

RESPIRAR CON DATOS

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA



COORDINADOR:
DR. JOSÉ VTE. CARMONA SIMARRO

RESPIRAR con DATOS

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA



EDICIONES
CECOVA

Edita: Consejo de Colegios de Enfermeras y Enfermeros de
la Comunitat Valenciana. (CECOVA)

ISBN: 978-84-09-76552-2

Dep. Legal: V-3783-2025

Imprime: Temps impresores, Valencia (Spain)

AUTORES



JOSÉ VTE. CARMONA SIMARRO. *Coordinador*

El Dr. José Vicente Carmona Simarro es Academic Advising Assistant I en la Universidad Europea de Valencia, España. Posee el Grado en Enfermería y es Licenciado en Antropología Cultural y Social. Cuenta con una sólida formación de posgrado, siendo Máster en Urgencias, Emergencias y Catástrofes, así como Máster en Cuidados al Paciente Crítico. Además, es Experto Universitario en Gestión Sanitaria para Directivos en Enfermería, Experto Universitario en Educación y Rehabilitación de Conductas Adictivas, Experto en Inteligencia Emocional y Experto en Enfermería Pericial. Miembro fundador y de número de la Academia de Doctores en Enfermería de la Comunidad Valenciana.



JUAN JOSE TIRADO DARDER

Dr. D. Juan José Tirado Darder presidente del Consejo de Enfermería de la Comunidad Valenciana (CECOVA). Doctor en Ciencias de la Salud. Vicepresidente del Colegio Oficial de Enfermería de Valencia (COENV). Miembro fundador y de número de la Academia de Doctores en Enfermería de la Comunidad Valenciana. Gerontólogo. Experto Universitario en Gestión Sanitaria para Directivos en Enfermería. Experto en Enfermería Pericial.



SILVIA TRUJILLO BARBERÁ

Dra. D^a. Silvia Trujillo Barberá, Vicerrectora de Ordenación Académica y Estudiantes de la Universidad Europea de Valencia. Doctora en Biomedicina y Ciencias de la Salud. Máster Universitario en Gestión Sanitaria.



PATRICIA MARÍA VICARIO BADÍA

Patricia M.^a Vicario Badía es Coordinadora del Grado de Enfermería en la Universidad Europea de Valencia, España. Máster en Urgencias y Emergencias y Cuidados al Paciente Crítico, así como en técnicas, metodologías y organización docente mediante el Máster de Formación del Profesorado de ESO, Bachiller y Formación Profesional. Actualmente es doctoranda por la Universidad Europea de Madrid.



ALBERTO RAMÍREZ SÁIZ

Alberto Ramírez Saiz es Grado en Enfermería por la Universidad de Valencia. Miembro del comité científico de la revista del Colegio de Enfermería de Valencia COENV. Es profesor del Máster de Enfermería Urgencias, Emergencias y Cuidados Críticos de la Universidad Europea de Valencia. Máster en Fisiología por la Universidad de Valencia. Experto Universitario en abordaje de heridas agudas y crónicas.



ALFREDO GALÁN MARCO

Alfredo Galán Marco es Máster en Urgencias, Emergencias y Catástrofes. Actualmente desarrolla su actividad asistencial en el Servicio de Urgencias Pediátricas del Hospital Universitario y Politécnico de La Fe, de Valencia. Es profesor del Máster de Enfermería Urgencias, Emergencias y Cuidados Críticos de la Universidad Europea de Valencia y coordinador del módulo de Urgencias y Emergencias.

"...Se debe practicar un orificio en el tronco de la tráquea, en el cual se coloca como tubo una caña: se soplará en su interior, de modo que el pulmón pueda insuflarse de nuevo...El pulmón se insuflará hasta ocupar toda la cavidad torácica y el corazón se fortalecerá..."

**Andreas Vesalius
(1555)**

ÍNDICE

Índice de figuras.....	11
Prólogo.....	13
Acrónimos.	15
Introducción.	19
Parámetros de interés en ventilación mecánica.	27
Objetivos de la VM.....	43
Indicaciones de la VM.	45
Principios físicos da la VM.	47
Fases del ciclo respiratorio.....	51
Modos de la VM.....	53
- <i>VM Invasiva</i>	53
VCP, VCV, VCPA, VCVA, VCP-VG, SIMV-VC,	
SIMV-PC, PS, BIFÁSICA, CPAP, ATC, ASV, NAVA, ESP	
- <i>VM no invasiva</i>	75
CPAP, BIPAP.	
Complicaciones asociadas a la ventilación mecánica.	81
Extubación vs Destete.....	87
ECMO. Oxígeno por membrana extracorpórea.....	91
Cuidados de Enfermería en la ventilación mecánica	95
Glosario de términos en IA.	99
Bibliografía	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la Ventilación mecánica.	23
Figura 2. Gases ambientales.	30
Figura 3. Índice de Kirby según el SDRA.....	31
Figura 4. Presión pico y meseta/plateau.	34
Figura 5. Positive End-Espiratory Pressure (PEEP).	35
Figura 6. Curva de Flujo en VMV.	36
Figura 7. Curva de Flujo en VMP.	36
Figura 8. Trigger.....	40
Figura 9. Ciclo ventilatorio.	52
Figura 10. Curva de presión en VMP.	54
Figura 11. Curva de flujo en VMP.	54
Figura 12. Curva de volumen en VMP.	55
Figura 13. Curva de presión en VMV.	57
Figura 14. Curva de flujo en VMV.	57
Figura 15. Curva de volumen en VMV.	58
Figura 16. Curva de volumen en VMP con autoPEEP.....	58
Figura 17. Curva de volumen que aumenta por autoPEEP.	59
Figura 18. Curva de presión y volumen en la VCP-VG.....	61
Figura 19. Parámetros en la modalidad SIMV-VC.	63
Figura 20. Parámetros en la modalidad SIMV-PC.....	65
Figura 21. Diferencias entre la SIMV-VC y la SIMV-PC.	66
Figura 22. Actividad eléctrica diafragmática (EDI).	74

PRÓLOGO

En la encrucijada donde la fisiología humana y el código binario convergen, emerge un nuevo paradigma en el cuidado crítico: la Inteligencia Artificial al servicio de la ventilación mecánica. Nos encontramos en el umbral de una revolución que no busca reemplazar el juicio clínico, sino potenciarlo, transformando datos en decisiones que salvan vidas con una precisión sin precedentes.

Este libro, *“Respirar con Datos: Inteligencia Artificial y Ventilación Mecánica en Enfermería”*, nace de una convicción profunda: el futuro del cuidado respiratorio no reside únicamente en la pericia técnica con el ventilador, sino en la capacidad de dialogar con los algoritmos que lo asistirán. El Dr. José Vte Carmona Simarro, un referente indiscutible en la formación de enfermería durante más de tres décadas, nos guía con maestría en esta transición. Su obra no se limita a ser un manual; es un puente entre la práctica clínica consolidada y las fronteras de la innovación.

