizar distintas pruebas de respiración espontánea para poder evaluar la capacidad que tiene el paciente de respirar sin el soporte ventilatorio. Es importante realizar un enfoque protocolizado para que el destete sea satisfactorio y el paciente termine la VM en la mejor condición posible (Fan et al., 2017).

2.3.2 Tipos de ventilación mecánica

La VM es una técnica médica esencial para el tratamiento de pacientes con insuficiencia respiratoria. En su aplicación, es fundamental entender las diferencias entre ventilación asistida y controlada, VMI y VMNI, así como los distintos modos de ventilación como por ejemplo la ventilación controlada por presión, controlada por volumen y controlada por volumen regulado por presión (Cairo, 2016).

Por un lado, vamos a discernir entre la ventilación controlada y asistida. A continuación, VMI y VMNI y por último algunos modos que se encuentran dentro de estos grupos que van a ser de interés a lo largo de este estudio.

En primer lugar, vamos a centrarnos en la ventilación asistida y la controlada analizando sus diferencias. Estas dos categorías principales se basan en la participación que tiene el paciente durante la respiración. Durante la ventilación asistida el paciente inicia los esfuerzos respiratorios y el ventilador se utiliza como un soporte para completar la respiración. Suele utilizarse cuando el paciente conserva parte de la capacidad para llevar a cabo la respiración, pero necesita una ayuda para que sea adecuada. Por otro lado, contamos con la ventilación controlada. En esta categoría el ventilador tiene el control completo de la respiración del paciente ya que no es capaz de respirar por sí mismo, ni si quiera puede iniciarla (Tobin, 2013).

Otro aspecto que es importante diferenciar es la VMI y la VMNI que se clasifican según el método de acceso a las vías respiratorias del paciente. La VMI implica la introducción de un tubo endotraqueal o una cánula de traqueotomía en las vías respiratorias del paciente. Este método se utiliza en situaciones donde se requiere un soporte ventilatorio prolongado o cuando la VMNI no es eficaz. Permite un control más preciso de las vías respiratorias y es fundamental en el manejo de pacientes críticos. Si nos centramos en la VMNI, esta utiliza mascarillas faciales o nasales para proporcionar soporte ventilatorio sin la necesidad de intubación. Suele elegirse en situaciones donde se puede evitar la intubación para reducir el riesgo de

complicaciones asociadas, como infecciones nosocomiales y lesiones en las vías respiratorias (Tobin, 2013).

Existen diferentes métodos de ventilación, algunos de los cuales son controlados y otros asistidos, y que se aplican fundamentalmente a la VMI. Los más comunes son:

- **Ventilación controlada por volumen (VC):** en este modo, el ventilador entrega un volumen de aire predefinido en cada respiración. Es un método adecuado cuando se quiere asegurar que el paciente reciba un VT constante. Es crucial para mantener una ventilación adecuada y prevenir la hipoventilación. Sin embargo, las presiones en las vías respiratorias pueden variar significativamente si las características pulmonares del paciente cambian, lo que puede aumentar el riesgo de barotrauma (Cairo, 2016).
- **Ventilación controlada por presión (PC):** el ventilador se encarga de administrar aire a los pulmones hasta alcanzar una presión preestablecida. Este modo es útil para proteger los pulmones al limitar la presión máxima aplicada. Es esencial en pacientes con SDRA o pulmones frágiles. Sin embargo, el volumen de aire entregado puede variar según la resistencia y la compliancia pulmonar, lo que podría llevar a volúmenes tidales inadecuados en caso de una inadecuada monitorización de los mismos (Cairo, 2016).
- **Ventilación controlada por volumen regulada por presión (VCRP):** este modo combina las características de VC y PC. El ventilador ajusta dinámicamente la presión en cada respiración para asegurar que se entregue el VT deseado. Adaptándose a los cambios en la compliancia y resistencia pulmonar. VCRP tiene ventajas al ser un método híbrido, ofreciendo las ventajas que aporta VC y la protección contra presiones elevadas de PC, siendo una opción versátil para muchos pacientes (Cairo, 2016).
- **Presión soporte (PS):** el ventilador se encarga de proporcionar un flujo de aire regulado por presión durante el tiempo de inhalación, pero permite que el paciente regule el inicio de la respiración y el volumen de aire. Es decir, es un tipo de ventilación asistida lo que permite al paciente tener mayor autonomía a la hora de realizar el proceso de respiración. El paciente controla el inicio y el volumen de cada respiración. Es especialmente útil para reducir el trabajo respiratorio en pacientes con respiración espontánea (Cairo, 2016).

Para concluir este apartado, debemos tener en cuenta que la VM va a ser una herramienta vital en la medicina moderna, que va a contar con distintos tipos y modos que se adaptarán a las necesidades específicas de cada paciente. Comprender las diferencias de cada modo es esencial para conseguir un soporte respiratorio efectivo y seguro que nos aporte el mejor resultado final posible.

2.4 Ventilación mecánica y el paciente crítico

La VM se utiliza en diferentes situaciones clínicas, especialmente en los pacientes críticos ingresados en UCI. A continuación, se mostrarán algunos casos específicos en los que se lleva a cabo esta técnica.

En primer lugar, tenemos la insuficiencia respiratoria hipoxémica, que se caracteriza por una disminución severa en la presión arterial de oxígeno, que puede tener lugar incluso con la utilización de oxígeno complementario. Algunas patologías en las que se desarrolla es el SDRA, la neumonía grave, edema pulmonar y cualquiera circunstancia que implique una importante alteración en el intercambio gaseoso pulmonar. La insuficiencia respiratoria hipercápnica es otro de los casos y consiste en la elevación en la presión arterial de dióxido de carbono causada por una ventilación alveolar insuficiente. Esta condición se desarrolla en enfermedades como el EPOC en su fase aguda pudiendo ser los trastornos neuromusculares los causantes (Marini et al., 2011).

Pacientes con un nivel de conciencia significativamente reducido suelen ser otro caso en el que se utiliza VM ya que podremos proteger la vía aérea evitando complicaciones y permitiendo que la vía aérea permanezca abierta para el correcto funcionamiento. Por ejemplo, es útil en pacientes en coma ya que tienen un alto riesgo de aspiración que puede dar lugar a una neumonía por aspiración. Cuando los músculos respiratorios no cumplen de forma adecuada su función, la respiración se va a ver afectada, por lo que, en estos casos, la VM es de vital importancia. Este tipo de pacientes sufren lo que se conoce como fallo del esfuerzo respiratorio y puede deberse a fatiga muscular o a enfermedades asociadas como miastenia gravis o trastornos neuromusculares (Marini et al., 2011).

El postoperatorio de cirugía mayor es otro de los momentos en los que se utiliza la VM, sobre todo después de cirugías torácicas o abdominales, por lo que va a ayudar a conseguir una ventilación correcta hasta que el paciente recupere totalmente la función pulmonar pudiendo respirar por sí mismo (Marini et al., 2011).

En pacientes con insuficiencia cardíaca aguda que hayan desarrollado un edema pulmonar severo, la ventilación puede ayudar a mejorar la oxigenación reduciendo de esta manera la carga que debe realizar el corazón. Esto va a permitir no sobrecargar el corazón y, además, se evitarán acumulaciones de líquidos en la zona pulmonar que pueden afectar al intercambio gaseoso (Marini et al., 2011).

Por último, es posible controlar la presión intracraneal (PIC) gracias a la ventilación como por ejemplo en casos de traumatismo craneoencefálico donde se lleva a cabo una VM con ventilación controlada que puede ayudar consiguiendo una disminución de la PIC (Marini et al., 2011).

Conocidos los casos en los que se realiza VM de forma habitual, es importante destacar los mecanismos que pueden dar lugar al daño pulmonar inducido por la ventilación. Ya que la comprensión de estos problemas dará lugar a un avance y mejora en la práctica clínica evitando daños.

Uno de los fenómenos que más veces tiene lugar es el volutrauma, que consiste en el daño que se produce en los alveolos cuando estos se expanden en exceso debido al uso excesivo de VT, lo que puede llegar a dañar las paredes alveolares. Por otro lado, tenemos el barotrauma, que en este caso se relaciona con presiones excesivas lo que puede ocasionar sobreexpansión o incluso rotura de los alvéolos u otras estructuras pulmonares pudiendo desarrollarse complicaciones como por ejemplo el neumotórax (Madahar et al., 2020).

El atelectrauma sucede cuando los alveolos se colapsan y se distienden repetidamente causando daño a las células que recubren los alveolos. Otro de los problemas es el biotrauma, donde se produce una inflamación de los alveolos y del pulmón debido a una sobrecarga causada por el estrés mecánico. Este fenómeno va a desencadenar una reacción inflamatoria que puede llegar a afectar no solo a los pulmones, sino también a otros órganos causando disfunción multiorgánica (Madahar et al., 2020).

Para poder prevenir o solucionar estos problemas, podemos llevar a cabo una ventilación con parámetros concretos, como el uso de volúmenes corriente bajos, un ajuste de la PEEP adecuada y técnicas de ventilación pulmonar protectora. Con estas medidas se busca conseguir una VM de calidad, pero se protege al pulmón ante daños adicionales (Madahar et al., 2020).

2.5 Inteligencia artificial y ventilación mecánica

La IA es un campo con gran desarrollo en las últimas décadas y se refleja en que la cantidad de estudios recientes relacionados con la VM y la IA cada vez es mayor. (Muñoz Lezcano et al. 2024). La VM es una herramienta vital en la atención de pacientes críticos, especialmente en UCI. Sin embargo, la gestión de este proceso, incluyendo cuándo iniciarlo, cómo ajustar sus parámetros, y especialmente cuándo y cómo retirarlo, es un desafío clínico considerable. Tomar las decisiones adecuadas puede tener un impacto directo en la recuperación del paciente, su estancia en el hospital y sus probabilidades de supervivencia. Es en estos ámbitos donde la IA está surgiendo solución innovadora. Debido a la utilización de grandes volúmenes de datos médicos y algoritmos de ML y DL, la IA tiene la capacidad de mejorar la precisión de las decisiones clínicas y optimizar la atención al paciente. A continuación, se comentarán tres estudios relacionados con los distintos aspectos en los que cada vez se utiliza más la fusión de la IA y la VM. Estos engloban distintos aspectos, desde la predicción de la necesidad de ventilación hasta la predicción del éxito en el destete y la mortalidad en pacientes críticos.

El primer artículo en el que nos centraremos se basa en la aplicación de la IA en el ámbito neonatal, área crítica debido a la fragilidad de este tipo de pacientes. Cuando los neonatos necesitan VMI aparecen riesgos significativos y predecir cuales de ellos van a necesitar esta ventilación es crucial para conseguir unos resultados adecuados, tratando de minimizar los problemas que pueden surgir. Este estudio se realiza utilizando registros electrónicos de salud y analiza los datos mediante técnicas de DL. Trata de identificar factores clave para predecir la necesidad de VM. Gracias a estos métodos los clínicos son capaces de

extraer patrones que no son evidentes a simple vista, por lo que el enfoque que se consigue es más preciso y de mayor calidad para poder llevar a cabo la ventilación (Kim et al., 2023). Centrándonos en la metodología, este estudio utiliza redes neuronales profundas del tipo memoria larga a corto plazo (LSTM) que son muy efectivas cuando se manejan series temporales, siendo este el caso de los datos clínicos ya que se recogen de manera continua en una UCI. Las conclusiones del estudio muestran que los modelos utilizados tienen una alta precisión a la hora de predecir la necesidad de VM, siendo mejores que los sistemas de alerta utilizados tradicionalmente. Se utiliza un enfoque que permite analizar series de datos dentro de un marco temporal específico, consiguiendo así analizar mejor la capacidad del modelo para predecir eventos futuros. Los resultados sugieren que la IA puede ofrecer la capacidad de tomar mejores decisiones y más robustas permitiendo que los neonatos reciban intervenciones tempranas y de mayor eficacia. Esto puede reducir la duración de la estancia en UCI mejorando por consiguiente las posibilidades de supervivencia (Kim et al., 2023).

Como se comentó con anterioridad la etapa de destete de la VM es uno de los puntos más críticos y complejos en el tratamiento de los pacientes con insuficiencia respiratoria. Un destete exitoso va a permitir que el paciente sea capaz de respirar sin la necesidad de asistencia mecánica, pero un fracaso de este proceso puede tener consecuencias muy graves ya que puede producir insuficiencia respiratoria recurrente, aumentando de esta forma las tasas de estancia en la UCI y de mortalidad. Este estudio se centró en como la IA puede ser capaz de predecir el éxito o el fracaso del destete. Se analizaron todo tipo de pacientes incluyendo algunos de los más difíciles de manejar, en los que se engloban los pacientes con SDRA, una de las condiciones más complejas de abordar (Stivi et al., 2024). El estudio utilizó modelos de ML como *Random Forest* que permiten analizar grandes bases de datos. Se centraron en datos de pacientes ventilados incluyendo en las variables analizadas parámetros ventilatorios como la PEEP, VT, relación $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ y otros aspectos de importancia clínica como la edad y comorbilidades (Stivi et al., 2024). Los resultados fueron muy interesantes obteniendo modelos de gran precisión a la hora de predecir el éxito del destete. Gracias a estos algoritmos la toma de decisiones por parte de los clínicos puede mejorar ya que tendrán una ayuda añadida que permite minimizar el riesgo de complicaciones. No solamente se pueden mejorar los resultados clínicos, sino que también permite utilizar de forma más eficiente los recursos de la UCI (Stivi et al., 2024).

El último estudio en el que nos centraremos se basa en la utilización de técnicas de IA para predecir la mortalidad que tendrá un paciente crítico de UCI estudiando variables ventilatorias. Para ello se analizaron variables como PIP, PEEP y FiO_2 entre otras, extrayéndolas de la base de datos internacional VENTILA. Los algoritmos utilizados se basaron en modelos *Random Forest* y redes neuronales LSTM con el objetivo de lograr pronosticar el porcentaje de mortalidad de los pacientes ventilados en función de las variables (Mamandipoor et al., 2021). El análisis mostró gran precisión a la hora de predecir los resultados en pacientes que tenían afectación respiratoria grave, problemas obstructivos, EPOC y SDRA. Además, el estudio destaca la importancia de optimizar los modelos para conseguir observar aspectos que puedan pasar por alto los clínicos y de esta manera usarlos para complementar y ayudar a la toma de decisiones. Otro aspecto importante es que al utilizar únicamente datos ventilatorios el modelo demuestra ser particularmente útil cuando no se

tienen tantos recursos o únicamente se registren variables ventilatorias, lo que le aporta versatilidad en diversas configuraciones clínicas (Mamandipoor et al., 2021).

Para concluir, cabe destacar que la implementación de la IA en el manejo de la VM está demostrando un gran potencial a la hora de mejorar las actuaciones llevadas a cabo en las secciones de UCI. La gran mayoría de estudios muestran la capacidad de la IA para ayudar en la predicción de eventos futuros y a su vez a la toma de decisiones. Pero no solamente se pueden analizar los eventos que vayan a suceder, sino que también se pueden estudiar datos y tendencias de manera retrospectiva que permiten informar de aspectos que ya han tenido lugar.

Capítulo 3. Materiales y métodos

3.1 Introducción

En este capítulo se explica de manera detallada el diseño que tiene el estudio. Comenzando con los distintos pasos que se han llevado a cabo para desarrollar el trabajo, la base de datos utilizada y por último los métodos de procesamiento y análisis que se han utilizado para tratar de demostrar la hipótesis inicial y lograr los objetivos propuestos.

3.2 Diseño del trabajo

Como se muestra en la figura 1, en primer lugar, se definieron las potenciales variables de interés que se pretendían estudiar por su relevancia en la calidad de la VM y en la mortalidad que esta tiene asociada. Esta primera fase se realizó con la ayuda de los clínicos del Servicio de Medicina Intensiva del HURH. Las variables con una mayor influencia a priori eran tener un $PM < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$, $DP < 15 \text{ cmH}_2\text{O}$ y $VT \leq 8 \text{ ml/kg}$ de peso ideal (Baldomero et al., 2019). El resto de las variables reflejadas en la figura 1 son consideradas de interés y se pretendía conseguir un modelo que nos permitiera *rankear* la influencia que tiene cada una de ellas.

A continuación, se llevó a cabo la extracción de los datos asociados con las variables definidas en la historia clínica electrónica (ICCA) de la UCI del HURH y permitió obtener toda la información necesaria sobre las variables elegidas. Es de vital importancia la anonimización de los datos para velar por la confidencialidad de los pacientes. En esta etapa se contó con la ayuda de Philips.

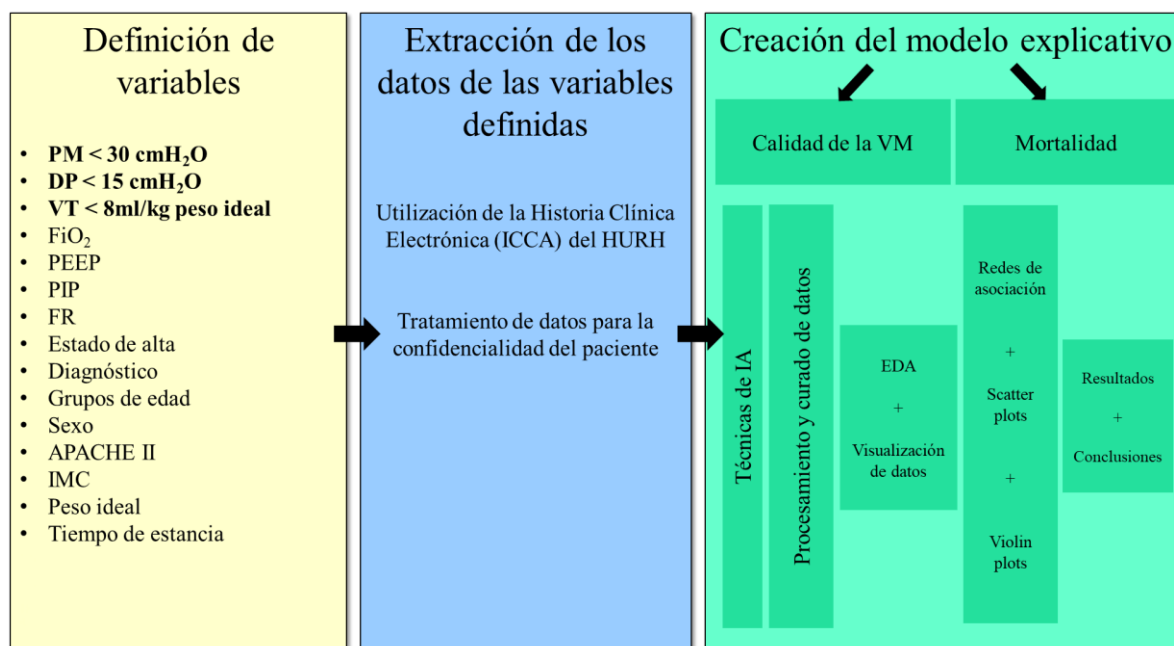


Figura 1. Esquema del diseño del trabajo y los pasos seguidos

Por último, pasamos a la etapa de creación del modelo explicativo y obtención de resultados, para lo cual se contó con la ayuda del Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valladolid. En esta fase, se realizó el procesamiento y curado de datos para su posterior análisis. Se crearon redes de asociación y se evaluó la influencia que tienen las distintas variables entre sí, en primera instancia de manera global. Posteriormente se utilizaron técnicas de EDA y visualización de datos para comparar y estudiar las variables de interés mediante *scatter plots* y *violin plots*. Gracias a estos métodos se estudió la calidad que ha tenido la VM en función de las variables de interés, todo ello teniendo en cuenta la mortalidad asociada.

3.3 Características de la base de datos

Actualmente hay múltiples bases de datos en las que se recoge información sobre los pacientes de un hospital. En el caso del servicio de UCI del HURH cuentan con ICCA que ha sido creada por Philips y almacena una cantidad masiva de datos. Para este proyecto se decidió utilizar pacientes a partir del año 2012 que cumplieran con los siguientes requisitos. En primer lugar, debían ser pacientes críticos que fueran mayores de edad y tuvieran un tiempo de VM superior a 48 horas. Los pacientes elegidos podían haber ingresado en una de las tres secciones de UCI con las que cuenta el hospital, UCI general, UCI B y UCI quemados. Para conseguir la pseudoanonimización de los pacientes, estos están agrupados por edades en segmentos de 5 años y han sido clasificados en 3 categorías diagnósticas. En primer lugar, todos aquellos que tienen ‘SDRA’. Esta condición es prioritaria a la hora de contar con más de un diagnóstico. En segundo lugar, pacientes ‘Obstructivos’ englobando en este grupo asma y EPOC. Por último, si no cuenta con ninguno de los diagnósticos anteriores pasa a formar parte del grupo ‘Resto de diagnósticos’. Esta agrupación será de interés para establecer patrones y conclusiones en función del diagnóstico del paciente crítico.

La base de datos recoge variables de distintos tipos. Algunas de ellas son numéricas y otras se basan en cadenas de caracteres. Además, dentro de las numéricas hay ciertas variables como sexo, peso ideal, IMC, APACHEII, grupo de edad, estado de alta, tiempo de estancia y diagnóstico que solo tienen un valor asociado a cada paciente. Por el contrario, las variables PM, PEEP, PIP, FIO2, FR, DP y VT/peso ideal tienen gran cantidad de valores asignados. De forma ideal, estas últimas deberían tener volcado de datos una vez cada hora cuando se encuentran conectados al respirador. En la tabla 1 se muestra la caracterización de distintas variables de la base de datos representando los parámetros media, mediana, desviación estándar mínimo y máximo que tienen asociadas. Además, cabe destacar que la población se encuentra desbalanceada en cuando al sexo ya que el 35% son hombres y el 65% mujeres.

A lo largo del apartado de resultados se va a trabajar con una serie de grupos que, como se puede observar en las tablas 2, 3 y 4, no tienen el mismo número de episodios. Tal y como lo muestran las tablas, el número de pacientes totales es 1659; de los cuales 493 fallecen en la UCI del hospital y 593 fallecen en total en el hospital. El estado de alta que más se repite es el Vivo-Vivo con 1007 pacientes y, si nos centramos en el total de pacientes que sobreviven en la UCI, se observan 1166 pacientes. En base a estos datos, se puede observar que, en la sección

de UCI, el 70% de los pacientes que requieren VM sobreviven y el 30% fallecen. Sin embargo, a nivel global del hospital, el porcentaje de fallecimientos aumenta ligeramente hasta un 36%, mientras que los que sobreviven pasan a ser un 64%.

Para poder utilizar los datos de los pacientes en este estudio se pidió permiso al Comité de Ética de la Investigación con Medicamentos (CEIm), teniendo una resolución positiva que permitió el desarrollo del estudio; ya que se cumplía con la normativa y se velaba por la confidencialidad de los datos del paciente a los cuales no tuvo acceso el autor hasta la anonimización de los mismos.