A lo largo de estas páginas, el lector no solo redescubrirá los fundamentos esenciales de la VM, desde la mecánica pulmonar hasta los modos ventilatorios avanzados. Irá un paso más allá, explorando cómo los modelos de machine learning ya están aprendiendo a predecir el éxito del destete, a detectar asincronías paciente-ventilador invisibles al ojo humano y a personalizar cada ciclo respiratorio a la bio-variabilidad única de cada paciente. Se aborda la IA no como un concepto abstracto, sino como una herramienta tangible que permitirá a la enfermería anticiparse a complicaciones como el barotrauma o la neumonía asociada a la

ventilación, optimizando el trabajo interdisciplinar y humanizando, aún más si cabe, el cuidado en las unidades de críticos.

Esta obra es, por tanto, un recurso indispensable para la enfermera y el enfermero del siglo XXI. Para aquellos que aspiran a dominar no solo el “cómo” y el “porqué” de la ventilación mecánica, sino también el “qué pasaría si...” que nos plantean los sistemas inteligentes. Que este texto sirva como faro en la era del cuidado aumentado por la inteligencia, un tributo a quienes, con su vocación, dan aliento a otros, ahora con el poder de la ciencia de datos en sus manos.

Dr. Juan José Tirado Darder
Valencia, Spain 2025

ACRÓNIMOS

"Csr".	Complianza.
"E".	Elastancia.
"R."	Resistencia.
APRV.	Airway Pressure Release Ventilation.
AQS.	Apnea obstructiva del sueño.
ASV.	Ventilación con soporte adaptable.
ATC.	Automatic tube compensation.
ATP.	Adenosin Trifosfato.
BIPAP.	Bilevel Positive Airway Pressure.
cmH₂O.	Centímetros de agua.
CO₂.	Dióxido de carbono.
COHb.	Carboxihemoglobina.
CPAP.	Continuous Positive Airway Pressure.
DP.	Driving pressure.
EAP.	Edema agudo de pulmón.
ECMO.	Extracorporeal Membrane Oxygenation.
EDI.	Actividad eléctrica diafragmática.
EPOC.	Enfermedad pulmonar obstructivo crónica.
EtCO₂.	End Tidal CO ₂ .
FiO₂.	Fracción inspiratoria de oxígeno.
FR.	Frecuencia respiratoria.
Fr.	French.
GC.	Gasto cardiaco.
Hb.	Hemoglobina.
HHb.	Deoxihemoglobina / desoxihemoglobina.

ICC.	Insuficiencia cardiaca congestiva.
IK.	Índice de Kirby.
IRA.	Insuficiencia respiratoria aguda.
IRC.	Insuficiencia respiratoria crónica.
MetHb.	Metahemoglobina.
mmHg.	Milímetros de mercurio.
NAV.	Neumonía asociada a ventilación mecánica.
NAVA.	Neurally Adjusted Ventilatory Assist.
O₂.	Oxígeno.
O₂Hb.	Oxihemoglobina.
OVACE.	Obstrucción de la vía aérea por cuerpo extraño.
P. insp.	Presión inspiratoria.
PAM.	Presión arterial media.
PCR.	Parada cardiorrespiratoria.
PEEP.	Presión positiva al final de la espiración.
PHigh.	Presión alta.
PIA.	Presión intraabdominal.
PIC.	Presión intracraneal.
PLow.	Presión baja.
Pmáx.	Límite de presión máxima.
PS.	Presión soporte.
PSV.	Ventilación con presión soporte.
PVC.	Presión venosa central.
RCP.	Reanimación cardiopulmonar.
S.	Azufre.
SAHS.	Síndrome apnea/hipoapnea del sueño.
SDRA.	Síndrome de distrés respiratorio agudo.
SHb.	Sulfohemoglobina.
SIMV-PC.	Ventilación mandatoria intermitente sincronizada a presión.
SIMV-VC.	Ventilación mandatoria intermitente sincronizada a volumen.
TCE.	Traumatismo craneoencefálico.
TET.	Tubo endotraqueal.

TFG.	Tasa de Filtración Glomerular.
Ti.	Tiempo inspiratorio.
VA.	Vía aérea.
VC.	Volumen corriente.
VCP.	Ventilación controlada a presión.
VCP-VG.	Ventilación controlada por presión con volumen garantizado.
VCV.	Ventilación controlada a volumen.
VD.	Ventrículo derecho.
VI.	Ventrículo Izquierdo.
VM.	Ventilación mecánica.
Vm.	Volumen minuto.
VMI.	Ventilación mecánica invasiva.
VMNI.	Ventilación mecánica no invasiva.
VT.	Volumen tidal.

INTRODUCCIÓN

La pregunta inicial que nos planteamos es si los ventiladores mecánicos, utilizados durante décadas en pacientes críticos, pueden considerarse asistentes de inteligencia artificial (IA). Sin embargo, la integración de la IA en la ventilación mecánica (VM) está actualmente en pleno desarrollo y es relativamente reciente, por lo que podemos afirmar que se encuentra en proceso de validación clínica.

Los ventiladores mecánicos y sus modos ventilatorios iniciaron su funcionamiento con mecanismos electromecánicos continuando con microprocesadores. Estos últimos permitían, no sólo modos ventilatorios novedosos sino también la personalización de los mismos según el estado y la situación del paciente. Ambos mecanismos, el electromecánico y el que utiliza microprocesadores no tienen capacidad de aprendizaje ni analiza datos, siendo el médico el responsable de ajustar modos y parámetros.

Es por ello por lo que la utilización de la IA en la VM lleva implícita la utilización de algoritmos que tengan en cuenta la totalidad de los datos derivados de la utilización de estos dispositivos médicos, de manera que puedan “aprender” y tener la capacidad de “tomar decisiones clínicas”.

En la actualidad con relación a la VM se está investigando con determinados aspectos de interés como son.

- Las asincronías entre el ventilador y el paciente. Los modelos de aprendizaje analizan los patrones de las señales respiratorias de cara a identificar desfases entre el ventilador y el paciente.

- Optimización de parámetros ventilatorios como el volumen tidal y la frecuencia respiratoria. Los modelos de aprendizaje predicen complicaciones y sugieren correcciones en estos parámetros, de cara a la optimización de la ventilación.
- Predicción de riesgos, especialmente en situaciones en las que la VM sea prolongada, teniendo en cuenta aspectos del perfil de los pacientes.
- Apoyo clínico a los médicos en la toma de decisiones.

Sin duda, este es sólo el principio y el estado de este tema hasta el momento, que es dinámico y cambiante cada día que pasa, pero sin duda promete optimizar los resultados en una mejor aplicación de la VM en los pacientes.

La IA también está generando repercusiones significativas en los cuidados de enfermería relacionados con la VM en pacientes críticos, transformando tanto la práctica clínica como la calidad de la atención: la detección temprana de complicaciones derivadas de la VM hace posible que las enfermeras actúen de manera precoz, intervención que sin duda se correlaciona con los días de estancia en UCI, las repercusiones de la VM y como no, la mortalidad.