Variable	Media	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo
Peso Ideal (kg)	62,28	62,40	10,67	34,20	93,30
IMC (kg/m ²)	27,60	26,80	6,11	10,40	62,70
Grupos Edad (años)	65,51	68,00	15,68	18,00	98,00
APACHEII	22,42	22,00	8,20	2,00	57,00
PM (cmH ₂ O)	18,90	18,40	4,60	7,76	42,60
VT/peso ideal (ml/kg)	7,55	7,55	0,99	2,30	12,29
DP (cmH ₂ O)	11,92	11,29	3,47	5,00	33,97
FR (rpm)	20,16	19,79	3,90	3,61	33,52
FIO ₂ (%O ₂)	44,91	42,89	9,38	25,80	100,00
PIP (cmH ₂ O)	28,03	27,68	5,97	8,28	53,25
PEEP (cmH ₂ O)	7,49	7,12	2,35	2,00	23,15

Tabla 1. Caracterización de las variables de la base de datos mediante parámetros de interés

Estado Alta	Total Episodios Estado Alta	Total episodios
Vivo-Vivo	1007.0	1659
Vivo-Exitus	100.0	
Vivo-Continúa	59.0	
Exitus UCI	493.0	

Tabla 2. Recuento total de episodios y recuento de episodios por estado al alta

Diagnóstico	Estado Alta	Total episodios Estado Alta y Diagnóstico	Total episodios Diagnóstico
SDRA	Vivo-Vivo	189	288
	Vivo-Exitus	11	
	Vivo-Continúa	3	
	Exitus UCI	85	
Obstrutivo	Vivo-Vivo	188	309
	Vivo-Exitus	23	
	Vivo-Continúa	19	
	Exitus UCI	79	
Resto diagnósticos	Vivo-Vivo	630	1062
	Vivo-Exitus	66	
	Vivo-Continúa	37	
	Exitus UCI	329	

Tabla 3. Recuento total de episodios por estado al alta y diagnóstico

Estado Alta UCI	Total Episodios Estado Alta
Vivo UCI	1166
Exitus UCI	493

Tabla 4. Recuento total de episodios por estado al alta en UCI

3.4 Métodos de procesamiento de datos

Es de vital importancia el curado de datos para trabajar de forma adecuada cuando hay valores perdidos o anómalos, evitando de esta manera resultados erróneos. Las etapas de curación de datos fueron las siguientes. En primer lugar, se eliminaron los pacientes que tenían sus variables simples (solo guardan un valor) sin registrar ya que se trataba de pacientes que no cumplían con los requisitos para el análisis. A continuación, en las variables de datos múltiples los valores extremos o fuera de los rangos esperados se sustituyeron por valores Not a number (NaN) ya que se trataba de datos erróneos. Para el manejo de estos valores se implementaron estrategias para ignorarlos. Esto se hizo de esta manera para que los registros incompletos no afectaran a los cálculos.

De mutuo acuerdo con los clínicos, se agruparon los datos de las variables que cuentan con múltiples valores en periodos de 8 horas, es decir, en un día completo, cada paciente tendrá 3 valores de cada una de estas variables. El valor de cada variable se estimó a través del valor medio durante ese periodo de 8 horas. Esta estimación se llevó a cabo para las variables puras, por el contrario, para la variable derivada DP que se obtiene al hallar la diferencia de la PM-PEEP, en primer lugar, se realizaron las diferencias hora por hora y a continuación se realizó el promediado cada 8 horas.

Tras realizar todo el curado de datos de la base que almacena las variables con los valores medios cada 8 horas se obtuvo una segunda base de datos más simplificada. Esta cuenta

con una segunda aplicación de cálculo del valor medio por variable. Por lo tanto, esta base representa los 1659 episodios con el valor medio de cada una de las variables estudiadas. Esta nueva base permitía realizar un análisis más representativo a nivel de episodio, permitiendo representar todas las variables en una misma red de asociación.

3.5 Métodos de análisis

A lo largo del estudio, hemos implementado diversas técnicas para estudiar las variables clínicas. En primer lugar, se realizó una distinción de pacientes en varios grupos para su posterior estudio. Se agruparon los datos según su estado al alta, creándose los grupos en función de la combinación de los estados de alta de UCI y su posterior estado al alta hospitalario. Por lo tanto, surgieron 4 grupos. Aquellos pacientes que se encuentran vivos al recibir el alta en la UCI y vivos al recibir el alta hospitalaria ‘Vivo-Vivo’, aquellos que se encuentran vivos al recibir el alta UCI, pero fallecidos en el alta hospitalaria, ‘Vivo-Exitus’, también los vivos al recibir el alta en UCI, pero continúan ingresados a los 30 días, ‘Vivo-Continúa’ y por último aquellos que fallecen en la UCI, ‘Exitus UCI’. Otra distinción que se realiza a lo largo del trabajo es simplemente con una agrupación con 2 categorías de alta, únicamente centrándonos en la llamada mortalidad intraUCI, ‘Vivos UCI’ y ‘Exitus UCI’. Esta agrupación nos permitirá analizar los datos conociendo el destino que tienen los mismos. Además, a lo largo del estudio se analizó la influencia de cada uno de los tres diagnósticos distintos con los que cuentan los pacientes ‘SDRA’, ‘Obstructivo’ o ‘Resto de diagnósticos’

En este punto podemos discernir entre dos partes diferenciadas. En primer lugar, nos centraremos en la red de asociación de todas las variables. En este caso la red de asociación consiste en una representación en los nodos de las distintas variables, siendo de mayor grosor aquellos relacionados con las variables más influyentes en la red. Además, los nodos se encuentran unidos entre sí por medio de aristas cuando existen relaciones significativas entre las distintas variables, siendo más gruesas cuanto mayor sea la relación entre variables. Para poder llevar a cabo este proceso se utilizó la base de datos de los valores medios por episodio. Todas las variables se categorizaron para poder graficar la red de asociación. A continuación, se realizó un análisis de asociación mediante Chi-Cuadrado en el cual se utilizaron tablas de contingencia y pruebas de Chi-Cuadrado para explorar la asociación entre diferentes variables categóricas previamente categorizadas, ya que también se calcularon los p-valores asociados a cada par de variables. Una vez hallados los p-valores se establecieron como significativas las relaciones entre variables que tuvieran un p-valor < 0.05 . Este análisis nos permite observar el peso que tienen las relaciones entre variables y su nivel de significación. Por último, los resultados del análisis de Chi Cuadrado se representaron como redes de asociación mediante el programa *Gephi*. En estas redes, los nodos representan variables y las aristas representan la fuerza de la relación entre ellas, proporcionando una visión clara de las asociaciones más fuertes.

La segunda parte consiste en analizar los datos mediante técnicas EDA y visualización. Para ello se utilizaron representaciones gráficas como los *violin plots* que permiten visualizar

variables observando la distribución y la dispersión de los valores dentro de cada grupo de estudio. Variables como la PM, DP y VT/peso ideal fueron representadas mediante esta técnica, tanto a nivel general mediante el uso de todos los datos, como a nivel de episodio al utilizar el valor medio asociado a cada uno de los episodios. En estos gráficos se compararon las distribuciones de estas variables en los diferentes grupos de estado de alta y diagnóstico. Esto permitió ver visualmente las diferencias entre grupos y a nivel de dispersión y de distribución. Asociados a los *violin plots* se calcularon porcentajes de datos o episodios por debajo del límite recomendado que varía en función de variable. Estos porcentajes ofrecieron una visión clara del cumplimiento de las pautas clínicas en los diferentes grupos. Las pruebas estadísticas de comparación de Mann-Whitney se utilizaron para comparar las distribuciones de las variables entre los distintos grupos. Los p-valores obtenidos permitieron identificar diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, tomándose como nivel de significación un p-valor < 0.05 .

Por último, para hacer una comparativa entre las tres variables estudiadas se realizaron *scatter plots* que permiten ver si los episodios cumplen con las recomendaciones clínicas ventilatorias asociadas a cada una de las variables. También se utilizaron los *scatter plots* para estudiar la relación entre dos variables de interés como son la FiO₂ y la PEEP. Estos gráficos ayudaron a identificar posibles correlaciones entre las variables en pacientes con ‘SDRA’. Se incluyeron líneas de tendencia para mostrar el comportamiento general de los datos y resaltar diferencias entre los estados de alta.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Introducción

Esta sección se centra en reflejar los resultados obtenidos una vez se ha trabajado con la base de datos previamente tratada.

4.2 Redes de asociación

En primer lugar, se van a analizar todas las variables de forma conjunta, tratando de extraer información de la influencia que tienen unas sobre otras. En la figura 2 se muestra una red de asociación constituida por nodos que representan las variables y aristas que establecen qué nodos se encuentran relacionados. Al haber realizado un ajuste de los valores de la matriz de estadísticos Chi-cuadrado mediante el p-valor que permite ver como de significativa es la relación entre variables, la unión entre dos nodos indica que existe una relación entre ambas variables. La red representa las 15 variables estudiadas y muestra un total de 69 asociaciones de variables. Este grafo es del tipo no dirigido, lo que significa que las conexiones entre los nodos no tienen una dirección específica (las relaciones entre ellos son simétricas).

Los nodos más grandes en la red son DP y PM. Esto indica que estas dos variables son centrales en la red y tienen relaciones importantes con muchas otras variables. Estudiar estas variables será clave debido a su gran importancia en la ventilación.

Si nos centramos en las relaciones entre las variables, las conexiones más gruesas indican relaciones más fuertes. En la figura, las relaciones más marcadas se dan entre las siguientes variables. PM y PEEP lo demuestran una fuerte correlación. Esto es coherente con el contexto clínico, ya que la PEEP influye directamente en la PM durante la VM (Bergez et al., 2019). También entre DP y PM, lo cual es esperable, ya que el DP es la diferencia entre la PM y la PEEP.

En cuanto a las relaciones con factores demográficos, sexo y peso ideal tienen una relación destacada, al igual que peso ideal y VT, ya que en este estudio estamos representando el valor del peso ideal como VT/peso ideal. Por otro lado, el IMC está conectado a otras variables como la PEEP con una intensidad superior al resto de variables por lo que esta variable puede influir en las presiones pulmonares

Relaciones con variables clínicas como APACHE II, estado alta, grupos edad, y tiempo estancia también están conectadas a la red, aunque las conexiones parecen ser menos fuertes en comparación con las variables directamente relacionadas con la ventilación (PM, DP, PEEP, VT). Mostrando un impacto más moderado o indirecto en las presiones pulmonares.

La red parece mostrar que las variables relacionadas con la ventilación (PM, DP, PEEP, VT) están más fuertemente interconectadas entre sí. Por otro lado, las variables demográficas y clínicas, aunque también conectadas, parecen tener una influencia menos directa sobre la

ventilación, lo que puede reflejar su importancia en la evolución de la condición del paciente, más que en los ajustes inmediatos de la ventilación.

Según la figura 2, las variables más críticas para el manejo de la ventilación mecánica son PM, DP, PEEP y VT con las demás variables actuando como factores moderadores o secundarios. Otra relación de interés consiste en la PEEP con la FiO_2 .

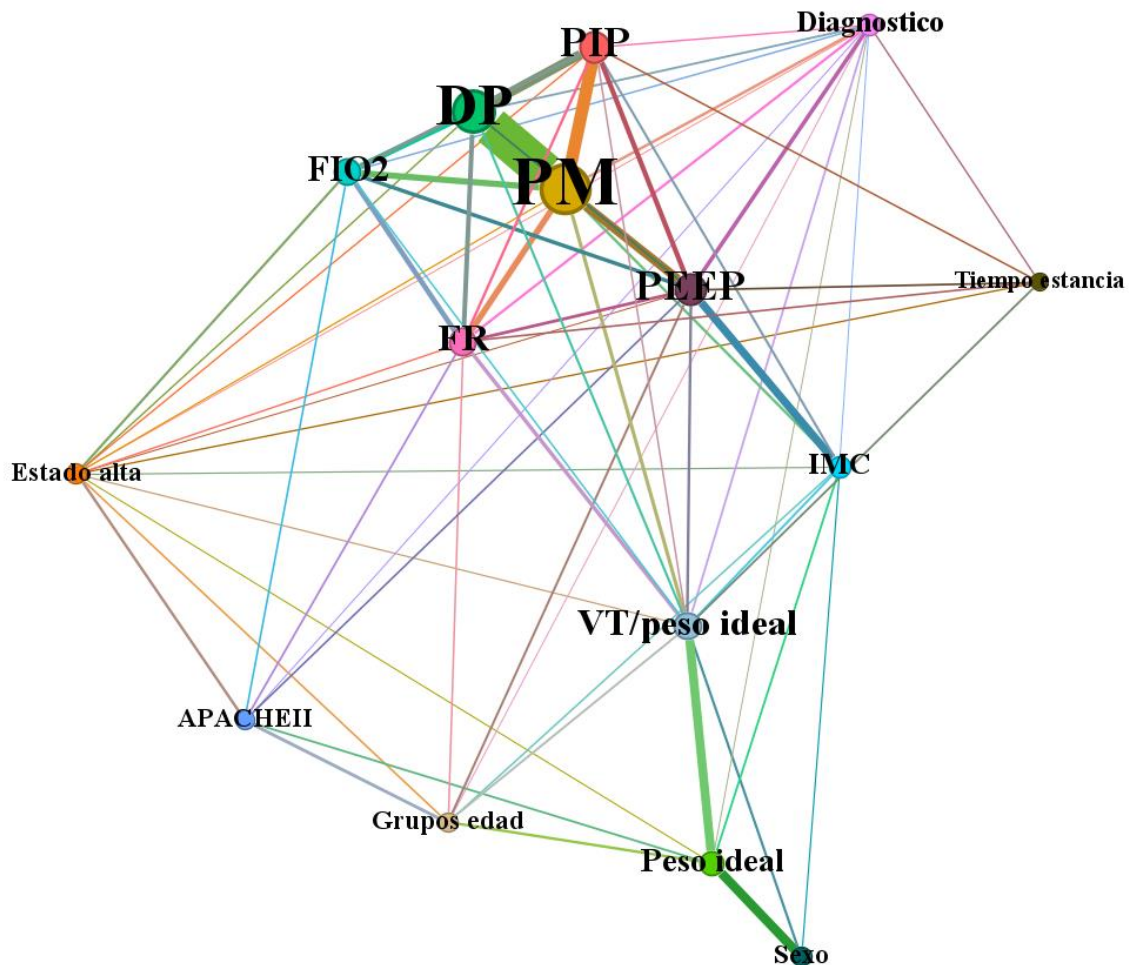


Figura 2. Red de asociación representando en los nodos las distintas variables de estudio y sus relaciones con cada una de las demás variables.

4.3 Análisis individual PM

4.3.1 Análisis base PM

En la figura 3 se representa un *violin plot* en el que se muestra la distribución general de los valores de PM utilizando todos los datos disponibles. Esta representación nos ofrece una visión completa de cómo se distribuyen los valores de PM en la totalidad de los datos recopilados. Podemos observar que la media de los valores de PM, representada por la línea negra continua, se encuentra ligeramente por encima de los 20 cmH₂O, mientras que la mediana, representada por la línea roja discontinua, está un poco por debajo de ese valor. Esto indica que la mayoría de los datos están concentrados en torno a los 20 cmH₂O, con una ligera asimetría hacia valores más altos. El cuerpo del violín nos muestra que la mayoría de los valores de PM están comprendidos entre los 15 y los 25 cmH₂O. A medida que los valores se acercan a 30 cmH₂O, la cantidad de datos disminuye considerablemente. Además, se observan pocos valores por encima de 30 cmH₂O, y muy pocos datos superan los 40 cmH₂O. Esto indica que los valores extremadamente altos son poco comunes. La línea roja horizontal en 30 cmH₂O marca el máximo recomendado para una PM segura durante la ventilación. Los resultados muestran que el 95,09% de todos los datos están por debajo de este límite, lo que indica que la inmensa mayoría de las medidas de PM se encuentran por debajo del umbral. Esto sugiere que de forma general se están cumpliendo las pautas de ventilación segura. Solo un pequeño porcentaje de los datos 4,91% supera el límite de 30 cmH₂O.

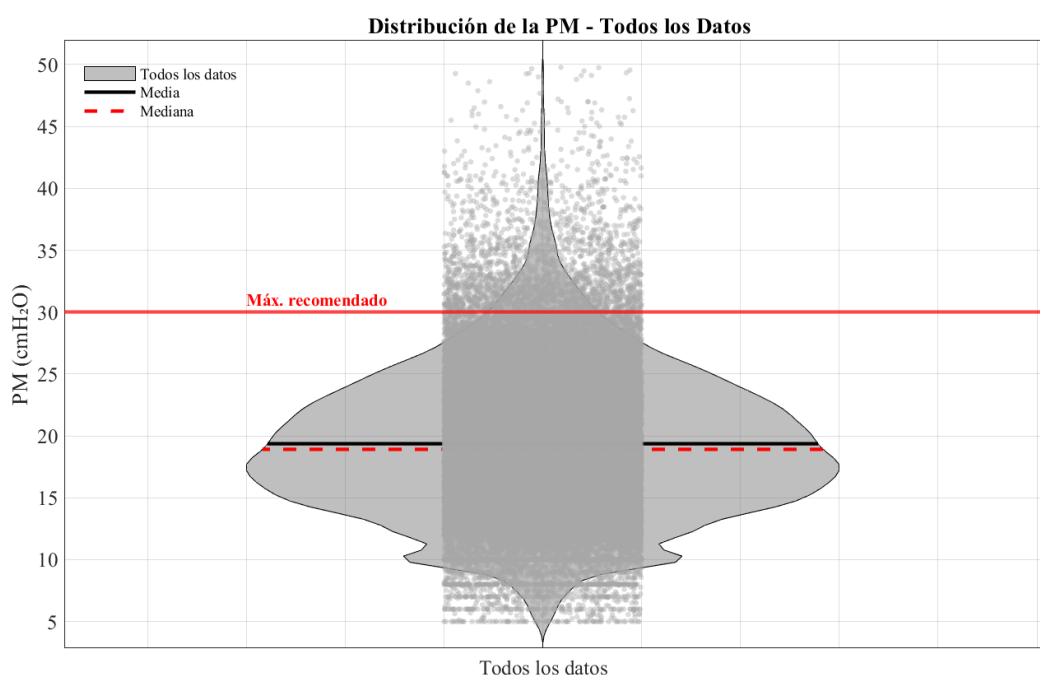


Figura 3. Violin plot general de la distribución de la PM en cmH₂O representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado

En la figura 4 podemos observar la distribución de la media de la PM por episodios. En este caso, los puntos representan la media de la PM para cada episodio, y el *violin plot* nos proporciona una visión de la distribución general de esos valores. La media de la PM se sitúa en torno a los 20 cmH₂O, mientras que la mediana está ligeramente por debajo. Esto sugiere que los valores no están muy dispersos hacia los extremos y que la mayoría de las medias por episodios se concentran en esa región. Esto lo podemos ver porque la parte más ancha del *violin plot* está centrada alrededor de los 20 cmH₂O.

El porcentaje de episodios que su valor medio se encuentra por debajo del límite de 30 cmH₂O, que se establece como el máximo recomendado, es del 98,19%. Este dato indica que casi todos los episodios cumplen con el objetivo de mantener la PM dentro de los valores recomendados. Solo una pequeña fracción de los episodios presenta medias de PM que superan los 30 cmH₂O, lo que indica una buena calidad de ventilación general en términos de PM.

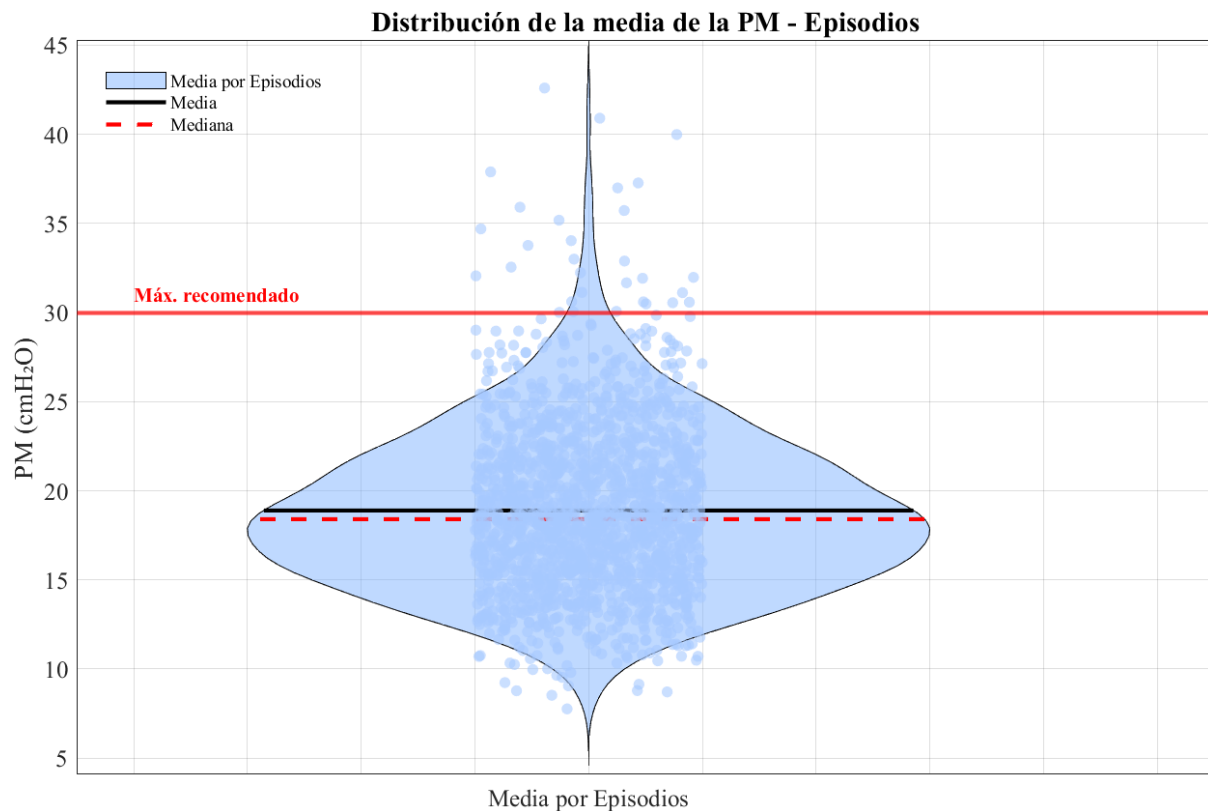


Figura 4. Violin plot general de la distribución del valor medio de la PM en cmH₂O por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado.

4.3.2 Análisis de la PM en función del estado de alta

La figura 5 muestra un *violin plot* en el que se observa la distribución de la PM en los cuatro estados de alta (Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa Ingresado y Exitus UCI). Se observan diferencias importantes tanto en la dispersión de los datos como en los porcentajes que aparecen en la tabla 7 de porcentaje de datos que se encuentran por debajo del máximo recomendado de 30 cmH₂O, indicado por la línea roja continua de la gráfica.