La evitación de los tiempos innecesarios de VM, especialmente la valoración y seguimiento del destete y posterior extubación, labor realizada por las enfermeras, mejora el pronóstico de los pacientes. Igualmente, la valoración y registro de los parámetros de VM que la enfermera integra de cara a mejorar los tiempos de respuesta. La IA facilita un rol más proactivo en las intervenciones de enfermería, tempranas y eficaces, dentro del equipo interdisciplinar.

Además, la integración de la inteligencia artificial en la VM está impulsando el desarrollo de nuevas herramientas educativas y de simulación clínica para el personal de enfermería. Estas plataformas, basadas en IA, permiten recrear escenarios complejos y poco frecuentes, facilitando el entrenamiento en la identificación y resolución de complicaciones asociadas a la VM.

De este modo, se fortalece la formación continua del equipo de UCI, incrementando la confianza y la competencia en la toma de decisiones bajo presión. Asimismo, la IA contribuye a la estandarización de protocolos y a la reducción de la variabilidad clínica, promoviendo una atención más homogénea y basada en la evidencia. A largo plazo, se espera que estas innovaciones no solo optimicen los resultados clínicos, sino que también mejoren la satisfacción y la seguridad tanto de los pacientes como del personal sanitario.

¿Por qué respiramos?

Respiramos porque nuestro organismo necesita oxígeno para producir energía; adenosin trifosfato (ATP) mediante su combinación con la glucosa. El oxígeno se encuentra en el aire atmosférico, ejerciendo una presión parcial dentro de la presión atmosférica total.

Para introducir este oxígeno en nuestro cuerpo, utilizamos el proceso de ventilación, que es parte fundamental del sistema respiratorio. Este mecanismo nos permite obtener el oxígeno necesario para mantener las funciones vitales y generar la energía requerida para todas las actividades celulares -alusiones a Krebs-.

El ciclo de Krebs, también conocido como ciclo del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarboxílico, es una ruta metabólica fundamental en la respiración celular aeróbica. Tiene lugar en la matriz mitocondrial y su función principal es oxidar los productos del metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas para liberar energía en forma de ATP. Durante este ciclo, el acetil-CoA —derivado principalmente de la glucosa, los ácidos grasos y algunos aminoácidos— se combina con el oxalacetato para formar citrato, el cual es transformado a través de una serie de reacciones enzimáticas. En cada vuelta del ciclo, se producen: 3 moléculas de NADH, 1 molécula de FADH₂, 1 molécula de GTP (o ATP, según el tipo celular) y 2 moléculas de CO₂ (como subproducto). Los NADH y FADH₂ generados transfieren electrones a la cadena

de transporte de electrones, donde finalmente el oxígeno actúa como aceptor final, permitiendo la síntesis de gran cantidad de ATP mediante fosforilación oxidativa

La respiración fisiológica se caracteriza por una inspiración activa y una espiración generalmente pasiva, ocurriendo a presión negativa gracias al espacio pleural que permite la expansión pulmonar.

El control natural de la respiración se realiza principalmente a través del tronco del encéfalo, específicamente en áreas como el bulbo raquídeo y la protuberancia, que regulan la frecuencia respiratoria y el volumen inspiratorio. En contraste, la ventilación mecánica opera a presión positiva, lo que la hace “anti fisiológica” en cierto sentido.

Este método artificial de asistencia respiratoria implica tres componentes principales: el paciente, una interfase (generalmente tubos endotraqueales o mascarillas), y un respirador o ventilador mecánico.

A pesar de su naturaleza diferente a la respiración natural, la VM es una herramienta indispensable, proporcionando soporte vital avanzado en situaciones donde la respiración autónoma del paciente es insuficiente o imposible, como en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), Reanimación, durante ciertas cirugías con anestesia general, o en casos de insuficiencia respiratoria aguda o crónica.

EVOLUCIÓN E HISTORIA

La ventilación mecánica evolucionó desde experimentos pioneros como los de Andrés Vesalio (1543) en animales, hasta los pulmones de acero de presión negativa en el siglo XIX, perfeccionados por Philip Drinker (1928) y John Emerson (1931) durante las epidemias de polio. La transición a la presión positiva se consolidó con el “Pulmotor®” de Dräger® (1907) y los ventiladores de Frenckner-Crafoord (1933) para cirugía torácica, impulsándose definitivamente durante la epidemia de polio en Dinamarca

(1953). A partir de los años 70, la generalización de las UCI y los microprocesadores permitieron modos avanzados (IMV, SIMV, entre otros) y mayor precisión, relegando los métodos de presión negativa.

Esta evolución refleja la adaptación tecnológica a necesidades clínicas, desde dispositivos rudimentarios hasta sistemas computarizados integrales.

Figura 1. Evolución de la Ventilación mecánica

Época / Autor	Evidencia / Descripción
1550 a C. Cultura Egipcia	“ <i>Papiro de Ebers</i> ”. La cultura egipcia relacionaba la respiración con “ <i>el aliento de la vida</i> ”.
460-370 a C. Hipócrates	Describe técnicas primitivas de canulación orotraqueal de cara a insuflar aire.
1493-1541 (S XVI) Paracelso	Intentó reanimar a un paciente colocando un tubo en la boca e insuflando aire a través de él.
1543 (S XVI) Andrés Vesalio	Mantuvo vivo a un perro a través de un fuelle conectado a su tráquea.
1770 (S XVIII) John Hunter	Diseña un sistema de <i>doble fuelle</i> para ventilación animal. Sienta las bases de la presión positiva intermitente.
(S XVIII) Lavoisier y Priestley	Investigan sobre el O ₂ y el CO ₂ Permiten optimizar los dispositivos ventilatorios.
1838 (S XIX) John Daziel	Crea el primer ventilador a presión negativa. Cámara con fuelles para expandir el tórax.
1864 (S XIX) Alfred Jones	Introduce el tanque ventilador.
1864 y 1876 (S XIX) Alfred F. Jones y Woillez	Fabrican una cámara hermética donde el cuerpo del paciente podía ser sometido a presión negativa (precursor del pulmón de acero).
1928 (S XX) Philip Drinker y Louis Shaw	Mejoran el pulmón de acero: cámara metálica que generaba presión negativa alrededor del torso.
1931 (S XX)	Mejora el diseño de pulmón de acero de Drinker.

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

John Haven Emerson	Los utiliza en los hospitales.
1952 (S XX) Bjørn Ibsen	Epidemia de polio en Copenhague. Ventilación manual con presión positiva mediante traqueostomía, reduciendo la mortalidad del 87% al 25%.
1953 (S XX) Carl Engstrom	Introduce los ventiladores a presión positiva automáticos. Marca el inicio de la VM moderna.
1960-70 (S XX)	En EE. UU. aparece la VM con microprocesadores.
1980-90 (S XX)	Nueva generación de ventiladores cada vez más sofisticados. VM en UCI y en Anestesia.
1980 (S XX)	VMNI. Ventilación mecánica no invasiva.
(S XXI)	VM como herramienta multidisciplinar. Sistemas computerizados. Nuevos modos ventilatorios (NAVA®). Perfeccionamiento de la VMNI. ECMO. Dispositivos portátiles. Optimización de la seguridad y eficacia de la VM.
(S XXI)	IA en la ventilación mecánica

(Fuente: elaboración propia)

¿Qué es la ventilación mecánica?