En el grupo Vivo-Vivo, se observa una gran concentración de valores de PM por debajo del límite recomendado, concretamente un 97,11%. La media y la mediana de este grupo están cercanas a los 20 cmH₂O, reflejando que la ventilación fue adecuada en la mayoría de los casos. El grupo Vivo-Exitus, presenta un porcentaje similar de datos por debajo de 30 cmH₂O siendo 97,33%. En cuanto al grupo Vivo-Continúa Ingresado, los valores de PM son un poco más elevados al tener media y mediana más elevadas, pero el porcentaje sigue siendo muy elevado con 96,23% de los datos por debajo de este valor. Finalmente, el grupo de Exitus UCI muestra la mayor cantidad de valores elevados, con un 90,49% de los datos por debajo de 30 cmH₂O. En este caso tanto la media como la mediana son más elevadas, reflejando que los pacientes que fallecieron en la UCI tuvieron por lo general valores de PM más elevados.

El análisis de los p-valores que podemos observar en la tabla 8 confirma las diferencias significativas en la PM entre algunos de estos grupos. La comparación entre Vivo-Vivo y Vivo-Exitus ($p = 0,297$) no muestra una diferencia significativa, por lo que, aunque los desenlaces fueron distintos, los niveles de PM fueron comparables. Sin embargo, al comparar Vivo-Vivo con Vivo-Continúa ($p = 1,350e-15$) y Vivo-Vivo con Exitus UCI ($p = 9,007e-169$), las diferencias son muy significativas, lo que indica que estos pacientes requirieron una ventilación distinta. Del mismo modo, las comparaciones entre Vivo-Exitus y Exitus UCI ($p = 3,245e-31$) y Vivo-Exitus y Vivo-Continúa ($p = 2,973e-08$) también muestran diferencias significativas. Esto puede indicar que la ventilación en estos pacientes se ajustó de manera distinta en función de su estado clínico.

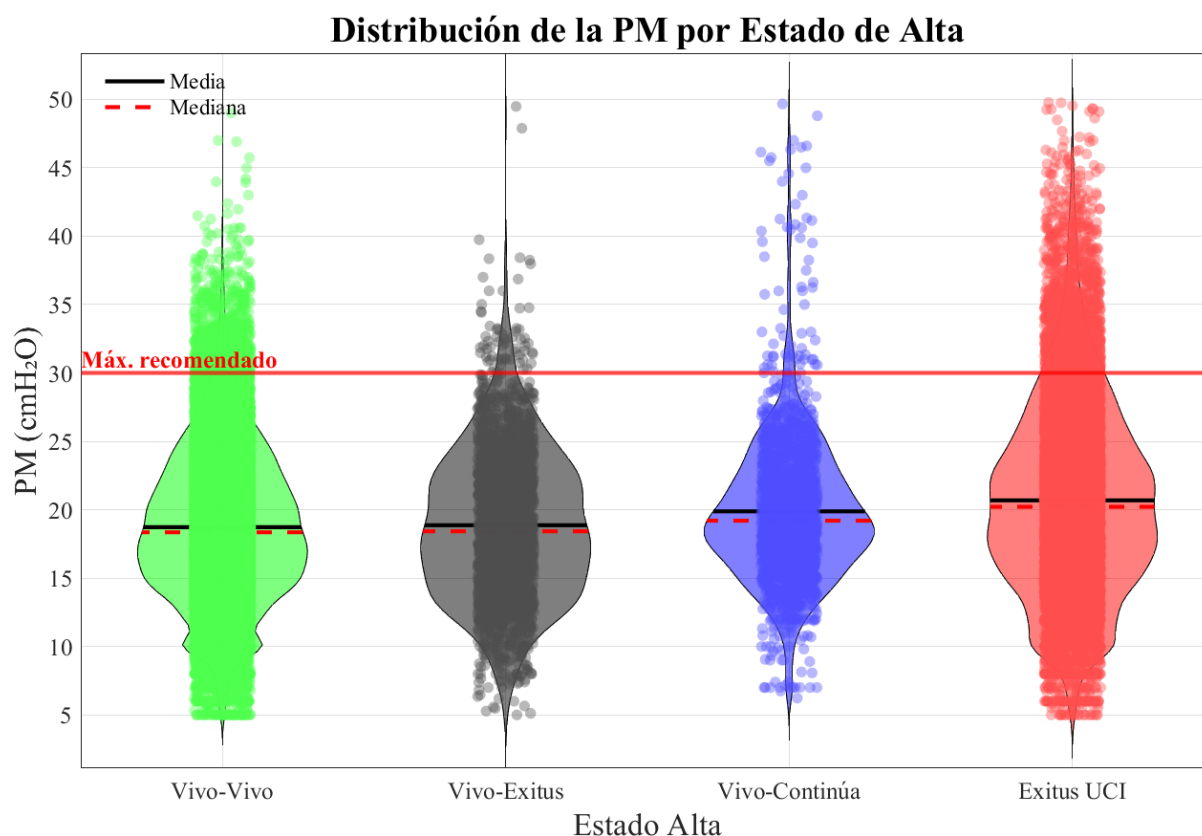


Figura 5. Violin plot de la distribución de la PM en cmH₂O representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.3.3 Análisis del valor medio de la PM por episodio en función del estado de alta

En el análisis de la media de la PM por episodio, si observamos la figura 6, se aprecia una clara distinción entre los cuatro estados de alta evaluados: Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa Ingresado y Exitus UCI.

Los pacientes del grupo Vivo-Vivo muestran una media de PM alrededor de los 18 cmH₂O y una mediana similar. Como muestra la tabla 9 el 99,21% de los episodios por debajo del máximo recomendado. En el caso del grupo Vivo-Exitus, la media de la PM también se acerca a los 18 cmH₂O y la dispersión de los valores es algo menor y cuenta con un 99% de episodios por debajo del máximo recomendado. Estos dos grupos, a pesar del distinto desenlace, no presentan una variación considerable en la PM, tal como lo demuestra la tabla 10 con un ($p = 0,552$). Por otro lado, los pacientes del grupo Vivo-Continúa Ingresado muestran una distribución más compacta y la totalidad de episodios por debajo de 30 cmH₂O. A pesar de esta diferencia en la distribución, el ($p = 0,393$) frente al grupo Vivo-Vivo muestra que las diferencias no son significativas. Sin embargo, la situación cambia drásticamente al observar el grupo Exitus UCI. En este caso, los valores son mucho más altos, con una media y mediana más elevadas, además algunos episodios tienen un valor medio bastante más elevado que el

resto de grupos. Estas diferencias se reflejan en el ($p = 6,783e-08$) en comparación con Vivo-Vivo, el cual indica que es una diferencia significativa. Aun así, el 95,74% de los episodios se encuentran por debajo de 30 cmH₂O. Este resultado muestra que los pacientes que fallecen en la UCI tienen una PM en promedio más elevada que aquellos que sobreviven, por lo que valores elevados de PM pueden reflejar un peor pronóstico. Además, la comparación entre los grupos Vivo-Exitus y Exitus UCI también revela una diferencia significativa ($p = 2,134e-04$). Esto refleja que los pacientes que fallecen en la UCI tienden a tener una PM mayor que los que lo hacen fuera de ella. En cambio, las comparaciones entre Vivo-Exitus y Vivo-Continúa ($p = 0,294$) o entre Vivo-Continúa y Exitus UCI ($p = 0,165$) no muestran diferencias significativas.

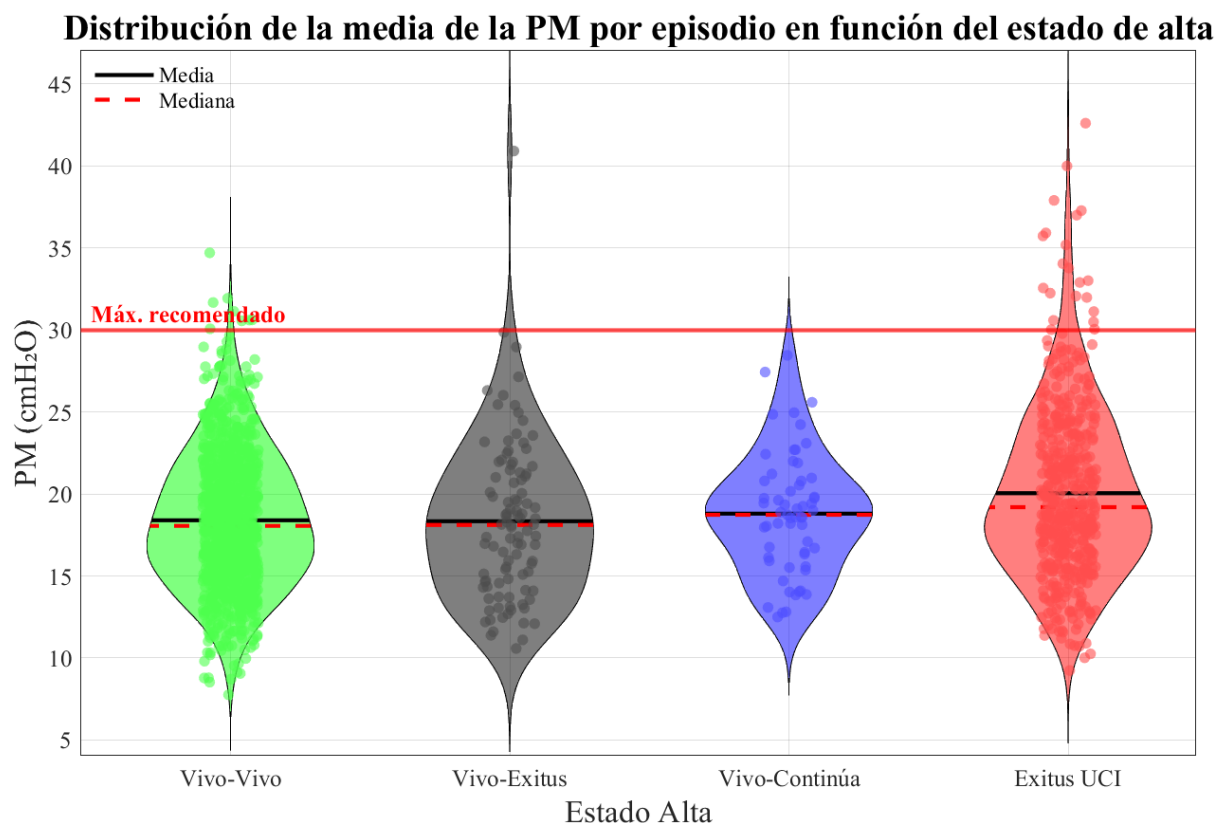


Figura 6. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.3.4 Análisis del valor medio de la PM por episodio en función del estado de alta UCI

En la figura 7 se observa un *violin plot* que muestra la distribución de la media de PM en función del estado de alta en UCI, comparando Vivos en UCI con aquellos que fallecieron Exitus en UCI.

El grupo de Vivos en UCI presenta una media de PM alrededor de 17-18 cmH₂O, encontrándose la mayoría de los episodios, 99,23%, por debajo del límite máximo recomendado como podemos ver en la tabla 11. Esto indica que casi la totalidad de estos pacientes mantuvieron una ventilación adecuada. Por otro lado, el grupo de Exitus en UCI tiene una media cercana a los 19 cmH₂O y una mayor dispersión hacia valores superiores, encontrándose un menor porcentaje por debajo del límite, 95,74%, aunque sigue siendo muy elevado. Estos datos reflejan que los pacientes que no sobreviven tienden a presentar PM algo más elevadas.

Desde el punto de vista estadístico si nos fijamos en la tabla 12, el p-valor entre ambos grupos indica una diferencia significativa ($p = 4,087e-08$), es decir, que hay mayor tendencia a tener PM más altas en los pacientes que fallecieron en UCI.

Distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta en UCI

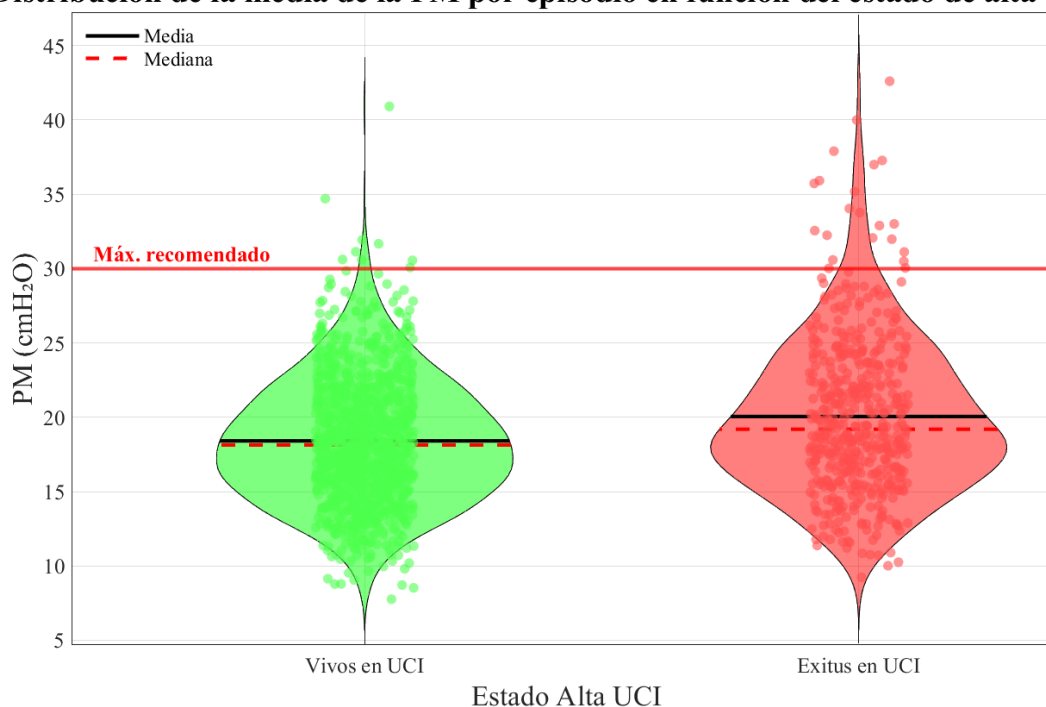


Figura 7. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.3.5 Análisis del valor medio de la PM por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico

En primer lugar, analizamos la figura 8 que representa el *violin plot* para el diagnóstico SDRA en el que se puede observar que la mayoría de los episodios en todos los grupos presentan una media de la PM por debajo del máximo recomendado (30 cmH₂O). En el caso del grupo Vivo-Vivo, algunos episodios se acercan a este límite, incluso 2 lo superan. El grupo Vivo-Exitus presenta todos sus valores por debajo del máximo y el Vivo-Continúa también, siendo la media aún más baja. Por último, en el grupo Exitus UCI, como muestra la tabla 13 el número de episodios por encima del límite recomendado es mayor. Concretamente el 89,41% de los episodios de este grupo están por debajo del límite, mientras que en los otros grupos están por encima el 98%. Como muestra la tabla 14, únicamente se observan diferencias significativas entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 6,617e-04$). Esto demuestra que los pacientes que fallecen en la UCI presentan un patrón de ventilación diferente que los que sobreviven.

En segundo lugar, podemos observar en la figura 9 la gráfica de diagnóstico Obstructivo que cuenta con una tendencia similar respecto al gráfico de SDRA. La mayor diferencia se refleja en el caso de Exitus UCI, en el que vuelven a aparecer algunos episodios por encima de los 30 cmH₂O, aunque un 94,94% están por debajo del límite. Estos datos muestran cierta mejoría respecto a los episodios con SDRA. De nuevo, se observa una diferencia significativa entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 0,001$), volviendo a mostrar que ambos grupos tienen patrones distintos.

Para los episodios agrupados en Resto Diagnósticos representados en la figura 10, los valores de PM son generalmente más bajos que en los otros dos diagnósticos. El grupo Exitus UCI tiene algunos puntos por encima del máximo recomendado, pero menos en comparación con los diagnósticos estudiados anteriormente. El 97,57% de los episodios se mantienen por debajo del límite, lo cual sigue siendo superior al porcentaje observado en SDRA y Obstructivo. En este caso también se observan diferencias significativas entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 3,161e-07$).

A continuación, vamos a para a la comparación entre los diagnósticos (SDRA, Obstructivo y Resto Diagnósticos).

En el grupo Vivo-Vivo se observa una diferencia significativa entre SDRA y Obstructivo ($p = 0,005$), así como entre SDRA y Resto Diagnósticos ($p = 2,341e-24$). Estos datos muestran que los episodios con SDRA presentan una PM diferente al resto. En el caso de Vivo-Exitus, la diferencia entre SDRA y Resto Diagnósticos también es notable ($p = 6,73e-04$). Por último, en el grupo Exitus UCI las diferencias son más marcadas puesto que SDRA frente a Resto Diagnósticos cuenta con un valor ($p = 6,791e-11$) y Obstructivo frente a Resto Diagnósticos ($p = 7,892e-08$) mostrando diferencias significativas en la calidad de ventilación. En el resto de comparaciones no se han obtenido resultados significativos que muestren una diferencia clara, como se puede observar en la tabla 15.

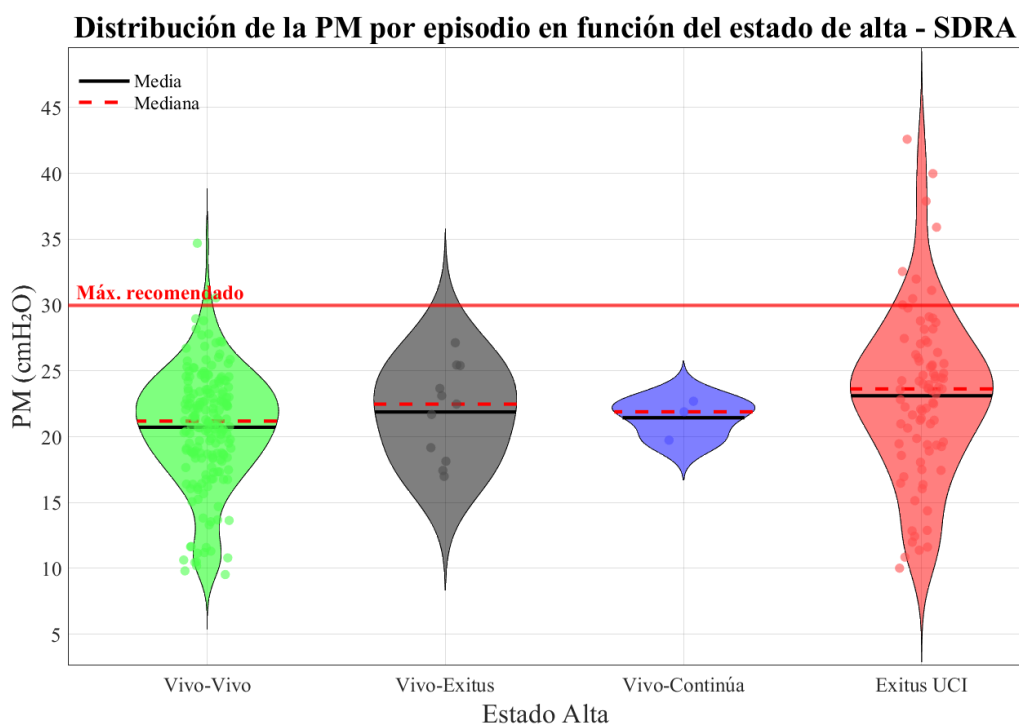


Figura 8. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

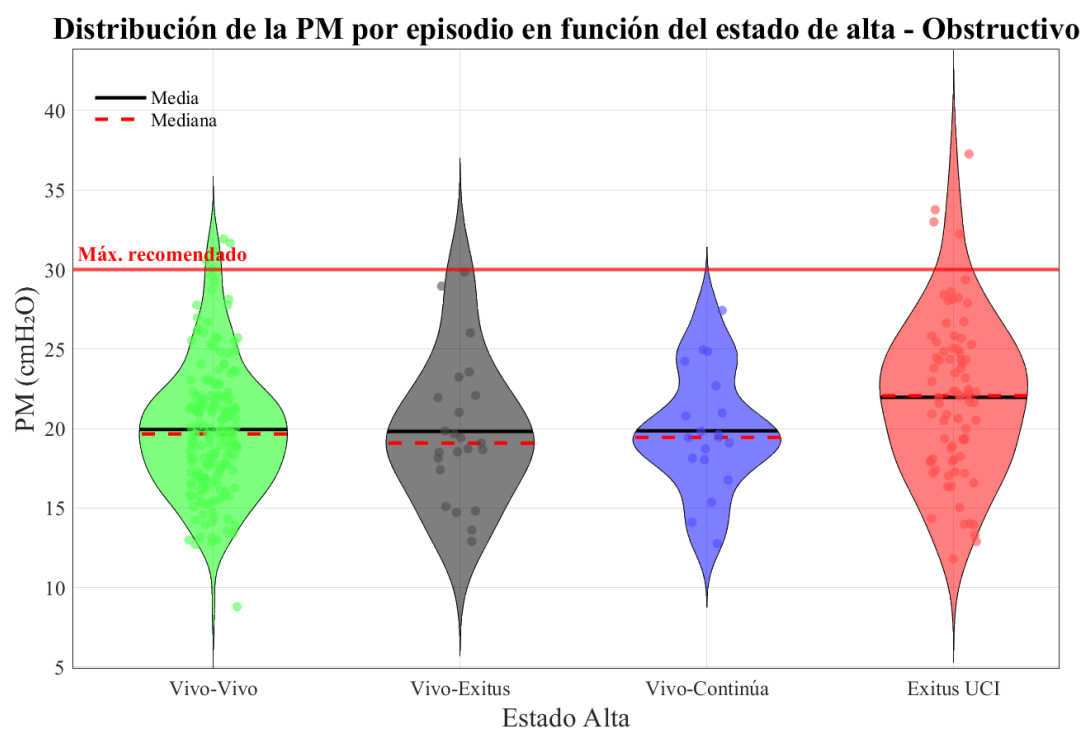


Figura 9. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstrutivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

Distribución de la PM por episodio en función del estado de alta - Resto Diagnósticos

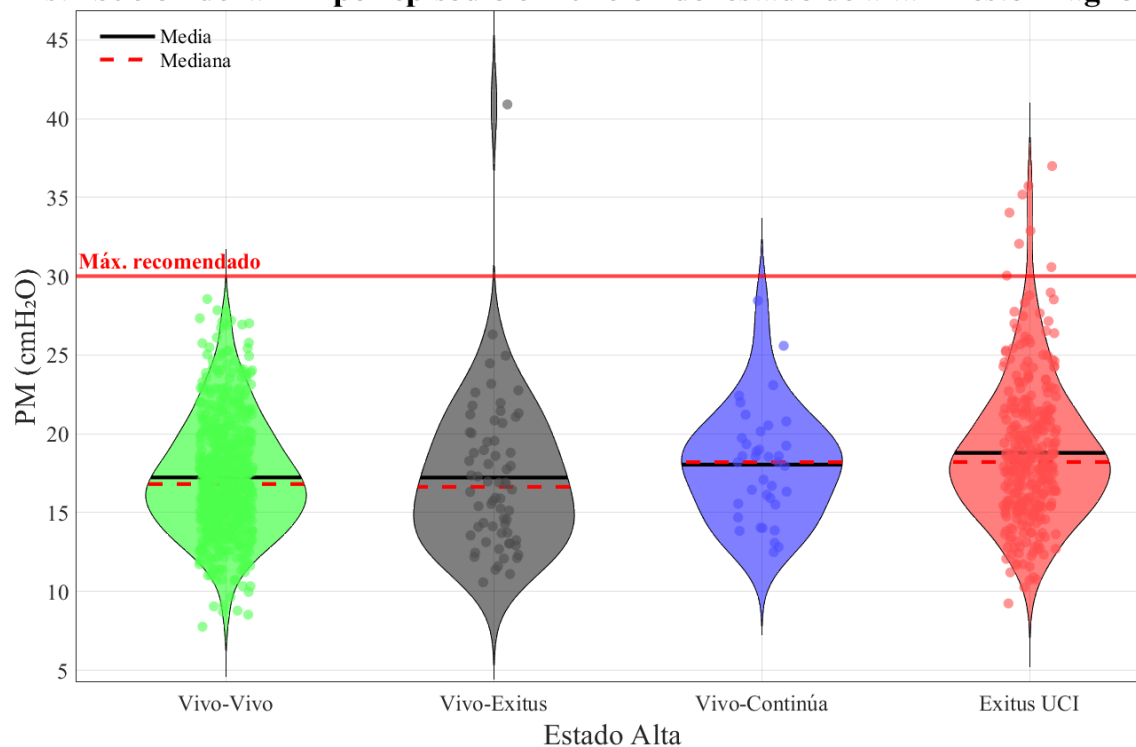


Figura 10. Violin plot de la distribución de la media de la PM por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.4 Análisis individual de la DP

4.4.1 Análisis base DP

En la figura 11 se muestra la distribución de la DP para todos los datos, sin distinción por grupo, en un *violin plot*. Se puede observar que tanto la mediana de la DP como la media se encuentran por debajo del valor de 15 cmH₂O, que es el límite recomendado. Esto muestra una tendencia general hacia valores de DP considerados seguros según las recomendaciones. El porcentaje de datos con una DP inferior a 15 cmH₂O es del 77,81%, por lo que la mayoría de los valores cumplen con este criterio. Sin embargo, aún existe un 22,19% de los datos que superan este umbral, lo cual es relevante desde un punto de vista clínico.

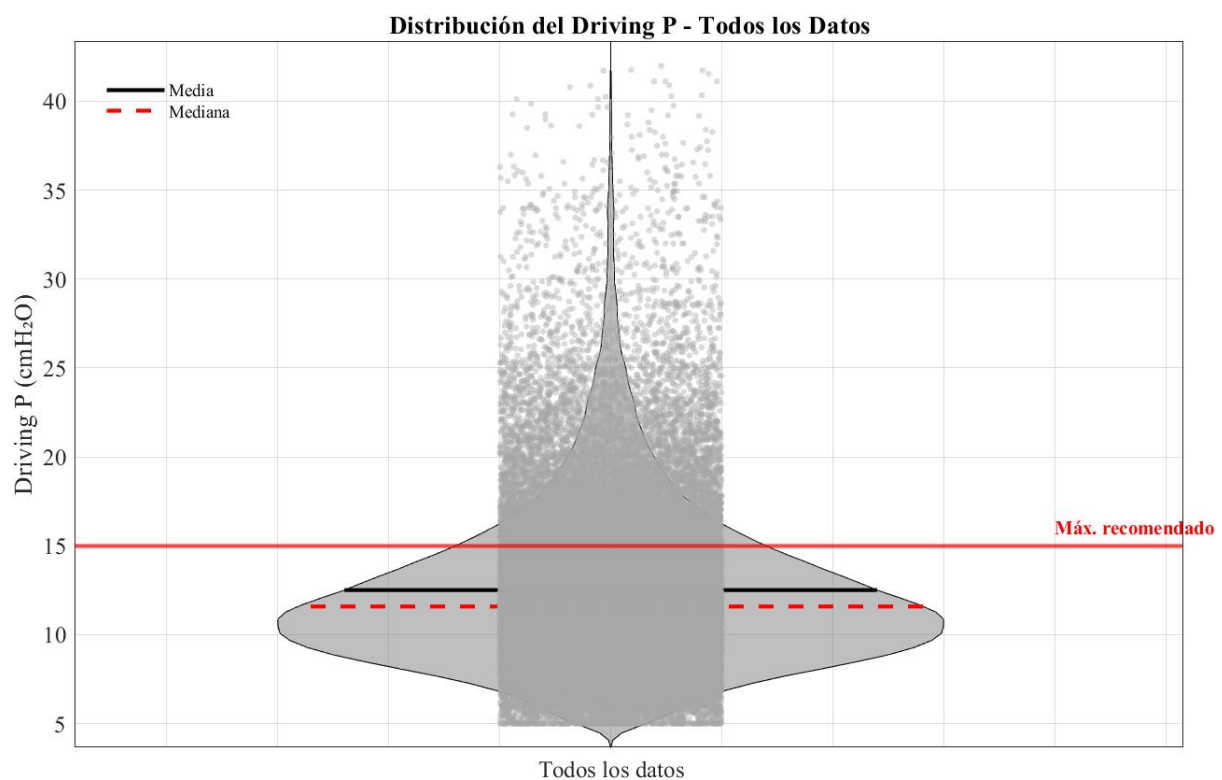


Figura 11. Violin plot general de la distribución de la DP en cmH₂O representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado

En la figura 12 se muestra un gráfico de la distribución de la media de la DP por episodios. En él se observa que la mayoría (85,23%) se sitúan por debajo del valor máximo recomendado. De esta forma se encuentran, por tanto, la media y la mediana también por debajo. Esto indica que la mayoría de los pacientes tienen una DP aceptable en términos del umbral clínico considerado. Este análisis refuerza que, en general, los episodios tienen una DP controlada. No obstante, una fracción significativa de los puntos supera el valor recomendado, por lo que se debe prestar atención a estos casos específicos.

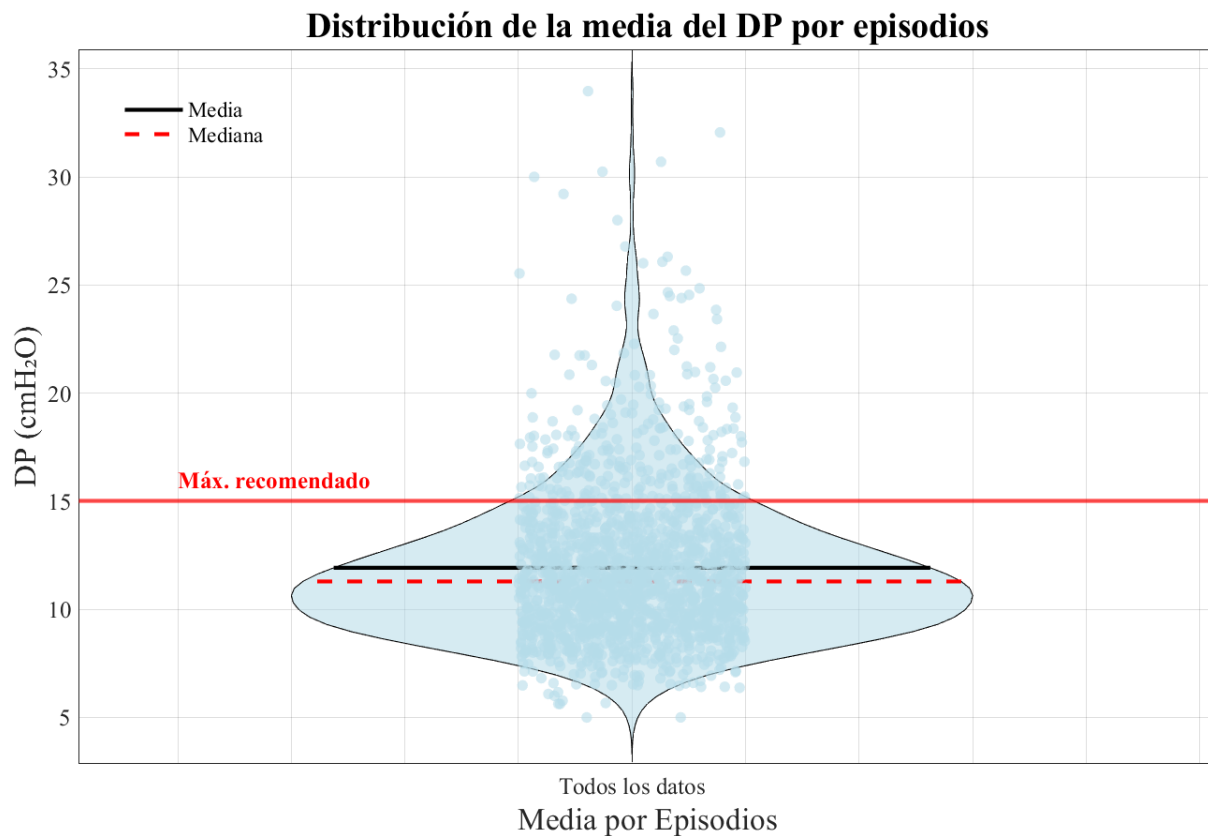


Figura 12. Violin plot general de la distribución del valor medio de la PM en cmH₂O por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado

4.4.2 Análisis de la PM en función del estado de alta

La figura 13 muestra la distribución de la DP y cómo varían la media y la mediana en los diferentes estados de alta: Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa y Exitus UCI. Para todo ello se tiene en cuenta el máximo recomendado (15 cmH₂O). La mayoría de los episodios están por debajo del umbral, pero las diferencias entre los grupos son notables.

El grupo Vivo-Vivo presenta una proporción significativa de valores con DP por debajo del umbral recomendado, como se puede ver en la tabla 7 con un 84,05%. Por tanto, esto refleja un buen ajuste a la ventilación protectora. En este grupo, la media de la DP es la más baja de todos los grupos, tal y como se observa en la figura 13, con una concentración de puntos en torno a los 10-12 cmH₂O. Por otro lado, en el grupo Vivo-Exitus, el porcentaje de valores con DP por debajo de 15 cmH₂O es menor, 75,34%, lo cual refleja un peor ajuste. El grupo Vivo-Continúa muestra una tendencia similar al Vivo-Exitus, con un 75,45% de datos por debajo del máximo recomendado. Si nos fijamos en el grupo Exitus UCI, el porcentaje de valores que cumplen con el límite recomendado es el más bajo, un 65,57%, lo cual podría estar relacionado con los resultados clínicos más graves.

Los p-valores aparecen reflejados en la tabla 8 y muestran entre los diferentes grupos que las diferencias son estadísticamente significativas en todos los casos: Vivo-Vivo y Vivo-Exitus ($p = 2,3483e-07$) y Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 2,4329e-50$), ya que los datos en el grupo Exitus UCI presentan DP mucho más altos. También al comparar Vivo-Vivo y Vivo-Continúa ($p = 4,2853e-28$), Vivo-Exitus y Vivo-Continúa ($p = 4,495e-05$), Vivo-Exitus y Exitus UCI ($p = 2,173e-41$), y Vivo-Continúa y Exitus UCI ($p = 4,545e-14$).

En resumen, la figura 13 y los resultados asociados a ella muestran que los pacientes del grupo Exitus UCI son los que presentan los peores valores de DP. Esto es así ya que tienen una menor proporción de datos dentro del rango recomendado. Sin embargo, el grupo Vivo-Vivo es el que presenta la mejor adherencia a los valores protectores. Las diferencias entre los grupos son estadísticamente significativas y sugieren una relación clara entre los valores elevados de DP y peores desenlaces clínicos.

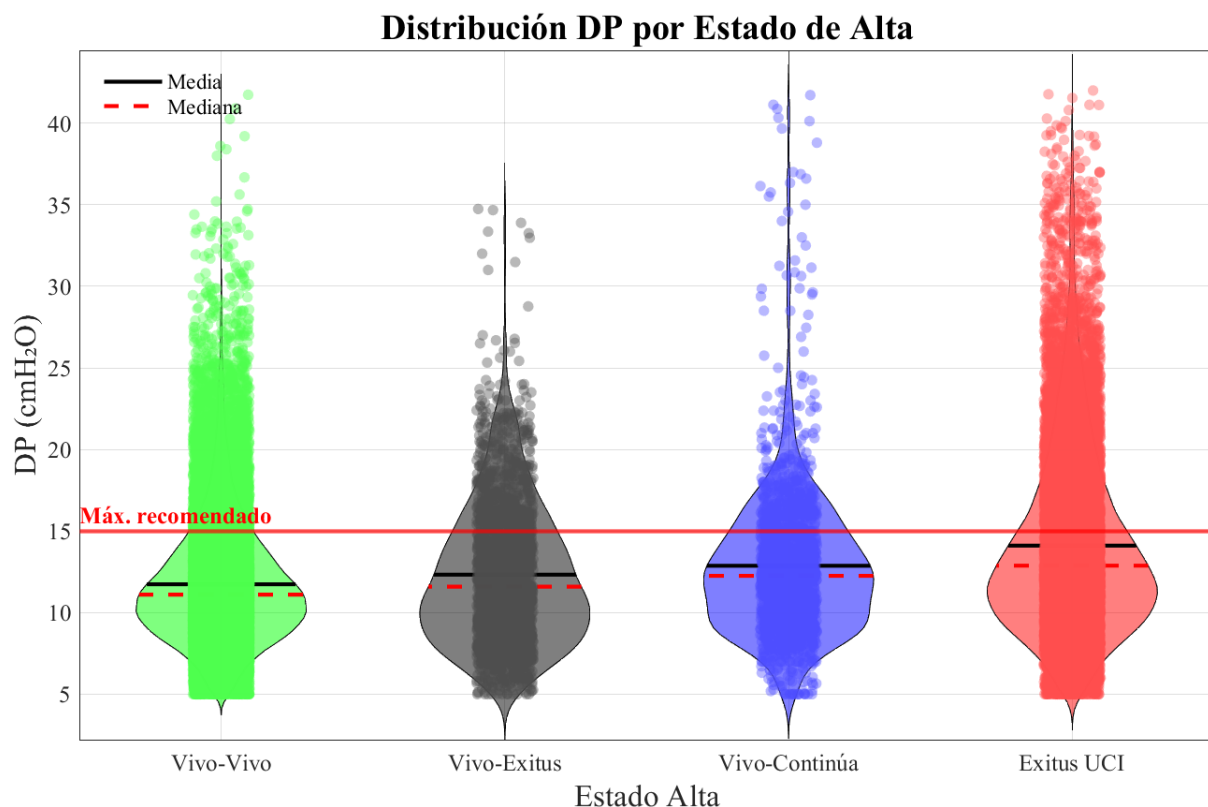


Figura 13. Violin plot de la distribución de la DP en cmH₂O representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.4.3 Análisis del valor medio de la DP por episodio en función del estado de alta

La figura 14 muestra un *violin plot* de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta en las cuatro categorías: Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa, y Exitus UCI. En este gráfico también se marca el límite máximo recomendado (15 cmH₂O), que sirve como referencia para evaluar los resultados clínicos.

El grupo Vivo-Vivo tiene un porcentaje elevado de episodios por debajo de 15 cmH₂O, un 90,76%. Esto refleja un buen control de la DP en este grupo. En el caso de Vivo-Exitus se observa un porcentaje algo inferior, 82%; lo cual indica que la DP es mayor en comparación con Vivo-Vivo. Por otro lado, el grupo Vivo-Continúa presenta un comportamiento intermedio ya que tiene un 88,13% de episodios por debajo del límite. Por último, se observa que el grupo Exitus UCI tiene el menor porcentaje, solo un 74,23%. Esto refleja un aumento en la presión y su potencial relación con peores resultados clínicos.

La diferencia entre Vivo-Vivo y Exitus UCI es estadísticamente significativa ($p = 8,76e-14$), lo cual respalda la diferencia en las distribuciones de la DP entre ambos grupos. En

la comparación de Vivo-Exitus y Exitus UCI, también se observa una diferencia significativa ($p = 0,003$). Sin embargo, la comparación entre Vivo-Vivo y Vivo-Exitus tiene significación estadística ($p = 0,735$), ni en el caso de Vivo-Vivo y Vivo-Continúa ($p = 0,052$), ni en el caso de Vivo-Exitus y Vivo-Continúa ($p = 0,255$), ni Vivo-Continúa y Exitus UCI ($p = 0,223$).

En resumen, la figura 14 junto con sus porcentajes y p-valores indican que el grupo Exitus UCI tiene una mayor proporción de episodios con una DP superior a los 15 cmH₂O, lo cual puede estar relacionado con su desenlace clínico desfavorable.

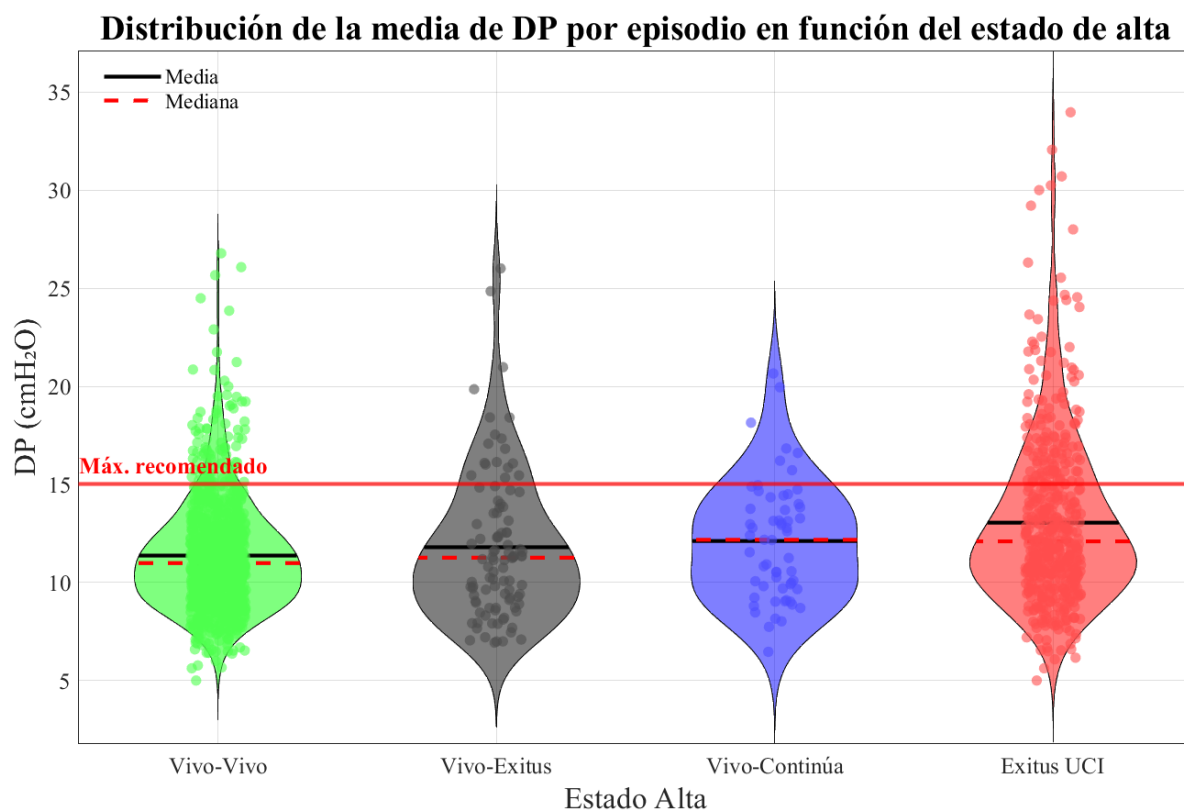


Figura 14. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.4.4 Análisis del valor medio de la DP por episodio en función del estado de alta UCI

En la figura 15 se representa el análisis de la media de DP por episodio en función del estado de alta en UCI diferenciándose entre Vivos en UCI y Exitus en UCI. Para ello se utiliza un *violin plot*.

El grupo de los Vivos en UCI presenta tanto la media como la mediana de la DP claramente por debajo del límite máximo recomendado, encontrándose la mediana cerca de 11 cmH₂O. Por tanto, la mayor parte de los episodios se encuentran por debajo del límite, en este caso el 89,88%. Sin embargo, los Exitus en UCI tienen una distribución más dispersa, apareciendo más episodios por encima del valor recomendado. Únicamente un 74,24% se encuentran por debajo de este valor. La mediana en este grupo es más alta que la de los Vivos en UCI y cercana a 15 cmH₂O. Estos datos podrían reflejar una relación con peores resultados clínicos. El p-valor obtenido del análisis estadístico entre los dos grupos es extremadamente bajo ($p = 3,41e-13$), lo cual indica una diferencia estadísticamente significativa. Esto refuerza la idea de que una DP más elevada podría estar asociada a peores resultados en los pacientes. Los Vivos en UCI muestran un mayor ajuste a los valores recomendados de DP, mientras que en los Exitus en UCI hay una tendencia hacia valores más altos de DP, lo que podría estar correlacionado con el desenlace desfavorable en este grupo. La diferencia entre ambos grupos es significativa, lo que subraya la importancia de controlar la DP en los pacientes críticos para mejorar los resultados.

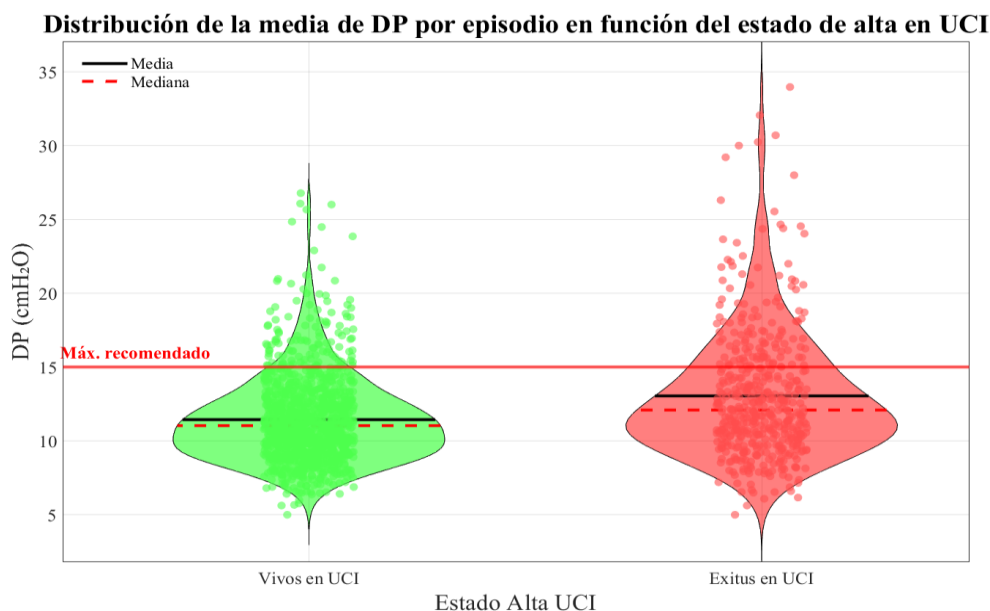


Figura 15. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.4.5 Análisis del valor medio de la DP por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico

En primer lugar, analizamos la figura 16 que muestra la distribución de la DP de los episodios con SDRA gracias a un *violin plot*. El gráfico muestra una distribución compacta en el caso del grupo Vivo-Vivo, estando la mayoría de los valores por debajo del máximo recomendado, 15 cmH₂O, siendo un 86,24% de los episodios. Mientras que en el grupo Exitus UCI, se observa una mayor dispersión y varios valores superiores al límite, estando únicamente un 56,47% por debajo.