El concepto de ventilación mecánica (VM) en sí mismo es muy simple y consiste en mantener durante un periodo de tiempo determinado y de forma automática la función respiratoria.

Objetivo

“Ganar tiempo y/o mejorar la situación del paciente”

Se aplica a través de un dispositivo denominado ventilador mecánico, que administra aire medicinal a través de un tubo endotraqueal (TET) o a través de una mascarilla nasal/facial.

Se puede hablar de ventilación mecánica invasiva (VMI) y no invasiva (VMNI). Ambas tienen el mismo objetivo, el de asistir al paciente que presenta insuficiencia respiratoria, sin embargo, presentan diferencias en las indicaciones, forma de aplicarla (técnica), ventajas e inconvenientes, entre otros aspectos.

En la VMI se inserta un TET a través de la nariz (nasotraqueal) o la boca (orotraqueal). También es posible insertarlo en una traqueostomía (intubación traqueal por traqueostomía o intubación a través de estoma traqueal), en este caso, el acceso a la vía aérea se produce sin pasar por la cavidad oral o nasal: no requiere laringoscopia ni manipulación de estructuras supraglóticas, reduciéndose así el trauma laríngeo. En este caso, el TET puede ser estándar o específicos para traqueostomías. En estos dispositivos es muy importante valorar la presión del neumotaponamiento (a través de un manómetro calibrado), que la realizará el profesional de enfermería de la unidad de críticos, al menos, cada 6-8 horas, y siempre que sea necesario. La presión óptima del neumotaponamiento debe mantenerse entre 20-30 cm H₂O (equivalente a 15-22 mmHg). Una presión por debajo de 20 cm H₂O podría ocasionar fugas (lo detectaría/registraría el ventilador mecánico), provocando una broncoaspiración o una neumonía asociada a ventilación mecánica (NAV). En estos dos últimos casos, y de cara a prevenirlos, la inserción de un TET con aspiración subglótica sería ideal. Por encima de 30 cm H₂O podría ocasionar una necrosis del tejido circundante, una estenosis e incluso una fistula.

Neumotaponamiento
20-30 cm H₂O (15-22 mmHg)

También es posible la utilización de dispositivos subglóticos de tipo mascarillas laríngeas en ventilación mecánica. Son herramientas clave en el manejo avanzado de la vía aérea, especialmente en escenarios donde se busca evitar la intubación endotraqueal tradicional. Las mascarillas laríngeas son dispositivos

supraglóticos que se insertan por vía oral y forman un sello alrededor de la entrada laríngea mediante un manguito inflable o autopresurizable. A diferencia de los tubos endotraqueales, no atraviesan la glotis, pero permiten VM eficaz. Presentan un tubo curvado con una “cazoleta” distal que se adapta a la anatomía faríngea. Algunos modelos, como la Air-Q®, incluyen una rampa elevadora de la epiglotis y orificios diseñados para facilitar la intubación a través del dispositivo. Versiones como la Air-Q SP® tienen manguitos autopresurizables que mejoran el sellado durante la ventilación con presión positiva. Pueden colocarse sin visualización directa de la glotis, incluso por personal con entrenamiento básico. Reducen el riesgo de insuflación gástrica comparado con la ventilación con mascarilla facial. Útiles en vías aéreas difíciles, obesidad o pacientes con riesgo de aspiración, gracias a diseños que incorporan canales para descompresión gástrica. Permiten la aplicación de PEEP (presión positiva al final de la espiración), mejorando la oxigenación en pacientes críticos. Son una alternativa a la intubación en cirugías cortas o como puente en paradas cardiorrespiratorias.

En la VMNI se utilizan generalmente mascarillas faciales, con características diferenciadoras: oronasales o faciales (que cubren la nariz y la boca) y nasales (sólo para la nariz). Las mascarillas nasales permiten al paciente hablar y comer. En estos dispositivos es muy importante el sellado, por eso incorporan almohadillas de gel o silicona de cara también a prevenir las úlceras por presión (UPP). También disponen de arneses de cabeza con lengüetas de cara a adaptar el dispositivo a la anatomía del paciente. Priorizan los sistemas con válvula anti-asfixia de cara a prevenir la re-inhalación de CO₂.

PARÁMETROS DE INTERÉS EN VENTILACIÓN MECÁNICA

FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR)

Número de respiraciones por minuto que administra el ventilador al paciente. Se ajustará según la edad y el estado clínico del paciente. En condiciones basales 12-15 rpm.

Valores de referencia:

- Neonatos: 40–60 resp/min.
- Lactantes: 30–40 resp/min.
- Niños: 20–30 resp/min.
- Adultos: 12–20 resp/min. (frecuentemente se inicia entre 12–15 rpm)

Ajuste:

Un aumento de la FR (hiperventilación moderada) incrementa el volumen minuto y puede ayudar a eliminar más dióxido de carbono (CO_2).

En el caso de que sea excesiva, puede ocasionar hiperventilación y consecuente alcalosis respiratoria.

Por el contrario, una frecuencia demasiado baja, resulta en hipoventilación y se asocia a acidosis respiratoria por retención de CO_2 .

La hiperventilación podría ocasionar una hipocapnia, es decir, unos niveles de PCO_2 por debajo de 35 mmHg (valo-

res de referencia de PCO₂ 35-45 mmHg) reduciendo el flujo sanguíneo cerebral (FSC). Se ha evidenciado que la hipocapnia produce vasoconstricción cerebral y niveles de PCO₂ por debajo de 20 mmHg podrían ocasionar isquemia, lo que aumentaría el riesgo de riego sanguíneo en tejidos vulnerables, como en accidentes cerebrovasculares (ACV) o traumatismos craneoencefálicos (TCE).

VOLUMEN TIDAL (VT)

Volumen de aire en ml suministrado en cada inspiración. También denominado volumen corriente (VC) o volumen de una inspiración. En condiciones basales entre 6-7 mL/Kg de peso del paciente. A un paciente de 70 Kg le corresponderían aprox. 420 ml.

Volutrauma pulmonar

Asociado a estrés mecánico por aumento de volumen. Lesión pulmonar causada por la sobredistensión alveolar durante la ventilación mecánica, debido al uso de volúmenes corrientes elevados que superan la capacidad elástica del tejido pulmonar (elastancia).