En cuanto al grupo Obstructivo este se representa en la figura 17. La distribución de la DP del grupo Vivo-Vivo y del Exitus UCI es similar a la que refleja la distribución del grupo SDRA analizada anteriormente. El grupo Vivo-Vivo tiene un 85,64% de los episodios por debajo del valor recomendado y el Exitus UCI un 58,23%, observándose una dispersión notable en torno a los 15-25 cmH₂O.

Si pasamos a estudiar el grupo Resto Diagnósticos, en la figura 18 se observa que tienen una distribución similar pero los porcentajes por debajo del máximo recomendado son mayores que en los otros grupos. Situándose un 93,65% episodios Vivo-Vivo por debajo de 15 cmH₂O. En Exitus UCI se aprecia, de nuevo, una mayor dispersión en los valores de DP, aunque el porcentaje por debajo del límite también es mayor que en el resto siendo 82,67%.

Al analizar los p-valores entre los grupos Vivo-Vivo y Exitus UCI, se observa que hay diferencias significativas en todos los diagnósticos: SDRA ($p = 1,075e-07$), Obstructivo ($p = 4,826e-05$) y Resto Diagnósticos ($p = 9,733e-09$). Entre Vivo-Exitus y Exitus UCI, los p-valores son más altos. En el caso de SDRA ($p = 0,512$) las diferencias no son significativas, al igual que en el diagnóstico Obstructivo ($p = 0,078$). Sin embargo, en Resto de Diagnósticos sí se observan diferencias ($p = 0,004$) entre los dos estados de alta.

En resumen, este análisis muestra que, en todos los diagnósticos, los pacientes que sobreviven (Vivo-Vivo) tienden a tener un mejor cumplimiento del límite de 15 cmH₂O. En cambio, los pacientes Exitus en UCI muestran un porcentaje mucho menor de episodios por debajo de este valor, especialmente en SDRA y Obstructivo.

A continuación, si comparamos los diagnósticos en cada estado de alta, se puede observar que, en el grupo Vivo-Vivo, las diferencias entre SDRA y Resto Diagnósticos son significativas ($p = 3,287e-11$), así como entre Obstructivo y Resto Diagnósticos ($p = 7,232e-14$). Las diferencias en el grupo Vivo-Exitus son significativas al comparar SDRA y Resto Diagnósticos ($p = 0,006$), y Obstructivo y Resto Diagnósticos ($p = 0,012$). En el caso de Exitus UCI, el Resto de Diagnósticos también presenta una diferencia significativa con SDRA ($p = 2,387e-09$) y con Obstructivo ($p = 1,642e-07$). Sin embargo, los p-valores del grupo Vivo-Continúa no reflejan diferencias en función del diagnóstico.

En resumen, en todos los grupos excepto en Vivo-Continúa se aprecian diferencias significativas entre SDRA y Resto Diagnósticos y entre Obstructivo y Resto Diagnósticos, pero no entre SDRA y Obstructivo.

Estos resultados sugieren que el DP es mayor en pacientes con Exitus UCI en comparación con Vivo-Vivo, especialmente en grupos de diagnóstico como SDRA y Resto Diagnósticos. Los pacientes que sobreviven a la UCI (Vivo-Vivo), suelen tener diagnóstico con una buena adherencia a la recomendación de mantener un DP por debajo de 15 cmH₂O. Sin embargo, en el caso de los pacientes que fallecen en la UCI, la adherencia es menor, con una mayor dispersión de valores de DP, especialmente si los diagnósticos son de SDRA y Obstructivo. Los p-valores de las tablas 14 y 15 confirman que las diferencias en DP entre estados de alta son significativas, sobre todo entre Vivo-Vivo y Exitus UCI, lo que indica que el manejo del DP podría estar relacionado con los peores desenlaces en estos pacientes.

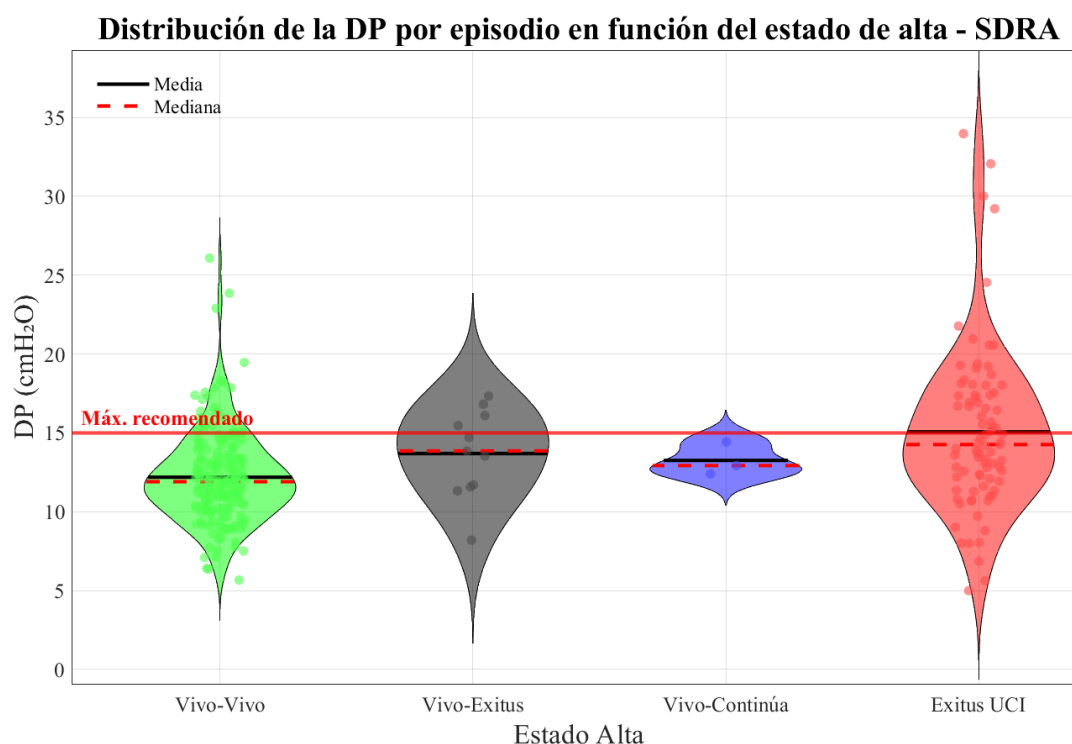


Figura 16. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

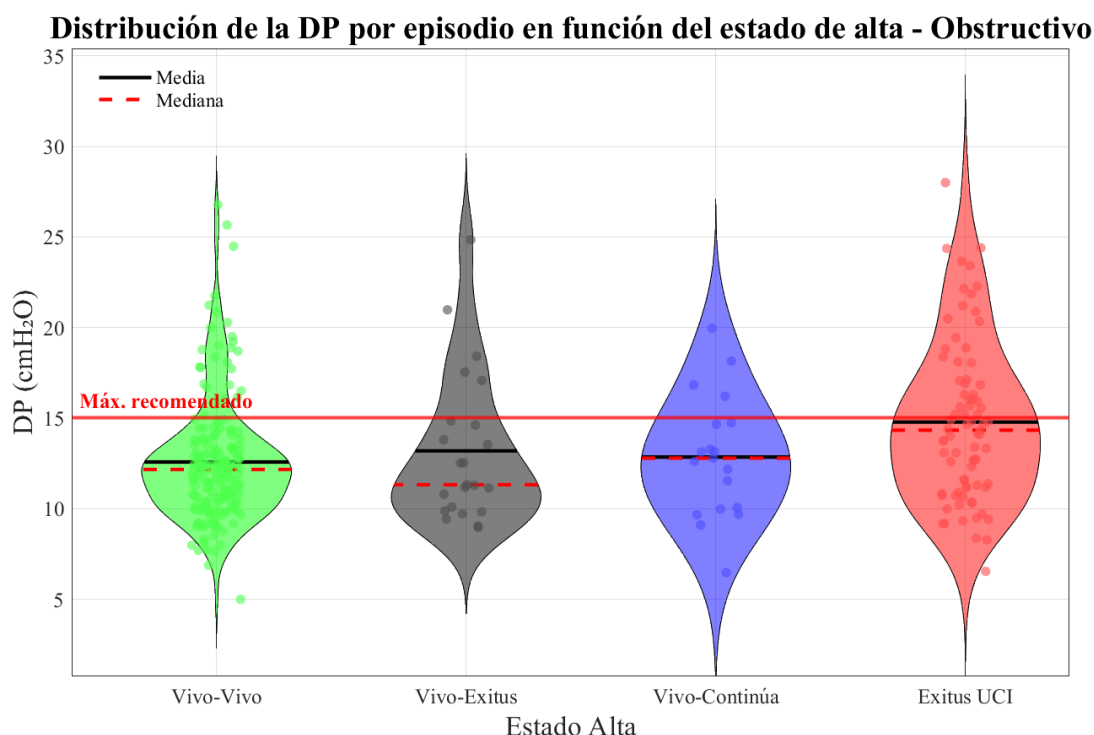


Figura 17. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstrutivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

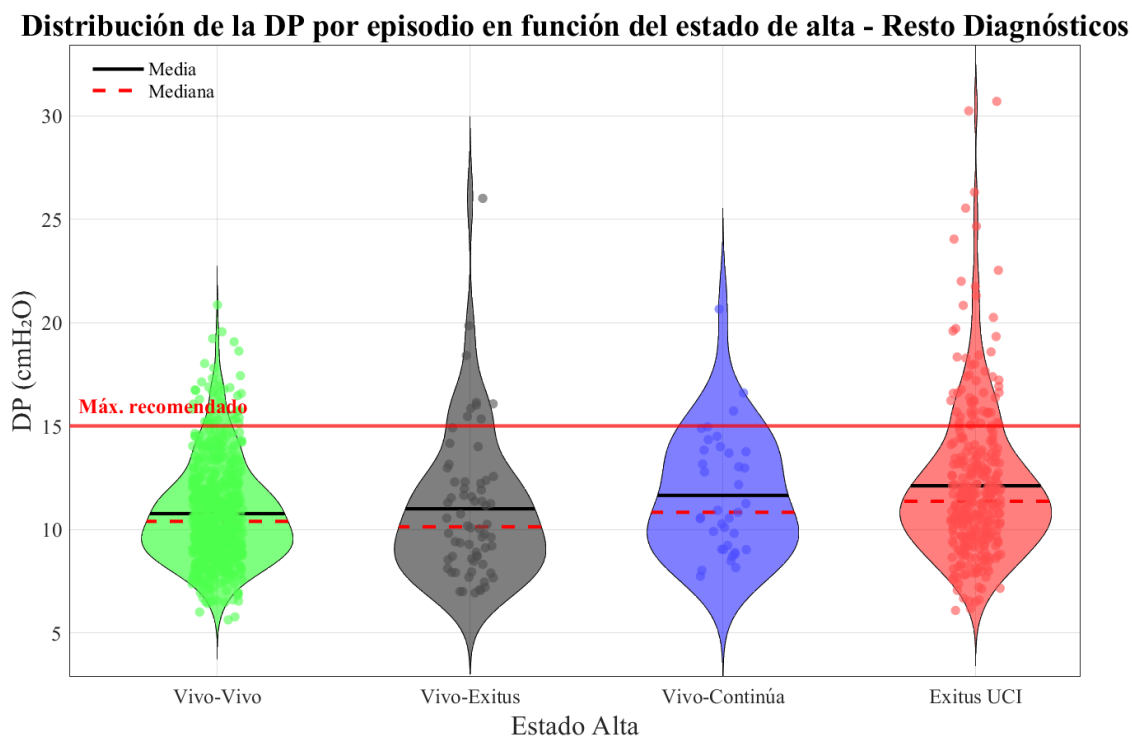


Figura 18. Violin plot de la distribución de la media de la DP por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.5 Análisis individual del VT/peso ideal

En este apartado vamos a llevar a cabo el estudio del VT/peso ideal. Estudiaremos los mismos casos que en las variables anteriores.

4.5.1 Análisis base VT/peso ideal

La figura 19 muestra un *violin plot* en el que se representa la distribución del VT ajustado por el peso ideal, con todos los datos. También están representadas la media y la mediana. Se puede observar una distribución bastante concentrada en torno al valor recomendado de 8 ml/kg, siendo un 69,72% el porcentaje de valores que se encuentran por debajo del límite. Este dato indica que en casi un 30% de los casos, los pacientes están siendo ventilados con un volumen mayor al recomendado, lo cual podría conllevar un riesgo adicional en la ventilación.

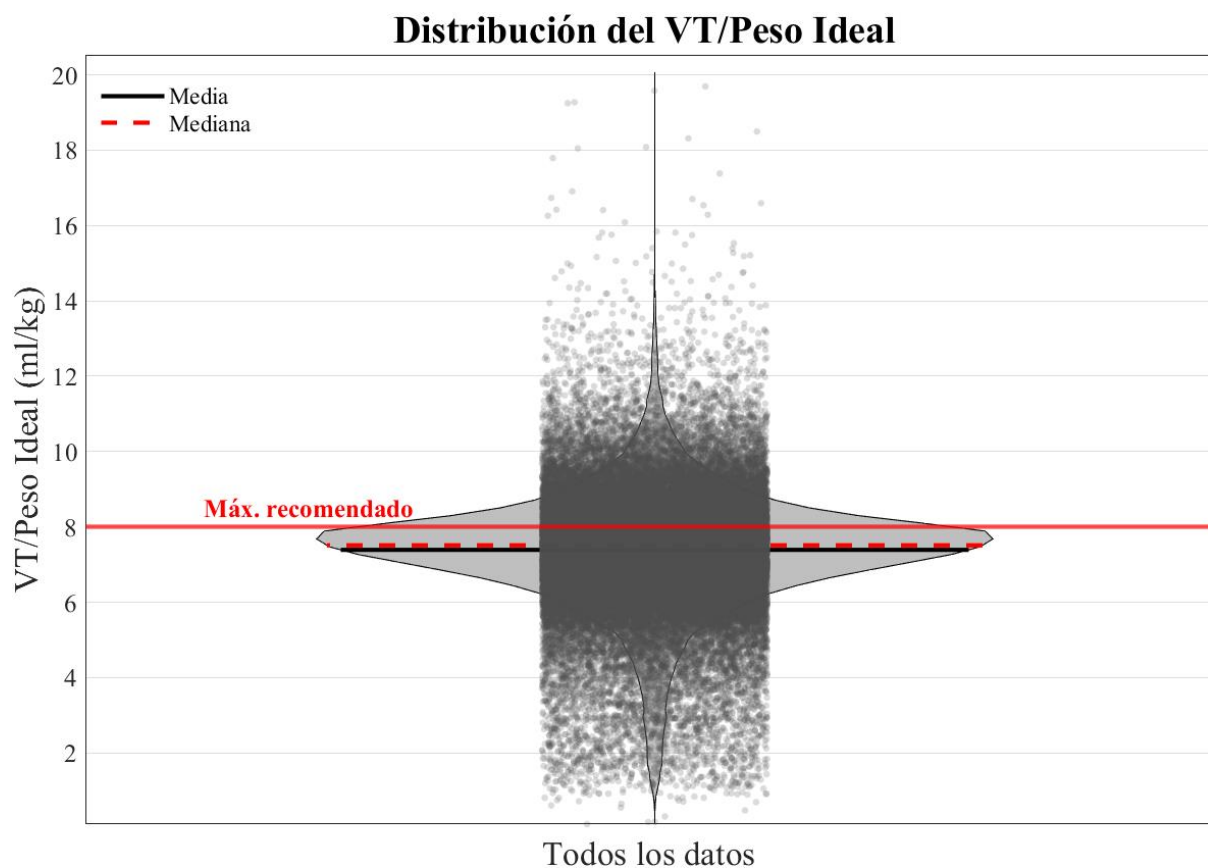


Figura 19. Violin plot general de la distribución del VT/peso ideal en ml/kg representando todos los valores. Acompañado de la media y mediana del total de datos y del máximo recomendado

Si pasamos a analizar a figura 20, esta representa un *violin plot* similar al analizado anteriormente. En este caso representa la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio. La distribución está bastante centrada entre los valores 7 y 9 ml/kg, estando tanto la media como la mediana muy cercanas a 8 ml/kg (límite recomendado). Un 73% de los episodios se encuentran por debajo del valor límite recomendado, por lo que la mayoría de los datos cumplen el límite de seguridad. Sin embargo, algunos de ellos están más dispersos, por lo que existe cierta variabilidad. En estos casos podrían llevarse a cabo ajustes adicionales para mejorar este parámetro. Es importante destacar que también aparecen episodios que valores bastante bajos, inferiores a 4 ml/kg por lo que sería interesante saber si se asocian con algún diagnóstico o estado de alta en concreto.

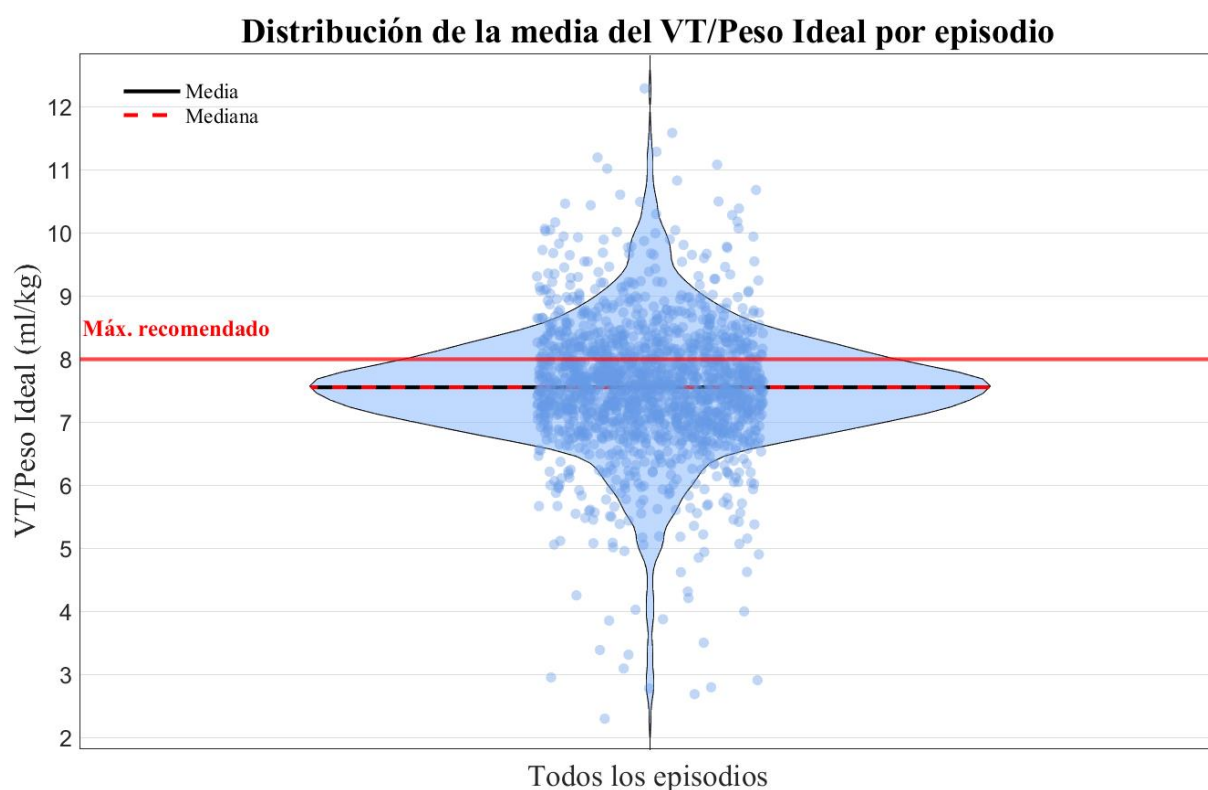


Figura 20. Violin plot general de la distribución del valor medio del VT/peso ideal en ml/kg por episodio acompañado de la media y mediana y del límite máximo recomendado

4.5.2 Análisis del VT/peso ideal en función del estado de alta

La figura 21 refleja el estudio de la distribución de VT/Peso Ideal diferenciando entre los 4 grupos de estado de alta: Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa, Exitus UCI. Para representarlo se utiliza un *violin plot*. En el caso del grupo Vivo-Vivo, un 69,38% de los datos se encuentran por debajo de 8 ml/kg, en Vivo-Exitus un 67,12%, en Vivo-Continúa un 68,76% y, por último, en Exitus UCI un 71,14% de los valores están por debajo del umbral. En base a los datos anteriores, la mayor parte de los valores de todos los grupos se encuentran dentro del límite recomendado. Esto podría indicar que el VT en función del peso ideal está ajustado en la mayoría de los casos. El grupo con el porcentaje más alto de valores que se encuentran por debajo de 8 ml/kg es Exitus UCI.

Al analizar los p-valores entre los diferentes estados de alta, se observa que Vivo-Vivo y Vivo-Exitus no difieren de forma significativa ($p = 0,4125$). Sin embargo, entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 6,3754e-54$), y Vivo-Exitus y Exitus UCI ($p = 3,9171e-17$) sí se dan diferencias. Esto indica que los pacientes que fallecieron en UCI tienen un patrón diferente en cuanto a VT/Peso Ideal que los que sobrevivieron. Esto podría indicar diferencias en el manejo de la ventilación o la gravedad de los pacientes. Las comparaciones entre Vivo-Vivo y Vivo-Continúa ($p = 1,5295e-04$), Vivo-Exitus y Vivo-Continúa ($p = 5,6808e-03$), y Vivo-Continúa y Exitus UCI ($p = 7,3693e-05$) también muestran diferencias significativas en cuanto al valor de VT/Peso Ideal.

A nivel general, la mayoría de los valores de VT/peso ideal están dentro de los límites recomendados (<8 ml/kg). Sin embargo, los análisis estadísticos reflejan diferencias importantes entre los grupos Exitus UCI y los demás, lo que podría estar asociado a variaciones en la gravedad de los pacientes o en el manejo ventilatorio, especialmente en aquellos que fallecieron en la UCI. Pero debemos tener en cuenta que en este caso los porcentajes de pacientes por debajo del límite fueron muy similares y no aquellos pacientes con menos datos por debajo del límite fueron los que tuvieron mejor desenlace.