Barotrauma pulmonar

Asociado a presiones altas. Se podría afirmar que el barotrauma pulmonar ocurre cuando las presiones aplicadas durante la ventilación mecánica exceden la capacidad de las estructuras pulmonares para soportarlas. Cuando se presente como neumotórax a tensión causa hipoventilación y compromete al estado hemodinámico del paciente. También puede ocasionar neumo-mediastino, enfisema subcutáneo y neumo-peritoneo.

VOLUMEN MINUTO (Vm)

Es el volumen total de aire movilizado por el sistema respiratorio en un minuto. Se calcula multiplicando el volumen tidal por la frecuencia respiratoria.

Por ejemplo, un paciente de 70 Kg al que le corresponden 420 ml de volumen tidal, y a 12 respiraciones por minuto, tendrá un volumen minuto de 5040 ml (5 litros minuto).

$$\text{VOLUMEN MINUTO} = \text{VOLUMEN TIDAL} \times \text{FRECUENCIA RESPIRATORIA}$$

Solo el volumen alveolar participa en el intercambio gaseoso. El espacio muerto anatómico y de los materiales como el tubo corrugado y el TET, entre otros (aproximadamente 150 mL) no contribuye, por lo que un VM elevado con alto espacio muerto podría no corregir la hipercapnia, aspecto a tener en cuenta.

En el Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA), se priorizan generalmente volúmenes corrientes bajos (6 mL/kg) para minimizar el volutrauma, ajustando la FR para mantener un VM adecuado (ventilación protectora).

El Vm está inversamente relacionado con la PaCO₂: un aumento en el Vm reduce la hipercapnia.

En situaciones de mayor demanda metabólica, por ejemplo, en un paciente séptico, se suelen añadir 2 L/min al valor basal.

FRACCIÓN INSPIRATORIA DE OXÍGENO (FiO₂)

La FiO₂ es el porcentaje de oxígeno en el volumen total de aire inspirado por un paciente. Es un parámetro clave en la oxigenoterapia y la ventilación mecánica, utilizado para ajustar la concentración de oxígeno según las necesidades clínicas. En el ambien-

te la FiO_2 es del 21% (0.21) en aire atmosférico al nivel del mar. Los ventiladores mecánicos permiten ajustar la FiO_2 entre 21% y 100% mediante mezcladores de aire y oxígeno. Los factores que influyen generalmente en la FiO_2 son el patrón respiratorio y el espacio muerto.

Figura 2. Gases ambientales

GASES EN EL AMBIENTE	% POR VOLUMEN
NITRÓGENO	78.084
OXÍGENO	20.946
ARGÓN	0.934
NEÓN	18.2X10 ⁻⁴
HELIO	5.2X10 ⁻⁴
CRIPCIÓN	1.1X10 ⁻⁴
HIDRÓGENO	5.0X10 ⁻⁵
ÓXIDO NITROSO	3.0X10 ⁻⁵
XENÓN	0.9X10 ⁻⁵

(Fuente: elaboración propia)

Objetivo terapéutico

Usar la FiO_2 más baja que garantice una saturación $\geq 90\text{-}94\%$

ÍNDICE DE KIRBY

Mide la eficacia de la oxigenación en pacientes con insuficiencia respiratoria (SDRA). También denominada popularmente “PaFi”.

IK = PaO2 (mmHg) / FiO2 (fre. relativa)
En condiciones de normalidad debe de estar
por encima de 300

Por ejemplo, un paciente con una PO2 de 95 mmHg y con
una FiO2 ambiente tendrá un IK de 452.3

IK = 95/0.21 = 452.3

Figura 3. Índice de Kirby según el SDRA

Gravedad en el SDRA	PaO2 /FiO2
Leve	≤ 300
Moderado	≤ 200
Grave	≤ 100

(Fuente: elaboración propia)

PRESIÓN PICO

Corresponde a la máxima presión alcanzada durante la inspi-
ración, especialmente en la vía respiratoria: tráquea, bronquios,
bronquiolos. Refleja la resistencia en la vía aérea. Se controla para
evitar el barotrauma (debe de ser <30-35 cm H₂O).

La presión pico en la modalidad de ventilación mecánica con-
trolada por presión (VCP) es el resultado de sumar la presión ins-
piratoria (cambio de presión desde el final de la espiración hasta
el final de la inspiración) a la PEEP (presión positiva al final de la
espiración).

En ventilación mecánica controlada por presión, un aumento
en la resistencia puede reducir el VT lo que podría llevar a hipo-
ventilación.

PRESIÓN PLATEAU

También denominada presión meseta. Corresponde a la presión alveolar al final de la inspiración. Debe mantenerse <30 cm H_2O para evitar daño alveolar.

Refleja la presión alveolar durante una pausa inspiratoria, cuando el flujo de gas se detiene. Representa la presión necesaria para mantener los pulmones distendidos. Depende de la distensibilidad pulmonar (compliance) y la PEEP.

PRESIÓN PICO

Presión al final de la inspiración en vías
 $<30-35$ cm H_2O

PRESIÓN PLATEAU

Presión al final de la inspiración en alvéolo
 <30 cm H_2O

Generalmente el aumento de la presión en la vía aérea (VA) está relacionado con.

- Obstrucción de la VA: presencia de secreciones, broncoespasmo, cuerpo extraño, entre otros.
- Resistencia al flujo: mala sincronización VM, estrechamiento de la VA.
- Edema Agudo de Pulmón (EAP): insuficiencia cardíaca congestiva (ICC), lesión pulmonar aguda.
- Neumotórax.
- Compliance disminuida: frecuentemente asociada a SDRA. También en la fibrosis pulmonar.
- VT por encima de las necesidades.
- PEEP: presión positiva al final de la espiración.

Realmente la presión meseta elevada está relacionada con una disminución de la compliance pulmonar y se asocia a EAP, neumonía, SDRA y neumotórax, entre otras situaciones.

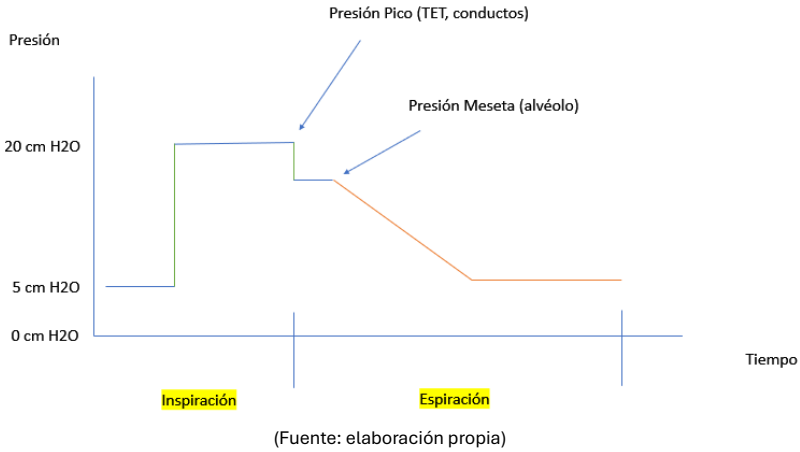
Cuando la diferencia pico-meseta es >5 cmH₂O se asocia al aumento de la resistencia de la vía aérea.