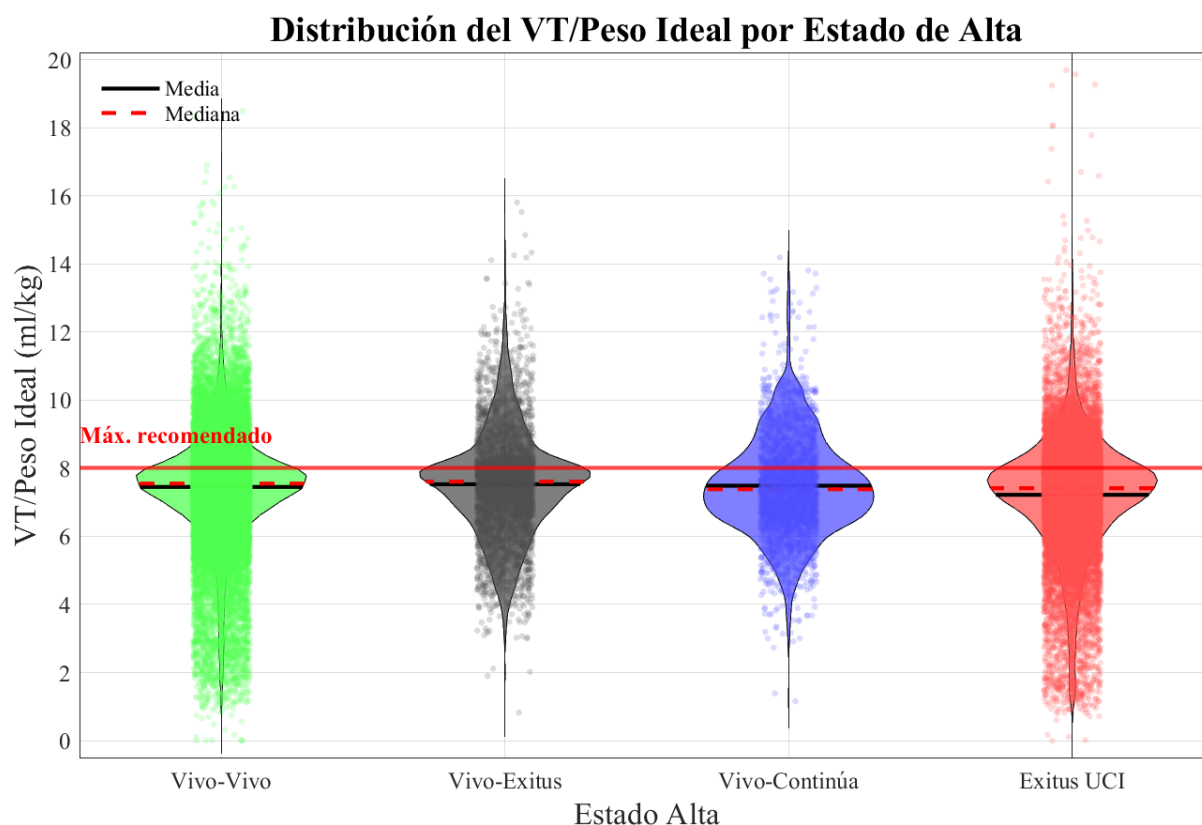


Figura 21. Violin plot de la distribución del VT/peso ideal en kg/ml representando todos los valores en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.5.3 Análisis del valor medio del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta

La figura 22 muestra un *violin plot* de la distribución de la media de VT/peso ideal por episodio diferenciando entre los 4 grupos de estado de alta. La mayor parte de los valores se encuentran en un rango cercano a 8 ml/kg, la media y la mediana también se encuentran cercanas a este valor. Además, los episodios por encima de 10 ml/kg son poco frecuentes. En el caso del grupo Vivo-Vivo el porcentaje de episodios por debajo del máximo recomendado es de 74,98%, en el grupo Vivo-Exitus el número de episodios que no sobrepasan el umbral es menor, 66%, y en Vivo-Continúa aún menor 64,41%. Por último, el grupo Exitus UCI presenta un 71,40% dentro de los valores recomendados.

El análisis estadístico muestra que no hay diferencias significativas entre los distintos grupos, puesto que se obtienen p-valores altos como se muestra en la tabla 10, siendo para Vivo-Vivo y Vivo-Exitus ($p = 0,183$), Vivo-Vivo y Vivo-Continúa ($p = 0,379$), Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 0,774$) y, por último, el resto de pares comparativos (Vivo-Exitus y Vivo-

Continúa, Vivo-Exitus y Exitus UCI, y Vivo-Continúa y Exitus UCI) tienen p-valores que varían entre 0,186 y 0,956.

En resumen, a pesar de las pequeñas diferencias observadas en los porcentajes entre los grupos, los resultados sugieren que el VT/peso ideal se gestiona de manera similar entre los distintos estados de alta. Además, una proporción considerable de los episodios está dentro de los valores recomendados, lo cual indica una ventilación protectora. Cabe destacar que los grupos Vivo-Vivo y Exitus UCI cuentan con un número considerable de pacientes con valores inferiores a 4 ml/kg.

Distribución de la media del VT/Peso Ideal por episodio en función del estado de alta

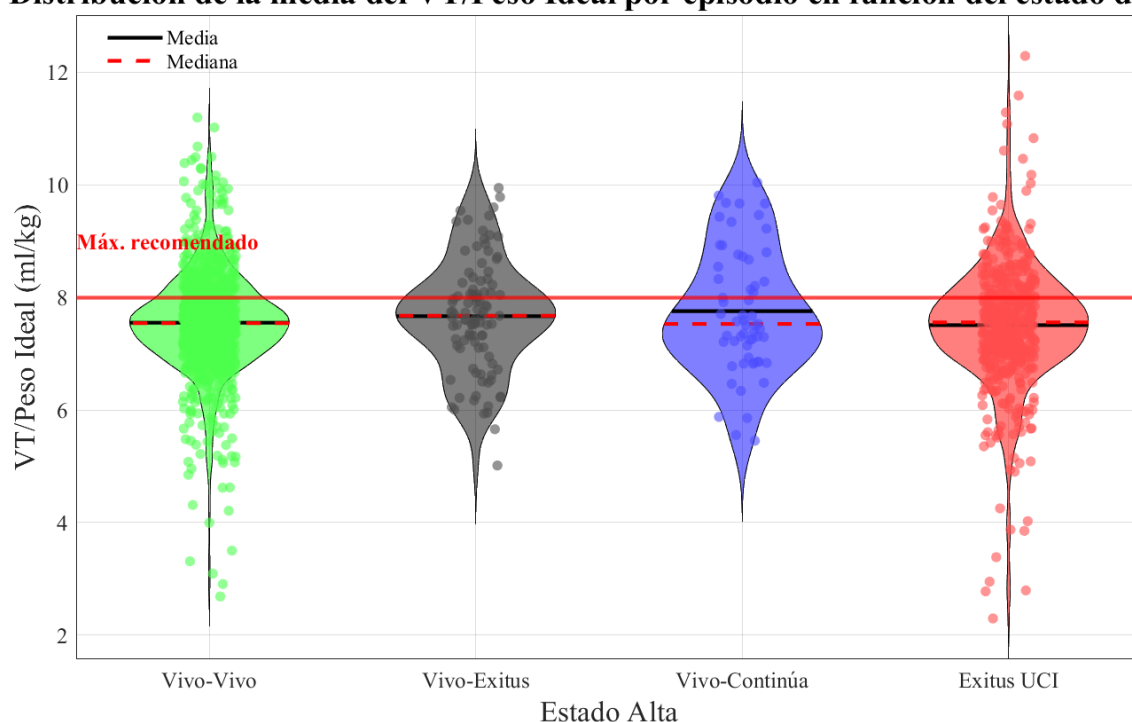


Figura 22. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.5.4 Análisis del valor medio de la VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta UCI

La figura 23 representa un *violin plot* en el que se muestra la distribución del VT/peso ideal en los grupos de Vivos en UCI y Exitus en UCI. Además, se puede observar la media y la mediana para cada grupo. La distribución obtenida en el grupo de Vivos en UCI se concentra más en torno a la media, mientras que en el grupo Exitus en UCI se observa una dispersión ligeramente mayor. Sin embargo, teniendo en cuenta el porcentaje de episodios que se encuentran por debajo del máximo recomendado en cada caso, se reflejan valores similares. En el caso de Vivos en UCI es un 73,67%, mientras que en el de Exitus en UCI es ligeramente menor, un 71,4%.

El p-valor obtenido ($p = 0,5340$) confirma que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. Este hecho constata que no se observan diferencias relevantes entre los pacientes que sobreviven y los que fallecen en la UCI.

Distribución de la media del VT/Peso Ideal por episodio en función del estado de alta en UCI

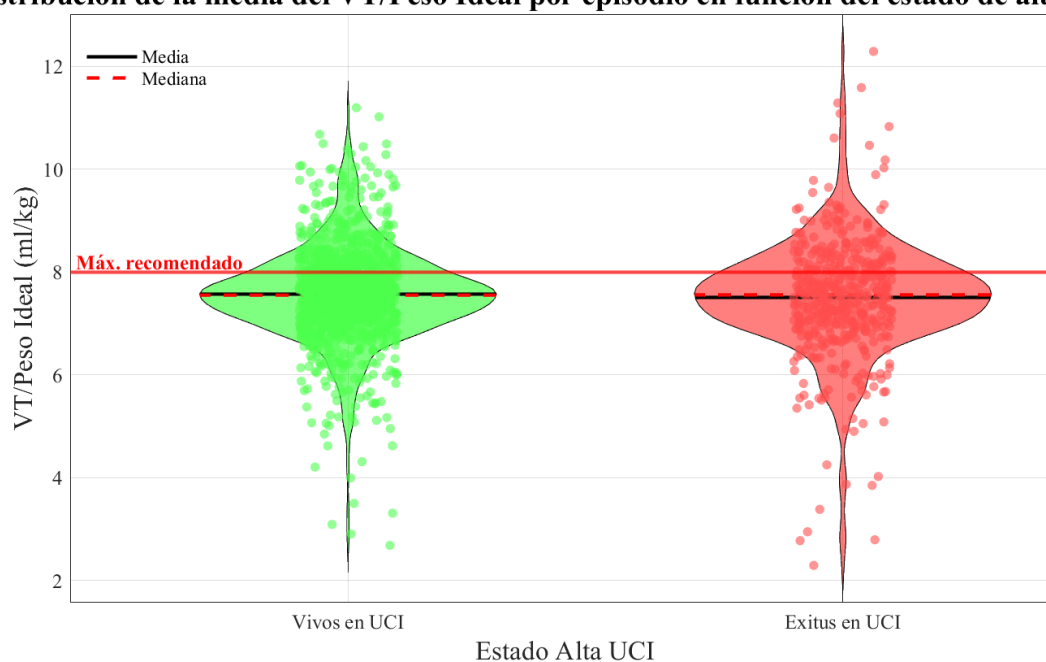


Figura 23. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta UCI ('Vivos en UCI', 'Exitus en UCI') acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

4.5.5 Análisis del valor medio del VT/peso ideal por paciente en función del estado de alta separado por diagnóstico

Las figuras 24, 25 y 26 representan una serie de *violin plots* que muestran la media de VT/peso ideal en los 4 estados de alta, Vivo-Vivo, Vivo-Exitus, Vivo-Continúa y Exitus UCI, en función del diagnóstico de cada episodio SDRA, Obstructivo y Resto de Diagnósticos.

En el análisis del SDRA se ha obtenido que, dentro del grupo Vivo-Vivo, el 87,83% de los pacientes tienen un VT menor a 8 ml/kg. Esto indica una buena adherencia a las recomendaciones de ventilación. En el caso de Exitus UCI el porcentaje es ligeramente mayor siendo 88,24%. Sin embargo, en el grupo de Vivo-Exitus el porcentaje disminuye hasta 72,73% y en Vivo-Continúa solo el 33,33% de los pacientes no superan el límite. Esto podría reflejar un manejo diferente o menor adherencia a la recomendación en estos pacientes. Sin embargo, al tratarse de solamente 3 episodios esta cifra puede ser algo engañosa ya que ambos valores son muy cercanos al máximo recomendado. Al comparar los diferentes estados de alta de los pacientes con este diagnóstico, se observa una diferencia significativa entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 0,012$). Esto indica que los pacientes que fallecen en UCI tienen una distribución de VT diferente a los que sobreviven. Sin embargo, las diferencias entre todos los demás pares comparativos no son significativas pudiéndose observar los valores en la tabla 14. Estos resultados reflejan que tienen una distribución de VT similar.

En el caso del diagnóstico Obstructivo, los porcentajes obtenidos son bastante homogéneos, siendo los de Vivo-Vivo un 72,87%, Vivo-Exitus 65,22%, Vivo-Continúa 73,68% y Exitus UCI un 65,82%. Estos datos mucho más parejos reflejan una estrategia ventilatoria más consistente en estos pacientes, puesto que no se observan diferencias drásticas en función de los estados de alta. El análisis estadístico muestra que no hay diferencias significativas entre los estados de alta de estos pacientes. Los p-valores son altos como se muestra en la tabla 14, por ejemplo, Vivo-Vivo y Vivo-Exitus tienen un $p = 0,975$, lo cual indica que tienen distribuciones de VT similares. Esto refleja que, en el diagnóstico Obstructivo, la estrategia ventilatoria no varía según el desenlace del paciente.

Al agrupar el Resto de Diagnósticos, también se observan resultados similares. En el grupo Vivo-Vivo, el 71,75% de los pacientes tienen un VT por debajo del máximo recomendado, el grupo Exitus UCI un 68,39%, Vivo-Exitus un 65,15% y Vivo-Continúa un 62,16%. En este caso tampoco se reflejan diferencias significativas, lo cual refuerza la idea de una distribución más homogénea del VT. Los p-valores elevados entre Vivo-Vivo y Exitus UCI ($p = 0,427$), por ejemplo, confirman esta homogeneidad pudiéndose observar el resto en la tabla 13.

Si pasamos a comparar entre diagnósticos en función del estado de alta, sí se observan ciertas diferencias. En el caso del grupo Vivo-Vivo, la comparación de SDRA frente a Obstructivo ($p = 1,428e-07$) y frente a Resto de Diagnósticos ($p = 3,788e-10$), muestra diferencias significativas. Los episodios con SDRA tienden a tener una distribución más compacta, lo cual se ajusta en mayor medida a las recomendaciones de ventilación protectora

en este grupo. Sin embargo, al comparar Obstrutivo con Resto de Diagnósticos no se observan esas diferencias ($p = 0,682$). Tanto en el grupo Vivo-Exitus como en el Vivo-Continúa, las comparaciones entre diagnósticos no muestran diferencias significativas puesto que los p-valores son altos como puede observarse en la tabla 15. En cambio, en el grupo Exitus UCI sí se han obtenido diferencias. Concretamente al comparar SDRA con Obstrutivo ($p = 1,297e-05$) y con Resto de Diagnósticos ($p = 2,393e-11$). Esto podría reflejar que, en los pacientes que fallecen en UCI, la ventilación varía según el diagnóstico, siendo más rigurosa en los casos de SDRA.

En general, la administración de VT/peso ideal parece ser más homogénea en pacientes obstructivos y con otros diagnósticos. En cambio, los pacientes con SDRA tienden a tener mayores fluctuaciones en función del episodio que se presenta, aunque por lo general se ciñen más a los límites recomendables marcados en la práctica clínica. Este tipo de pacientes además cuenta con un mayor número de episodios con valores muy inferiores al máximo recomendado, ya que por debajo de 5 ml/kg se observan una cantidad significativa de episodios, número mucho menor en los otros dos grupos de diagnóstico.

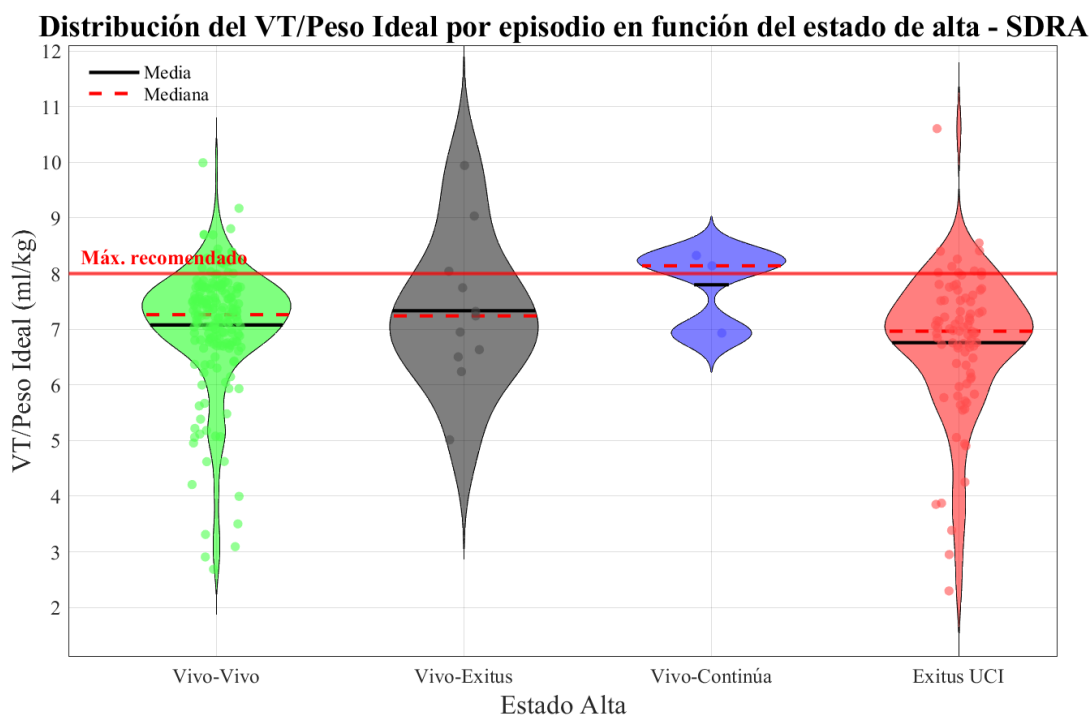


Figura 24. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'SDRA' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

Distribución del VT/Peso Ideal por episodio en función del estado de alta - Obstrutivo

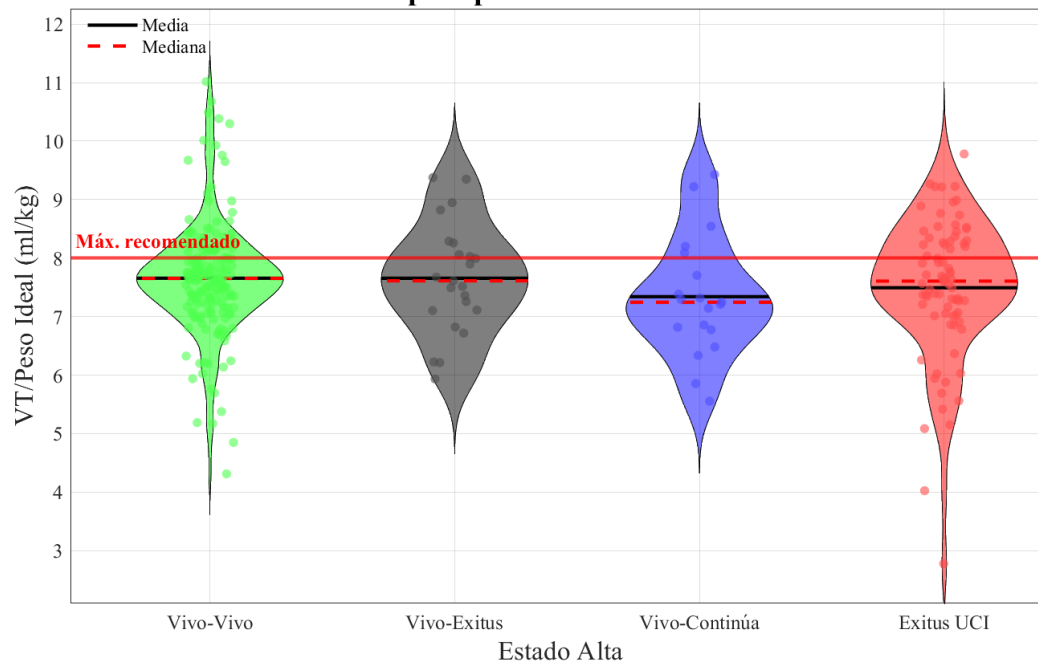


Figura 25. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Obstrutivo' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

Distribución del VT/Peso Ideal por episodio en función del estado de alta - Resto Diagnósticos

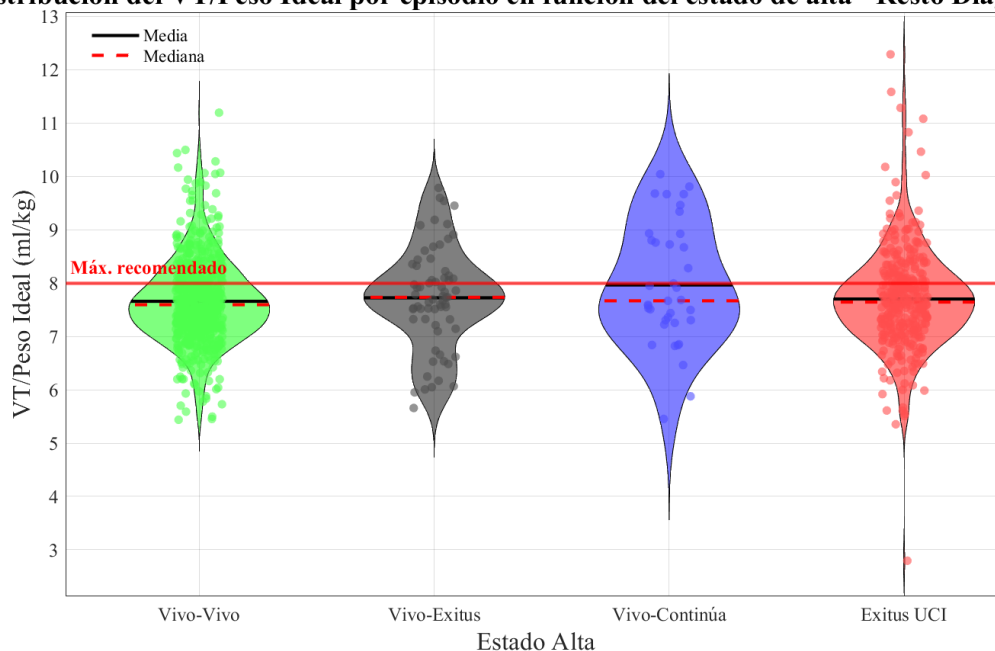


Figura 26. Violin plot de la distribución de la media del VT/peso ideal por episodio en función del estado de alta ('Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI') con diagnóstico 'Resto Diagnósticos' acompañado de la media, mediana y del límite máximo recomendado.

	%PM < 30 cmH ₂ O	%DP < 15 cmH ₂ O	%VT < 8 ml/kg
Total de datos	95,09	77,81	69,72

Tabla 5. Porcentaje de datos totales con valor inferior al máximo recomendado para las variables PM, DP y VT.

	%PM < 30 cmH ₂ O	%DP < 15 cmH ₂ O	%VT < 8 ml/kg
Total de datos	98,19	85,23	73

Tabla 6. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado para las variables PM, DP y VT.

Estado alta	%PM < 30 cmH ₂ O	%DP < 15 cmH ₂ O	%VT < 8 ml/kg
Vivo-Vivo	97,11	84,05	69,38
Vivo-Exitus	97,33	75,34	67,12
Vivo-Continúa	96,23	75,45	68,76
Exitus UCI	90,49	65,57	71,14

Tabla 7. Porcentaje de datos totales con valor inferior al máximo recomendado por estado de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT.

Estado Alta 1	Estado Alta 2	P-Valor PM	P-Valor DP	P-Valor VT
Vivo-Vivo	Vivo-Exitus	0,297	2,3483e-07	0,4125
Vivo-Vivo	Vivo-Continúa	1,350e-15	4,2853e-28	1,5295e-04
Vivo-Vivo	Exitus UCI	9,007e-169	2,4329e-50	6,3754e-54
Vivo-Exitus	Vivo-Continúa	2,973e-08	4,4945e-05	5,6808e-03
Vivo-Exitus	Exitus UCI	3,245e-31	2,1730e-41	3,9171e-17
Vivo-Continúa	Exitus UCI	2,233e-06	4,5446e-14	7,3693e-05

Tabla 8. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los 4 estados de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta todos los datos.

Estado alta	%PM < 30 cmH ₂ O	%DP < 15 cmH ₂ O	%VT < 8 ml/kg
Vivo-Vivo	99,21	90,76	74,98
Vivo-Exitus	99	82	66
Vivo-Continúa	100	88,13	64,41
Exitus UCI	95,74	74,23	71,4

Tabla 9. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por estado de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT.

Estado Alta 1	Estado Alta 2	P-Valor PM	P-Valor DP	P-Valor VT
Vivo-Vivo	Vivo-Exitus	0,552	0,735	0,183
Vivo-Vivo	Vivo-Continúa	0,393	0,052	0,379
Vivo-Vivo	Exitus UCI	6,783e-08	8,756e-14	0,774
Vivo-Exitus	Vivo-Continúa	0,294	0,254	0,955
Vivo-Exitus	Exitus UCI	2,134e-04	0,003	0,186
Vivo-Continúa	Exitus UCI	0,165	0,223	0,291

Tabla 10. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los 4 estados de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio.

Estado alta	%PM < 30 cmH ₂ O	%DP < 15 cmH ₂ O	%VT < 8 ml/kg
Vivos en UCI	99,23	89,88	73,67
Exitus en UCI	95,74	74,24	71,4

Tabla 11. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por estado de alta 'Vivos en UCI' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT.

Estado alta	P-Valor PM	P-Valor DP	P-Valor VT
Vivo-Vivo vs Vivo-Exitus	4,087e-08	3,41e-13	0,5340

Tabla 12. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre los estados de alta 'Vivos en UCI' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio.

Diagnóstico	Estado Alta	% pacientes con PM < 30	% pacientes con DP < 15	% pacientes con VT < 8
SDRA	Vivo-Vivo	98,41	86,24	87,83
	Vivo-Exitus	100	63,64	72,73
	Vivo-Continúa	100	100,00	33,33
	Exitus UCI	89,41	56,47	88,24
Obstrutivo	Vivo-Vivo	97,34	85,64	72,87
	Vivo-Exitus	100	78,26	65,22
	Vivo-Continúa	100	78,95	73,68
	Exitus UCI	94,94	58,23	65,82
Resto diagnósticos	Vivo-Vivo	100	93,65	71,75
	Vivo-Exitus	98,48	86,36	65,15
	Vivo-Continúa	100	91,89	62,16
	Exitus UCI	97,57	82,67	68,39

Tabla 13. Porcentaje de episodios con valor medio inferior al máximo recomendado por diagnóstico 'SDRA', 'Obstrutivo' y 'Resto diagnósticos', y por estado de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT

Diagnóstico	Estado Alta 1 vs Estado Alta 2		P-valor PM	P-valor DP	P-valor VT
SDRA	Vivo-Vivo	Vivo-Exitus	0,400	0,046	0,996
	Vivo-Vivo	Vivo-Continúa	0,850	0,254	0,191
	Vivo-Vivo	Exitus UCI	6,617e-04	1,075e-07	0,012
	Vivo-Exitus	Vivo-Continúa	0,885	0,769	0,456
	Vivo-Exitus	Exitus UCI	0,434	0,512	0,328
	Vivo-Continúa	Exitus UCI	0,448	0,535	0,093
Obstrutivo	Vivo-Vivo	Vivo-Exitus	0,793	0,849	0,975
	Vivo-Vivo	Vivo-Continúa	0,976	0,535	0,071
	Vivo-Vivo	Exitus UCI	0,001	4,826e-05	0,838
	Vivo-Exitus	Vivo-Continúa	0,800	0,879	0,277
	Vivo-Exitus	Exitus UCI	0,070	0,078	0,854
	Vivo-Continúa	Exitus UCI	0,114	0,098	0,205
Resto diagnósticos	Vivo-Vivo	Vivo-Exitus	0,478	0,679	0,255
	Vivo-Vivo	Vivo-Continúa	0,173	0,103	0,124
	Vivo-Vivo	Exitus UCI	3,161e-07	9,733e-09	0,427
	Vivo-Exitus	Vivo-Continúa	0,158	0,137	0,561
	Vivo-Exitus	Exitus UCI	0,003	0,004	0,519
	Vivo-Continúa	Exitus UCI	0,474	0,584	0,225

Tabla 14. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre diagnósticos 'SDRA', 'Obstrutivo' y 'Resto diagnósticos', en función del estado de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio

Estado Alta	Diagnóstico 1 vs Diagnóstico 2		P-Valor PM	P-Valor DP	P-Valor VT
Vivo-Vivo	SDRA	Obstrutivo	0,005	0,492	1,428e-07
	SDRA	Resto Diagnósticos	2,341e-24	3,287e-11	3,788e-10
	Obstrutivo	Resto Diagnósticos	1,892e-15	7,232e-14	0,682
Vivo-Exitus	SDRA	Obstrutivo	0,197	0,285	0,377
	SDRA	Resto Diagnósticos	6,73e-04	0,006	0,198
	Obstrutivo	Resto Diagnósticos	0,012	0,012	0,656
Vivo-Continúa	SDRA	Obstrutivo	0,292	0,848	0,389
	SDRA	Resto Diagnósticos	0,057	0,304	0,959
	Obstrutivo	Resto Diagnósticos	0,066	0,182	0,029
Exitus UCI	SDRA	Obstrutivo	0,157	0,752	1,297e-05
	SDRA	Resto Diagnósticos	6,791e-11	2,387e-09	2,393e-11
	Obstrutivo	Resto Diagnósticos	7,892e-08	1,642e-07	0,662

Tabla 15. P-valores de la comparación de la calidad de la ventilación entre estados de alta 'Vivo-Vivo', 'Vivo-Exitus', 'Vivo-Continúa ingresado a los 30 días' y 'Exitus UCI' en función de los diagnósticos 'SDRA', 'Obstrutivo' y 'Resto diagnósticos' para las variables PM, DP y VT; teniendo en cuenta el valor medio por episodio.

4.6 Análisis comparativo PM, DP, VT.

La comparación entre las tres variables estudiadas nos proporciona una visión integral de cómo se han gestionado los parámetros ventilatorios en los pacientes y cómo cada uno se ajusta a las recomendaciones clínicas. Si nos centramos en la tabla 16 esta representa el porcentaje de episodios que cumplen con los máximos recomendados en la práctica clínica, así como sus combinaciones, pudiendo observar importantes diferencias entre las tres.

En primer lugar, la PM es la variable que más cumple con los criterios recomendados, teniendo un 98,22% de los episodios por debajo de los 30 cmH₂O. Esto sugiere que, en términos generales, los ajustes de PM son adecuados para la mayoría de los episodios. Además, cuando se combina con la DP, ($PM < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$ y $DP < 15 \text{ cmH}_2\text{O}$), el porcentaje sigue siendo alto, con un 86,83% de episodios que cumplen ambos criterios, lo cual refuerza la buena adherencia a las recomendaciones. Si estudiamos cuando se combina con el VT/peso ideal, el porcentaje desciende. Contando con un 71,59% de episodios en los que tanto la PM como el VT/peso ideal están dentro de los límites recomendados.

Por otro lado, la DP tiene un comportamiento ligeramente menos favorable en comparación con la PM. Con un 85,23% de episodios por debajo del umbral de 15 cmH₂O. La combinación de DP con VT/peso ideal ($DP < 15 \text{ cmH}_2\text{O}$ y $VT/peso \text{ ideal} < 8 \text{ ml/kg}$) muestra claramente un descenso, ya que solo el 60,38% de los episodios cumple con ambos criterios. Esto puede dar lugar a que, en algunos casos, un VT/peso ideal elevado podría estar asociado a una DP más alta, lo que implicaría un mayor riesgo para los pacientes.

Finalmente, el VT/peso ideal es la variable que presenta el menor porcentaje de episodios por debajo del máximo recomendado, con un 73% de los episodios por debajo de los 8 ml/kg. Esto refleja una mayor variabilidad en el ajuste del VT, lo que puede estar relacionado con diferencias en los enfoques de ventilación en función del estado clínico individual de cada paciente.

Cuando se combinan los tres parámetros ($PM < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$, $DP < 15 \text{ cmH}_2\text{O}$ y $VT/peso \text{ ideal} < 8 \text{ ml/kg}$), el porcentaje de episodios que cumplen todos los criterios desciende al 60,26%. Este dato refuerza la idea de que, aunque cada variable individualmente puede estar dentro de los límites recomendados, es más difícil mantener un equilibrio adecuado en todas ellas simultáneamente. Podemos observar en la figura 27 la representación sobre el mismo gráfico de las tres variables apreciando que más de la mitad de los episodios se encuentran dentro del cubo que delimita los límites superiores recomendados de cada variable, concordando de esta forma con el porcentaje obtenido. Además, los distintos colores muestran la distribución que tiene cada una de las 4 categorías de estado al alta.

En resumen, aunque la PM muestra un mejor ajuste a las recomendaciones clínicas, las combinaciones con la DP y el VT reflejan que existe una mayor complejidad a la hora de gestionar estos tres parámetros de forma conjunta, con una caída significativa en el porcentaje de episodios que cumplen con todos los criterios al mismo tiempo.

Representación del valor medio por paciente de PM, DP y VT/peso ideal en función del estado de alta

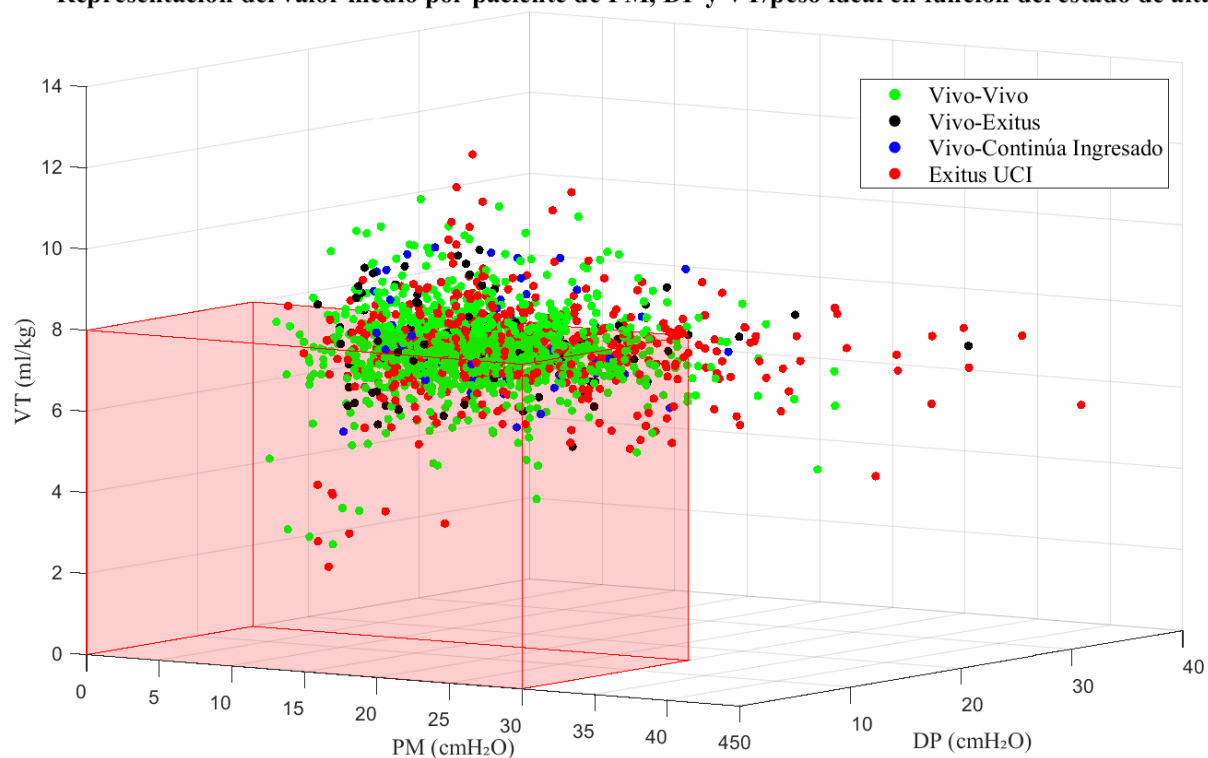


Figura 27. Scatter plot del valor medio de cada paciente para la PM, DP y VT/peso ideal en función el estado al alta. Acompañado de un cubo que delimita los máximos recomendados para cada una de las variables.

Criterio	Porcentaje que cumple el criterio (%)
PM < 30 cmH ₂ O	98,22
DP < 15 cmH ₂ O	85,23
VT/peso ideal < 8 ml/kg	73
PM < 30 cmH ₂ O y DP < 15 cmH ₂ O	86,83
VT/peso ideal < 8 ml/kg y PM < 30 cmH ₂ O	71,59
VT/peso ideal < 8 ml/kg y DP < 15 cmH ₂ O	60,38
VT/peso ideal < 8 PM ml/kg < 30 cmH ₂ O y DP < 15 cmH ₂ O	60,26

Tabla 16. Porcentaje de episodios que cumplen los distintos máximos recomendados para las variables PM, DP y VT/peso ideal de forma individual, así como sus combinaciones.

4.7 Análisis de la relación entre FiO_2 y PEEP con diagnóstico SDRA

Una de las relaciones de interés a la hora de estudiar la mortalidad de los pacientes consiste en analizar la relación entre la FiO_2 y la PEEP. En la figura 28 podemos observar esta relación analizando los valores medios asociados a cada uno de los episodios. Se pueden apreciar similitudes y diferencias entre las dos categorías de estado al alta de UCI estudiadas. En primer lugar, nos centraremos en las similitudes ya que podemos establecer que, en ambas categorías, cuanto mayor es el valor de FiO_2 , mayor es la PEEP. Este hallazgo es habitual encontrarlo en diferentes estudios clínicos y en guías de práctica (Kallet et al., 2007).

Si nos centramos en las diferencias, en los episodios que sobreviven podemos observar que los valores máximos de FiO_2 son muy inferiores a los de aquellos pacientes que fallecen, este hecho también se encuentra respaldado con estudios clínicos, ya que los valores altos de FiO_2 suelen acompañarse de valores elevados de PEEP que indica una mayor gravedad de la insuficiencia respiratoria con hipoxemia refractaria (Hochberg et al., 2021). Cabe destacar que en los pacientes que sobreviven abundan valores de FiO_2 entre 40% y 50% que se corresponden con valores de PEEP elevados, esta relación se utiliza para conseguir un mayor reclutamiento alveolar y puede ayudar a conseguir una mejora en el estado de oxigenación del paciente.

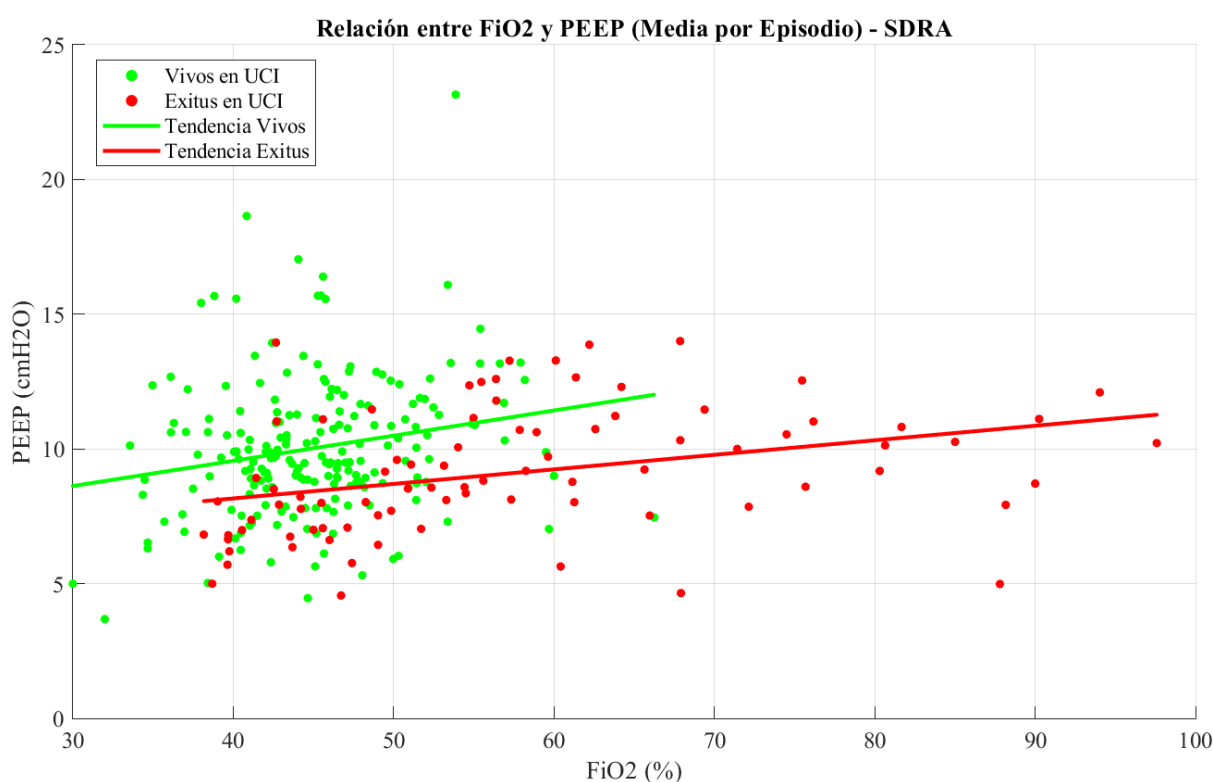


Figura 28. Scatter plot que muestra la relación entre la FiO_2 y la PEEP teniendo en cuenta el estado al alta en UCI.

Capítulo 5. Discusión

5.1 Discusión

5.1.1 Diferencias entre variables en función del estado al alta

Al analizar las tres variables clave, PM, DP y VT/peso ideal de manera comparativa, se observan patrones diferenciados en cómo se controlan y ajustan a los máximos recomendados estas variables en los pacientes sometidos a VM.

En cuanto a la PM, esta variable muestra un ajuste adecuado a las recomendaciones clínicas, con la mayoría de los datos y episodios cumpliendo con el límite recomendado de 30 cmH₂O (Baldomero et al., 2019). La distribución de la PM tiende a estar centrada en torno a valores de 20 cmH₂O y el porcentaje de episodios que superan este límite es relativamente bajo. Esto indica que el manejo de la PM es generalmente adecuado a las guías de práctica clínica en la mayoría de los grupos de pacientes. Las diferencias observadas entre los distintos estados de alta, como Vivo-Vivo, Vivo-Exitus y Exitus UCI, revelan una tendencia a medidas de PM más alta en pacientes con peores desenlaces, especialmente en aquellos que fallecen en la UCI, indicando probablemente una evolución de su insuficiencia respiratoria hacia una fibrosis pulmonar con descenso de la complianza y por tanto aumento de los valores de la PM (Curley et al., 2016). No obstante, los p-valores muestran que las diferencias entre los estados de alta son más notables cuando se comparan los pacientes que sobreviven con aquellos que fallecen en la UCI, contrastándolo con la bibliografía existente, esto tiene sentido ya que los pacientes que sobreviven tienden a tener mejor conservado el pulmón sin desarrollar fases de tanta gravedad o prolongación en el tiempo (Thompson et al., 2017).

Si nos centramos en la DP, aunque presenta una distribución adecuada a los valores recomendados, muestra una mayor variabilidad en comparación con la PM. Si bien un porcentaje considerable de episodios cumple con valores inferiores al máximo recomendable de 15 cmH₂O (Baldomero et al., 2019), la DP tiende a ser más elevada en pacientes que presentan peores desenlaces clínicos, como los que fallecen en UCI. Al igual que lo comentado en el apartado anterior en relación a la PM, un aumento de la DP en los pacientes que fallecen en UCI nos está indicando una peor evolución clínica de la insuficiencia respiratoria del paciente, con evolución a fibrosis pulmonar y descenso paulatino de la complianza. Hay que tener en cuenta que la PM es una de las variables que determinan la DP. En el análisis por grupos de estado al alta, los pacientes del grupo Exitus UCI presentan una DP significativamente más alta que los del grupo Vivo-Vivo. Además, los p-valores refuerzan estas diferencias, sugiriendo que una DP elevada está más asociada a peores desenlaces clínicos (Amato et al., 2015). Esto puede indicar que la DP es un factor más sensible a las condiciones clínicas del paciente, especialmente en lo referente a la mecánica respiratoria y su pronóstico.

Por último, el VT/peso ideal es la variable que presenta una mayor dispersión y, en general, un menor cumplimiento del límite recomendado de 8 ml/kg en comparación con las otras dos variables (Baldomero et al., 2019). Esto se produce en parte porque el ajuste de este parámetro va a depender mucho de la condición concreta del paciente, ya que cumpliendo con

los máximos recomendados en las variables anteriores este parámetro permite una mayor tolerancia a volúmenes ligeramente superiores a 8 ml/kg, sobre todo en aquellos pacientes sin afectaciones pulmonares de gran relevancia (Tobin, 2013). A diferencia de la PM y la DP, que muestran una tendencia clara hacia valores más altos en pacientes con peores desenlaces, el VT/peso ideal muestra una distribución más homogénea entre los distintos desenlaces de los pacientes, sin diferencias tan marcadas en sus porcentajes. Esto tiene lugar debido a que no es el único ni el factor más influyente en la mortalidad. La DP ha demostrado ser un mejor predictor de mortalidad porque refleja la interacción entre el VT, la PM y la capacidad pulmonar residual. La evidencia actual sugiere que una aproximación más completa y personalizada a la ventilación, considerando la DP y el reclutamiento alveolar, tiene un mayor impacto en la supervivencia que la simple aplicación de un VT/ peso ideal correcto (Cavalcanti et al., 2017). Sin embargo, los pacientes del grupo Exitus UCI tienden a tener una mayor proporción de episodios por encima del límite recomendado, aunque las diferencias no son tan pronunciadas como en el caso de la DP (RG et al., 2000).