En ventilación controlada por volumen (VCV), la diferencia entre presión pico y presión meseta está determinada por la resistencia del sistema y el flujo inspiratorio: a mayor resistencia o flujo, mayor será esta diferencia.

A pesar de que ambas presiones son valoradas y registradas por el profesional de enfermería, ante un aumento de la presión pico, antes de informar al médico responsable del paciente, debemos de comprobar si existe alguna razón que la genere, por ejemplo, presencia de secreciones (aunque no se visualicen en el TET), si el tubo está acodado, o si se ha producido una intubación selectiva, es decir, que el distal del TET se ha introducido en el bronquio derecho (la anatomía bronquial a partir de la carina, facilitaría esta situación). Sin embargo, ante un aumento de la presión meseta/plateau, en la que el problema está en el parénquima pulmonar, debemos, no solo valorar y registrar este parámetro sino informar al médico responsable del paciente para que lo valore e instaure un tratamiento concreto. Podríamos decir, que la presión pico es de la enfermera/o y la presión meseta/plateau del médico.

La relación entre ambas es que la presión pico siempre es igual o mayor que la presión alveolar, y la diferencia entre ellas corresponde a la presión de resistencia de las vías aéreas. Un aumento de la presión pico sin cambios en la presión alveolar indica un incremento en la resistencia de las vías aéreas (por ejemplo, por secreciones, broncoespasmo o problemas en el tubo endotraqueal), mientras que un aumento simultáneo de ambas suele indicar una disminución de la distensibilidad pulmonar (como en edema pulmonar o fibrosis).

Figura 4. Presión pico y meseta/plateau



POSITIVE END-ESPIRATORY PRESSURE (PEEP)

Aplicación de una presión mayor que la fisiológica en los pulmones, con el objetivo de mejorar el intercambio de gases (O_2 y CO_2). Esta técnica previene el colapso alveolar (atelectasia). En Ventilación mecánica (VM) suele utilizarse entre 5 y 20 cmH_2O .

Podemos hablar de dos tipos de PEEP: PEEP extrínseca, la aplicada por el ventilador mecánico, PEEP intrínseca o auto-PEEP, que ocurren debido a una exhalación incompleta, el volumen de aire que entra es mayor que el que sale.

Se han evidenciado beneficios de la PEEP como la prevención del atelectrauma, la mejorar del intercambio de gases, aumentando el área funcional de la membrana alveolocapilar y apertura los alvéolos colapsados (reclutamiento alveolar).

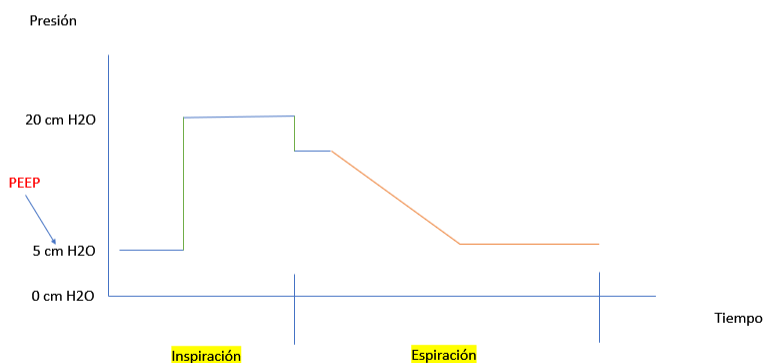
También se han evidenciado efectos colaterales de su utilización como la disminución del retorno venoso (precarga) al aumentar la presión intratorácica, lo que afecta también al gasto cardíaco. La presión excesiva puede causar barotrauma, dañando la estructura del parénquima pulmonar. Por último, la PEEP alta, especialmente por encima de 15 cmH_2O se ha correlacionado con un aumento de la presión intracraneal (PIC).

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

También se puede aplicar PEEP a través de un balón de reanimación (popularmente denominado Ambú®) colocando la válvula de PEEP (+5, +10, +15, +20 cmH₂O), de cara a mantener una presión positiva y no colapsar el alvéolo cuando estamos ventilando con este dispositivo.

Figura 5. Positive End-Espiratory Pressure (PEEP)



(Fuente: elaboración propia)

FLUJO

Flujo inspiratorio (Peak Flow). Se define como la rapidez/velocidad o caudal de aire entregado en el VT: cantidad de gas que el ventilador mecánico aporta por unidad de tiempo. Se mide en litro/minuto.

Cálculo del flujo inspiratorio

Ventilación a volumen

Flujo=Volumen corriente (Vt) / Tiempo inspiratorio (Ti)

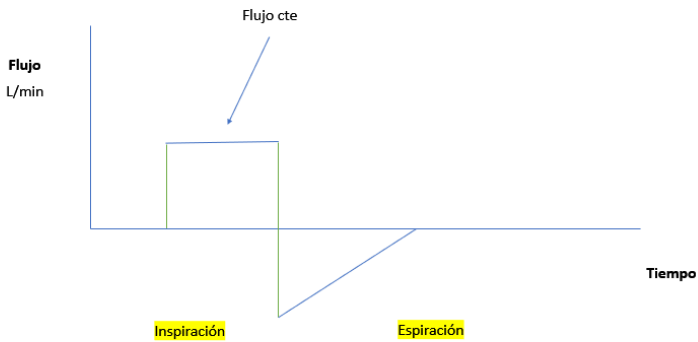
Ventilación a presión

El flujo depende de la resistencia de la vía aérea y de la presión aplicada

RESPIRAR CON DATOS.
INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

Figura 6. Curva de Flujo en VMV

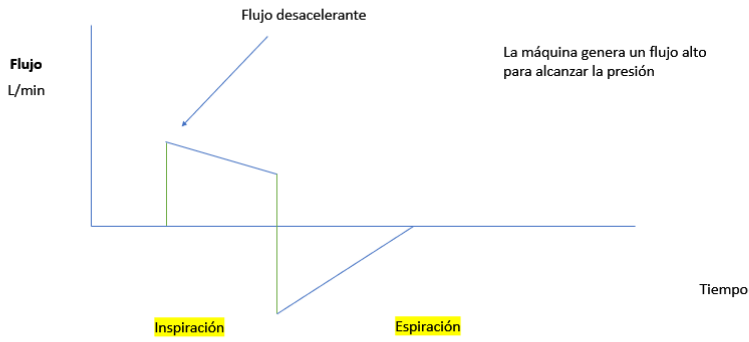
Curva de Flujo (F/t): cambios de flujo inspiratorios y espiratorios **VM A VOLUMEN**
Área: gas movilizado



(Fuente: elaboración propia)

Figura 7. Curva de Flujo en VMP

Curva de Flujo (F/t): cambios de flujo inspiratorios y espiratorios **VM A PRESIÓN**
Área: gas movilizado



(Fuente: elaboración propia)

TIEMPO INSPIRATORIO (Ti)

Define la fase inspiratoria: tiempo de cada inspiración.

En la práctica clínica, se ajustan el tiempo inspiratorio según la respuesta del paciente y la estrategia ventilatoria deseada: un tiempo inspiratorio más largo permite una inspiración más lenta y profunda, mientras que un tiempo inspiratorio más corto puede ser utilizado para respiraciones más rápidas y superficiales.

Si el flujo inspiratorio es tan alto que alcanza el volumen respiratorio ajustado antes de que transcurra el tiempo inspiratorio (Ti) habrá una pausa en la inspiración.

$$\text{Tiempo inspiratorio} = 60 / \text{Frecuencia respiratoria}$$
$$Ti = 1.7 \text{ segundos.}$$

Resistencia "R"

Resistencia que ejerce el sistema hasta el final del TET "espacio muerto, tubuladuras, filtro, "agua retenida en el tubo corrugado", entre otros.

Así, la Resistencia = Presión / Volumen.

Relación entre presión y flujo

$$\text{Presión} = \text{Resistencia} \times \text{Volumen}$$

Presión: diferencia de presión del sistema respiratorio
(en cm de H₂O).

Resistencia: que ejerce el sistema respiratorio (en cm de H₂O).

Volumen: Flujo de aire (litros)

COMPLIANZA "Csr"

La complianza pulmonar o compliance pulmonar hace referencia a la distensibilidad o capacidad del pulmón para distenderse.

Es definida como el cambio de volumen pulmonar por unidad de cambio de presión.

Compliance pulmonar

$C_{sr} = \text{Cambio de volumen} / \text{Cambio de presión}$

Mide la distensibilidad pulmonar

Para que el gas insuflado llegue a los pulmones se debe aplicar una presión que venza la resistencia elástica a la expansión que ofrecen los pulmones y la pared torácica.

Representa la facilidad con que los pulmones y la pared torácica se expanden durante la ventilación, siendo inversamente proporcional a la elastancia, que refleja la resistencia elástica a la distensión (retracción pulmonar).

Por ejemplo, en el enfisema pulmonar existe una compliance elevada, sugiriendo pérdida de elasticidad pulmonar. En el EAP, fibrosis pulmonar, SDRA o atelectasias se relaciona con compliance reducida o rigidez pulmonar.

ELASTANCIA "E"

La Elastancia pulmonar hace referencia a la resistencia elástica del sistema respiratorio a la distensión durante la ventilación (retracción del pulmón). Es inversa a la compliance pulmonar.

Elastancia pulmonar

$E = \text{Cambio de presión} / \text{Cambio de volumen}$

Mide la rigidez del sistema respiratorio

$E = (P_{\text{plateau}} - PEEP) / V_T$

Por ejemplo, nos encontraremos una elastancia elevada en la fibrosis pulmonar, el edema alveolar y en el SDRA. En el enfisema

pulmonar donde la destrucción alveolar aumenta la distensibilidad, nos encontramos con una elastancia reducida.

TRIGGER

También sensibilidad de disparo y/o gatillo.

Es un mecanismo, con distinto grado de sensibilidad que se activa para iniciar el flujo de gas inspiratorio, cuando el paciente realiza un intento de inspiración, el respirador lo detecta y acciona la inspiración: permite al paciente realizar respiraciones espontáneas estando en modo asistido/intermitente.

TRIGGER

Valor de referencia: 3-5 cm de H₂O

Si el paciente hace un esfuerzo bajo, no se dispara.

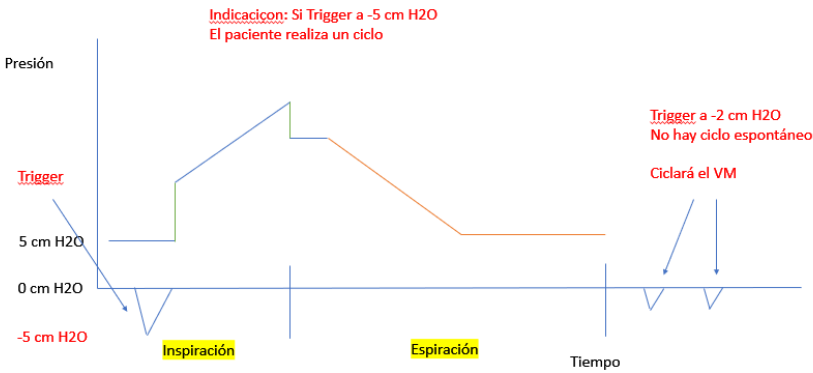
Si el paciente hace un esfuerzo alto, el respirador puede disparar innecesariamente (el paciente no necesitaría trigger).

Al menos, dos tipos de trigger:

Trigger asistido por el paciente, que a su vez puede ser de flujo o de presión. En esta situación el ventilador mecánico detecta el esfuerzo inspiratorio del paciente, como una caída de presión o un aumento de flujo, lo que representa que el paciente necesita ser asistido. El ventilador mecánico en este caso entrega gas.

Trigger controlado por el ventilador mecánico. Según unos parámetros definidos el ventilador mecánico entrega gas sin tener en cuenta el esfuerzo del paciente. Se emplea en modos controlados.

Figura 8. Trigger



(Fuente: elaboración propia)

RELACIÓN I:E

La relación I:E (Inspiración:Espiración) y su configuración temporal son parámetros fundamentales en la ventilación mecánica, que determinan la sincronización del ciclo respiratorio y la distribución del flujo aéreo.

Tiempo relativo entre las fases inspiratoria y espiratoria. De esta manera la espiración dura casi el doble que la inspiración. Normalmente ajustada a 1:1.7 (fisiológica).

HUMEDAD Y TEMPERATURA

La humidificación adecuada es un componente crítico en la VM para prevenir complicaciones respiratorias y garantizar la integridad de las vías aéreas. Los gases administrados durante la VM carecen de la temperatura y humedad proporcionadas naturalmente por la nasofaringe, lo que puede generar daños en el epitelio respiratorio.

Los humidificadores pasivos, a través de filtros reciclan la humedad y el calor del aire exhalado.

Los humidificadores activos calientan y humidifican el gas inspirado mediante sistemas de cascada o vaporizadores, manteniendo una humedad relativa del 44% y temperatura de 34-37°C.

De esta manera se preserva la función mucociliar, se reduce la viscosidad del moco evitando la aparición de tapones, se reduce igualmente la incidencia de neumonía asociada a ventilación mecánica.

RAMPA

La rampa en ventilación mecánica, también conocida como rampa inspiratoria o “rise time” en inglés, se refiere al tiempo que tarda el ventilador en alcanzar la presión inspiratoria máxima programada desde el inicio de la inspiración. Este concepto es importante en los modos de ventilación controlados por presión.

Se puede programar en algunos ventiladores mecánicos, generalmente en modos por presión.

Unidades de medida: Puede expresarse en segundos o como un porcentaje del tiempo inspiratorio total.