En resumen, la PM es la variable más consistentemente ajustada por lo tanto la que cuenta con una mayor calidad, mientras que la DP muestra una mayor variabilidad y una relación más clara con los desenlaces clínicos (Amato et al., 2015). Por su parte, el VT/peso ideal presenta una mayor dispersión en los datos, con menos episodios cumpliendo el límite recomendado y menos claridad a la hora de influir en la mortalidad (Cavalcanti et al., 2017). Esta mayor dispersión de datos y la existencia de más episodios superiores al valor recomendado es un indicador de peor calidad y se puede interpretar como un ajuste menos preciso en comparación con las otras dos variables.

5.1.2 Análisis de las variables PM, DP y VT/peso ideal en función del diagnóstico y el estado al alta

Al comparar las variables PM, DP y VT/peso ideal en función de los tres grupos de diagnóstico (SDRA, Obstructivo y Resto de Diagnósticos), se observan patrones específicos que reflejan diferencias en la calidad de la ventilación recibida medida mediante el ajuste a los valores clínicos recomendados.

En el grupo SDRA, las tres variables muestran diferencias notables. La PM tiende a ser más elevada en los pacientes con SDRA, especialmente en aquellos que fallecen en la UCI, siendo significativo el porcentaje de episodios que supera el límite recomendado de 30 cmH₂O. Sin embargo, los pacientes del grupo Vivo-Vivo tienen un ajuste mucho mayor a los valores recomendados, con la mayoría de episodios por debajo del umbral. Esta tendencia es consistente en los otros grupos de alta, aunque en Exitus UCI la PM es significativamente mayor, lo que sugiere una mayor gravedad de los pacientes (RG et al., 2000). Si analizamos la DP, los episodios con SDRA siguen un patrón similar, con episodios que desembocan en fallecimiento teniendo una mayor dispersión y valores más altos que los pacientes que sobreviven. En particular, los pacientes con SDRA que sobreviven (Vivo-Vivo) tienen una DP más controlada, mientras que en los pacientes Exitus UCI solo un 56,47% cumple con el límite recomendado, lo que nos indica las importantes alteraciones de la mecánica respiratoria y de

la elasticidad pulmonar que se producen a medida que progresa la insuficiencia respiratoria. Es importante destacar que la DP tiene una correlación más fuerte con la mortalidad que las otras dos variables estudiadas, incluso si se mantiene la PM en unos valores adecuados, el aumento de la DP puede afectar desembocando en un peor desenlace (Amato et al., 2015). En cuanto al VT/ peso ideal, los episodios con SDRA muestran una adherencia buena a los valores recomendados, aunque con algunas diferencias no muy significativas en cuanto al porcentaje de episodios por debajo del máximo recomendado, siendo entorno al 88% en pacientes vivos y fallecidos.

En el grupo Obstructivo, la PM presenta una distribución más compacta y consistente. Los valores de PM en los distintos estados de alta tienden a ser más bajos en comparación con los pacientes con SDRA (Gattinoni et al., 2004). Los episodios Exitus UCI en el grupo Obstructivo muestran un mayor porcentaje de cumplimiento del límite de 30 cmH₂O que en SDRA, aspecto que nos puede indicar que este tipo de pacientes conservan una mejor compliance pulmonar que los pacientes con SDRA (Gattinoni et al., 2004). La DP sigue un patrón muy similar entre Obstructivo y SDRA, el 85,54% de los pacientes con estado al alta Vivo-Vivo presentaban una DP de acuerdo a los valores recomendados frente a un 58,23% de los pacientes que eran Exitus en UCI. Se refleja claramente una relación entre la DP elevada y los peores desenlaces (Amato et al., 2015). En cuanto al VT/peso ideal, los pacientes Obstructivos muestran una estrategia ventilatoria más homogénea. Los porcentajes de cumplimiento con el máximo recomendado de 8 ml/kg son bastante consistentes entre los estados de alta, con valores que varían del 65,22% al 73,68%. Esto sugiere que, a pesar de los distintos desenlaces clínicos, el VT ajustado por el peso ideal en pacientes Obstructivos puede establecerse de manera más uniforme.

Por último, en el grupo de Resto de Diagnósticos, la PM es generalmente más baja en comparación con SDRA y Obstructivo, lo que puede reflejar una menor gravedad de la insuficiencia respiratoria que presentaban este amplio grupo de pacientes con muy diferentes diagnósticos (Gattinoni et al., 2004). El porcentaje de episodios por debajo de 30 cmH₂O es el más alto en este grupo, especialmente en el estado Vivo-Vivo, donde el 97,57% de los episodios cumplen con el límite. La DP también muestra una tendencia a estar más controlada en este grupo, con un porcentaje más alto de episodios por debajo del umbral de 15 cmH₂O. En Exitus UCI, un 82,67% de los episodios cumplen con el límite recomendado, lo que es superior a los otros dos grupos diagnósticos. Esto indica que, en general, los pacientes en el grupo Resto de Diagnósticos presentan un mejor control de la DP. En cuanto al VT/peso ideal, este grupo muestra una distribución similar a la de los Obstructivos, con porcentajes de cumplimiento cercanos al 70% en todos los estados de alta. Esto refleja una mayor consistencia en la ventilación, sin grandes diferencias entre los desenlaces clínicos.

En resumen, los pacientes con SDRA presentan las mayores dificultades para adherirse a los límites recomendados de PM y DP, lo que parece estar relacionado con los peores desenlaces (Amato et al., 2015). Los pacientes Obstructivos tienen una estrategia ventilatoria más homogénea, aunque aún se observan diferencias en la DP, especialmente en aquellos que fallecen en UCI. Por otro lado, los pacientes del grupo Resto de Diagnósticos presentan el mejor control general de las tres variables, con un mayor porcentaje de episodios por debajo

de los límites recomendados en todos los estados de alta. Esto tiene cierta lógica ya que los pacientes de los dos primeros grupos engloban los tipos de insuficiencia respiratoria más severa, especialmente en los pacientes con SDRA (Gattinoni et al., 2004).

5.2 Limitaciones y aspectos de mejora

Una de las limitaciones es no haber estudiado un mayor número de relaciones entre pares de variables, ya que este aspecto hubiera enriquecido el trabajo y aportado mayor explicabilidad de los resultados de mortalidad. Por ejemplo, el mayor porcentaje de valores de VT/ peso ideal por encima de los valores recomendados quizá está relacionado con otras variables que no se han abordado en profundidad a lo largo del proyecto. Al igual puede suceder con la mortalidad, que puede estar influenciada por muchas más variables de las estudiadas en este trabajo de investigación.

Otro aspecto para enriquecer la calidad del proyecto es mejorar la calidad de los datos disponibles para la evaluación final. En una fase inicial la cantidad de pacientes era mucho mayor, pero a causa de la calidad de los registros no se pudieron utilizar en su totalidad reduciendo de esta manera la muestra por lo que extraer conclusiones de gran veracidad se reduce y se pierde riqueza a la hora de obtener un resultado final adecuado.

Es importante destacar el aspecto del balance entre las distintas categorías de estado al alta o de diagnósticos. Al no contar con el mismo número de episodios asociado a cada grupo, los resultados obtenidos no tienen la misma calidad para una gran cantidad de episodios, que para un grupo mucho menor. Por lo tanto, tener una base de pacientes más balanceada en cuanto a los subgrupos estudiados podría ayudar a enriquecer un estudio posterior.

La aplicación de técnicas de IA podría haber ayudado a sacar mayor partido a la base de datos, pudiendo haber obtenido modelos de mayor complejidad que fueran capaces de explicar de forma más óptima las asociaciones entre las distintas variables estudiadas.

Capítulo 6. Conclusiones y líneas futuras

6.1 Cumplimiento de los objetivos propuestos

A lo largo de todo el estudio no solo se ha conseguido cumplir el objetivo principal, basado en la utilización de técnicas descriptivas para analizar y explicar la calidad de la VM en los pacientes críticos del servicio de UCI del HURH y su asociación con la mortalidad, sino que también se han cumplido objetivos secundarios que se propusieron al comienzo del proyecto.

1. Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sobre la VM y la IA investigando distintas técnicas. Además, se ha observado como se pueden usar de forma complementaria.
2. Se ha completado un estudio general entre las distintas variables seleccionadas importantes para la caracterización de la VM.
3. Se ha realizado un estudio exhaustivo de las variables que tenían mayor influencia en la calidad de la ventilación mecánica. Además, se han relacionado con la mortalidad asociada en función del cumplimiento de los criterios de calidad.
4. Se ha analizado no solamente las variables ventilatorias, sino que se ha extraído información en función de distintos grupos de estado al alta y diagnóstico.
5. Se han utilizado técnicas de procesamiento y curado de datos para el posterior análisis y obtención de resultados mediante técnicas descriptivas.

6.2 Líneas futuras

El alcance que tiene continuar desarrollando este estudio es de una gran envergadura. En este TFG se ha tratado únicamente una pequeña parte del potencial que puede llegar a tener si se estudia más a fondo. Un estudio relacionando la mortalidad y las posibilidades de supervivencia con una mayor cantidad de variables puede dar lugar a unos resultados prometedores.

A su vez se puede indagar aún más en la calidad de la VM si se estudian nuevas variables. Se podrían utilizar redes de asociación más potentes con una mayor cantidad de nodos y de mayor complejidad que permitan ver nuevas relaciones de interés para continuar abordando el estudio.

Otro aspecto que sería interesante modificar para conseguir un estudio de mejor calidad sería tratar de mejorar la calidad de los datos. Esto podría conseguirse mediante la unificación en el almacenamiento de datos, consiguiendo que todos se registren de igual forma. Además, se podría revisar que los datos se recojan y vuelquen de manera correcta de manera periódica para así cerciorarse de la calidad de los mismos. Esto también influye en el balanceo de los datos, ya que si aumenta el número de datos que podemos utilizar podremos llevar a cabo una

selección más equitativa entre los distintos grupos que estudiemos sin arriesgarnos a tener poca cantidad de registros.

Por último, un aspecto que sería de gran interés es la aplicación de las técnicas IA, ya que en la actualidad cada día aparecen nuevos estudios relacionado estas técnicas con la medicina y se puede observar su gran potencial. Es por esta razón que la implementación de técnicas de IA para indagar más profundamente en este ámbito puede ayudar a enriquecer enormemente los resultados y conclusiones que se obtengan, sobre todo tratando de buscar relaciones entre variables que todavía no se han descubierto o sobre las que no se pone tanto interés.

6.3 Conclusiones y aportaciones

En el presente TFG se ha llevado a cabo un estudio de la calidad de VM en función de distintas variables además de analizar la mortalidad asociada a la ventilación. Concluido este, podemos decir que existe una relación entre realizar una ventilación de calidad y la mortalidad en pacientes que han requerido VMI en el servicio de UCI del HURH.

Los resultados obtenidos y la discusión llevada a cabo permiten realizar una lista de conclusiones, que consta de las siguientes:

1. La PM es la variable con el mayor porcentaje de cumplimiento de los valores recomendados. Un porcentaje superior al 95% de los episodios se encuentran por debajo del umbral de 30 cmH₂O, lo que refleja un buen control de esta variable. A nivel general, este alto porcentaje de cumplimiento sugiere que la PM está bien controlada en la mayoría de los casos, indicando una ventilación protectora de calidad.
2. En el caso de la DP, el porcentaje de cumplimiento de una VM por debajo del máximo recomendado de 15 cmH₂O es inferior al caso de la PM, pero es superior al 85% de los episodios. Aunque la mayoría de los episodios están bien controlados, existe una fracción que experimenta valores elevados de DP. Este hallazgo sugiere que, aunque en general la ventilación es adecuada, existe un grupo de paciente que progresan en su insuficiencia respiratoria hacia una menor complianza pulmonar, aunque siempre hay que tratar de optimizar este parámetro.
3. El VT/peso ideal es la variable con el menor porcentaje de episodios dentro del rango seguro, con un 73% de los datos por debajo del umbral de 8 ml/kg. Esto significa que en casi un 30% de los casos, los pacientes están siendo ventilados con volúmenes superiores a los recomendados, y aunque los grupos de diagnóstico son muy restringidos y ello puede influir en estos resultados, siempre es necesario ajustar esta variable para una mejor adherencia a la ventilación protectora.
4. Cuando se combinan los criterios, observamos que solo un 60% de los episodios cumplen simultáneamente con los límites recomendados de PM, DP y VT/peso ideal. Esto muestra que la VM óptima en todas las variables a la vez es difícil de alcanzar.

5. En cuanto a la mortalidad se han encontrado patrones claros en función de los estados de alta y los grupos de diagnóstico. La PM más elevada está claramente relacionada con una mayor mortalidad. Los pacientes que fallecen en la UCI suelen tener valores más elevados de PM, lo que indica que una ventilación con una PM por encima del límite recomendado se encuentra asociada a un peor pronóstico y probablemente indica una progresión de la insuficiencia respiratoria hacia la fibrosis pulmonar con un descenso muy marcado de la complianza pulmonar. De forma similar, la DP elevada está asociada con peores desenlaces clínicos. Los pacientes que fallecen en la UCI tienen una mayor proporción de episodios con DP por encima de 15 cmH₂O. El VT/peso ideal también muestra una tendencia hacia valores elevados en pacientes con peor desenlace, pero su influencia en la mortalidad parece ser menos directa que la de PM y DP. Sin embargo, los análisis muestran diferencias significativas entre los grupos, sugiriendo que, aunque de forma más débil, el VT/peso ideal elevado pudiera influir en el desenlace.
6. Existe una relación entre un aumento en la FiO₂ y el posterior aumento de la PEEP. Además, los pacientes fallecidos, tienen una asociación con valores extremos de FiO₂ mucho mayor que aquellos que sobreviven, lo que indica un grado más severo de la insuficiencia respiratoria.

Glosario de siglas y acrónimos

CEIm	<i>Comité de Ética de la Investigación con Medicamentos</i>
CO₂	<i>Dióxido de carbono</i>
DP	<i>Driving pressure</i>
DL	<i>Deep learning</i>
EDA	<i>Análisis exploratorio de datos</i>
EPOC	<i>Enfermedad pulmonar obstructiva crónica</i>
FiO₂	<i>fracción inspiratoria de oxígeno</i>
FR	<i>Frecuencia respiratoria</i>
HURH	<i>Hospital Universitario Río Hortega</i>
IA	<i>Inteligencia artificial</i>
ICCA	<i>IntelliSpace Critical Care and Anesthesia</i>
IRA	<i>Insuficiencia respiratoria aguda</i>
PM	<i>Presión meseta</i>
SpO₂	<i>Saturación de oxígeno</i>
LSTM	<i>Memoria larga a corto plazo</i>
ML	<i>Machine learning</i>
NaN	<i>Not a number</i>
PC	<i>Ventilación controlada por presión</i>
PEEP	<i>Presión positiva al final de la espiración</i>
PS	<i>Presión soporte</i>
UCI	<i>Unidad de cuidados intensivos</i>
VC	<i>Ventilación controlada por volumen</i>
VCRP	<i>Ventilación controlada por volumen regulada por presión</i>
VM	<i>Ventilación mecánica</i>
VMI	<i>Ventilación mecánica invasiva</i>
VMNI	<i>Ventilación mecánica no invasiva</i>
VT/peso ideal	<i>Volumen tidal ajustado por peso ideal</i>

Bibliografía

- Amato, M. B. P., Meade, M. O., Slutsky, A. S., Brochard, L., Costa, E. L. V., Schoenfeld, D. A., Stewart, T. E., Briel, M., Talmor, D., Mercat, A., Richard, J.-C. M., Carvalho, C. P. R., & Brower, R. G. (2015). Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 372(8), 747–755. doi: 10.1056/NEJMSA1410639
- Baldomero, A. K., Skarda, P. K., & Marini, J. J. (2019). Driving Pressure: Defining the Range. *Respiratory Care*, 64(8), 883–889. doi: 10.4187/RESPCARE.06599
- Bergez, M., Fritsch, N., Tran-Van, D., Saghi, T., Bounkim, T., Gentile, A., Labadie, P., Fontaine, B., Ouattara, A., & Rozé, H. (2019). PEEP titration in moderate to severe ARDS: plateau versus transpulmonary pressure. *Annals of Intensive Care*, 9(1). doi: 10.1186/S13613-019-0554-3
- Cairo, J. M. (2016). *Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications* (Elsevier). Retrieved from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1A7hCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=%E2%80%A2+Pilbeam,+S.+P.,+%26+Cairo,+J.+M.+\(2020\).+Mechanical+Ventilation:+Physiological+and+Clinical+Applications.+Elsevier+Health+Sciences.&ots=A4ONSoUigJ&sig=Yq92XWnFusTVXhUZrV5QvjeT9Bw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1A7hCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=%E2%80%A2+Pilbeam,+S.+P.,+%26+Cairo,+J.+M.+(2020).+Mechanical+Ventilation:+Physiological+and+Clinical+Applications.+Elsevier+Health+Sciences.&ots=A4ONSoUigJ&sig=Yq92XWnFusTVXhUZrV5QvjeT9Bw#v=onepage&q&f=false)
- Cavalcanti, A. B., Suzumura, É. A., Laranjeira, L. N., De Moraes Paisani, D., Damiani, L. P., Guimarães, H. P., Romano, E. R., De Moraes Regenga, M., Taniguchi, L. N. T., Teixeira, C., De Oliveira, R. P., Machado, F. R., Diaz-Quijano, F. A., De Alencar Filho, M. S., Maia, I. S., Caser, E. B., De Oliveira Filho, W., De Carvalho Borges, M., De Aquino Martins, P., ... Sande, L. (2017). Effect of Lung Recruitment and Titrated Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) vs Low PEEP on Mortality in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 318(14), 1335–1345. doi: 10.1001/JAMA.2017.14171
- Coleman, M. H., & Aldrich, J. M. (2021). Acute Respiratory Distress Syndrome: Ventilator Management and Rescue Therapies. *Critical Care Clinics*, 37(4), 851. doi: 10.1016/J.CCC.2021.05.008
- Curley, G. F., Laffey, J. G., Zhang, H., & Slutsky, A. S. (2016). Biotrauma and Ventilator-Induced Lung Injury: Clinical Implications. *Chest*, 150(5), 1109–1117. doi: 10.1016/J.CHEST.2016.07.019
- Fan, E., Del Sorbo, L., Goligher, E. C., Hodgson, C. L., Munshi, L., Walkey, A. J., Adhikari, N. K. J., Amato, M. B. P., Branson, R., Brower, R. G., Ferguson, N. D., Gajic, O., Gattinoni, L., Hess, D., Mancebo, J., Meade, M. O., McAuley, D. F., Pesenti, A., Ranieri, V. M., ... Brochard, L. J. (2017). An Official American Thoracic Society/European Society of Intensive Care Medicine/Society of Critical Care Medicine Clinical Practice Guideline: Mechanical Ventilation in Adult Patients with Acute Respiratory Distress

- Syndrome. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 195(9), 1253–1263. doi: 10.1164/RCCM.201703-0548ST
- Gattinoni, L., Chiumello, D., Carlesso, E., & Valenza, F. (2004). Bench-to-bedside review: chest wall elastance in acute lung injury/acute respiratory distress syndrome patients. *Critical Care (London, England)*, 8(5), 350–355. doi: 10.1186/CC2854
- Hochberg, C. H., Semler, M. W., & Brower, R. G. (2021). Oxygen Toxicity in Critically Ill Adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 204(6), 632–641. doi: 10.1164/RCCM.202102-0417CI
- Marini, J. J., & Wheeler, A. P. (2011). *Critical Care Medicine: The Essentials* (Vol. 11). Lippincott Williams & Wilkins. https://books.google.com/books/about/Critical_Care_Medicine.html?hl=es&id=pD24mJE9Rh4C
- Kallet, R. H., & Branson, R. D. (2007). Do the NIH ARDS Clinical Trials Network PEEP/FIO₂ Tables Provide the Best Evidence-Based Guide to Balancing PEEP and FIO₂ Settings in Adults? *Respiratory Care*, 52(4).
- Kim, Y., Kim, H., Choi, J., Cho, K., Yoo, D., Lee, Y., Park, S. J., Jeong, M. H., Jeong, S. H., Park, K. H., Byun, S. Y., Kim, T., Ahn, S. H., Cho, W. H., & Lee, N. (2023). Early prediction of need for invasive mechanical ventilation in the neonatal intensive care unit using artificial intelligence and electronic health records: a clinical study. *BMC Pediatrics*, 23(1). doi: 10.1186/S12887-023-04350-1
- Madahar, P., Beitler, J. R., Meyer, N. J., & Smith, B. J. (2020). Emerging concepts in ventilation-induced lung injury [version 1; peer review: 4 approved]. *F1000Research*, 9, Article 20576. <https://doi.org/10.12688/f1000research.20576.1>
- Mamandipoor, B., Frutos-Vivar, F., Peñuelas, O., Rezar, R., Raymondos, K., Muriel, A., Du, B., Thille, A. W., Ríos, F., González, M., del-Sorbo, L., del Carmen Marín, M., Pinheiro, B. V., Soares, M. A., Nin, N., Maggiore, S. M., Bersten, A., Kelm, M., Bruno, R. R., ... Osmani, V. (2021). Machine learning predicts mortality based on analysis of ventilation parameters of critically ill patients: multi-centre validation. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1). doi: 10.1186/S12911-021-01506-W
- Muñoz Lezcano, S., Armengol de la Hoz, M. Á., Corbi, A., López, F., García, M. S., Reiz, A. N., González, T. F., & Zlatkov, V. Y. (2024). Predictors of mechanical ventilation and mortality in critically ill patients with COVID-19 pneumonia. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 48(1), 3–13. doi: 10.1016/J.MEDINE.2023.07.009
- RG, B., MA, M., A, M., D, S., BT, T., & A, W. (2000). Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 342(18), 1301–1308. doi: 10.1056/NEJM200005043421801

- Rubulotta, F., Blanch Torra, L., Naidoo, K. D., Aboumarie, H. S., Mathivha, L. R., Asiri, A. Y., Sarlabous Uranga, L., & Soussi, S. (2024). Mechanical Ventilation, Past, Present, and Future. *Anesthesia and Analgesia*, 138(2), 308–325. doi: 10.1213/ANE.00000000000006701
- Stivi, T., Padawer, D., Dirini, N., Nachshon, A., Batzofin, B. M., & Ledot, S. (2024). Using Artificial Intelligence to Predict Mechanical Ventilation Weaning Success in Patients with Respiratory Failure, Including Those with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Journal of Clinical Medicine*, 13(5). doi: 10.3390/JCM13051505
- Thompson, B. T., Chambers, R. C., & Liu, K. D. (2017). Acute Respiratory Distress Syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 377(6), 562–572. doi: 10.1056/NEJMRA1608077
- Tobin, M. J. (2013). *Principles and Practice of Mechanical Ventilation: Vol. 3rd Edition* (Third). McGraw Hill Professional. Retrieved from <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookID=520>