Efecto en la curva de presión

Una rampa más corta resulta en un aumento más rápido de la presión, mientras que una rampa más larga produce un aumento más gradual.

Impacto en el flujo: La configuración de la rampa afecta directamente el patrón de flujo inspiratorio entregado al paciente.

Aplicación clínica: Permite ajustar la velocidad con la que se entrega la presión al paciente, lo que puede mejorar la sincronía y el confort del paciente.

Variabilidad entre ventiladores: Algunos equipos ajustan la rampa de forma automática, mientras que otros permiten su programación manual

OTROS PARÁMETROS DE INTERÉS

SPO2 (Oximetría de pulso o pulxi-oximetría)

Representa el % de hemoglobina saturada.

Dentro de las hemoglobinas tenemos las funcionales, con capacidad para transportar oxígeno, como la Oxihemoglobina (O_2Hb) y la Deoxihemoglobina / desoxihemoglobina (HHb). Las dishemoglobinas no transportan oxígeno, como por ejemplo la Carboxihemoglobina (COHb) que tiene una afinidad al grupo hemo 240 veces superior al O_2 , la Metahemoglobina (MetHb) y la SulfoHemoglobina (SHb).

- La Oxihemoglobina tiene sus cuatro átomos de hierro en estado ferroso (Fe^{2+}), lo que permite la unión reversible de hasta cuatro moléculas de oxígeno.
- La desoxihemoglobina (o deoxihemoglobina) es la forma de la hemoglobina que ya ha cedido su oxígeno a los tejidos. Es hemoglobina reducida y no transporta oxígeno en ese momento. Esta forma es la que predomina en la sangre venosa, que viene de los tejidos y va de regreso a los pulmones para reoxigenarse.
- La Carboxihemoglobina transporta CO, desplazando al O_2 , y entrando en la célula, e inhibiendo las rutas metabólicas de O_2 . El CO desplazan al oxígeno debido a su alta afinidad por el grupo hemo
- La Metahemoglobina es una forma de hemoglobina en la que el hierro de los grupos hemo está oxidado a estado férrico (Fe^{3+}), lo que impide la unión al oxígeno. Sustancias como los nitritos y la prilocaina pueden inducir su formación (metahemoglobinizantes). También puede presentarse de forma congénita por un déficit de la enzima metahemoglobina reductasa.
- La Sulfohemoglobina es una forma anormal de hemoglobina en la que el azufre (S) se une de forma irreversible a la molécula de hemoglobina, impidiendo su capacidad de transporte de oxígeno. Puede producirse por exposición a ciertos compuestos sulfurosos como sulfonamidas, sumatriptán, nitratos y fenacetina, entre otros.

OBJETIVOS DE LA VM

Los objetivos de la VM varían dependiendo de la situación clínica y necesidades particulares de los pacientes.

Sin embargo, se pueden definir una serie de objetivos generales:

- Reducir el trabajo respiratorio: En pacientes con insuficiencia respiratoria aguda (IRA), la VM ayuda a disminuir el esfuerzo respiratorio del paciente y reduce la fatiga muscular respiratoria.
- Facilitar la ventilación alveolar: La VM ayuda a una adecuada ventilación alveolar, asegurando que el intercambio gaseoso (O₂ y CO₂) en los alvéolos pulmonares sea eficaz.
- Proteger los pulmones: La VM puede ayudar a proteger los pulmones de daños derivados de lesiones pulmonares agudas, especialmente SDRA. En este caso se pretende evitar el volutrauma, barotrauma y otras alteraciones como la atelectasia.
- Mejorar la oxigenación: La VM eficaz mantiene niveles adecuados de oxígeno en la sangre arterial, mejorando así la perfusión tisular y orgánica del cuerpo.
- Eliminar secreciones: La VM ayuda a movilizar las secreciones broncopulmonares, evitando la obstrucción de la vía aérea. Por ejemplo, de cara a prevenir la NAV.
- Corregir las alteraciones del equilibrio ácido-básico que pueden poner en riesgo la vida del paciente. Mediante el ajuste de la frecuencia respiratoria y el volumen corriente,

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

es posible modificar la eliminación de CO_2 , regulando así el pH sanguíneo y corrigiendo estados de acidosis o alcalosis respiratoria. La monitorización continua de parámetros como la PaCO_2 y el pH arterial permite adaptar la ventilación para mantener el equilibrio ácido-básico dentro de rangos fisiológicos, lo que es fundamental para la estabilidad metabólica y la función de los órganos vitales

Sin duda, la VM permite estabilizar y recuperar al paciente mientras la terapia se va implementando (causas subyacentes de IRA), proporcionando un soporte vital temporal.

INDICACIONES DE LA VM

Las indicaciones para la utilización de VM están condicionadas a la situación clínica del paciente, especialmente a su gravedad respiratoria:

- En anestesia. Utilización de la anestesia general para determinadas intervenciones quirúrgicas, de cara a mantener la ventilación del paciente y una adecuada oxigenación.
- Período postoperatorio. Tras determinadas intervenciones quirúrgicas en las que se ha visto comprometida el área torácica y/o abdominal.
- Insuficiencia respiratoria aguda (IRA), que puede presentarse en enfermedades como el edema agudo de pulmón (EAP), la neumonía, la insuficiencia cardíaca congestiva (ICC) y el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), como en la insuficiencia respiratoria crónica (IRC), típica de patologías como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y la fibrosis pulmonar, entre otras, ajustando el tratamiento según la gravedad y el contexto clínico de cada paciente.
- Parada cardiorrespiratoria (PCR). Formando parte de las maniobras de reanimación cardiopulmonar (RCP), de cara a mantener la ventilación, la oxigenación y la circulación.
- Apnea obstructiva del sueño, especialmente relacionada con la obstrucción de la vía aérea durante la noche.
- Fracaso de la VMNI.
- Inestabilidad hemodinámica. Hipotensión severa o shock. De cara a evitar daño en órganos y sistemas.

- Quemaduras respiratorias. En las vías respiratorias superiores, por inhalación de gases tóxicos o fuente de calor.
- Traumatismos torácicos graves. Fracturas de costillas múltiples o contusión pulmonar severa, donde el pulmón no puede expandirse adecuadamente, por ejemplo, en el volet costal.
- Obstrucción de las vías respiratorias altas. En caso de obstrucciones que no puedan resolverse de manera efectiva, como en la laringotraqueobronquitis grave o la obstrucción por cuerpos extraños (OVACE).

Otras formas de valorar la indicación de la VM están relacionadas con determinados parámetros, especialmente respiratorios, que inestabilizan al paciente en varios sistemas:

Indicación de VM ¿Situación Clínica del Paciente?

- Exceso trabajo respiratorio.
- FR > 35 resp/min.
- Hipoxemia: PO₂ < 60 mmHg (con FiO₂ al 0.4).
- Inadecuada fuerza muscular respiratoria.
- Inestabilidad respiratoria severa: distrés.
- Insuficiencia ventilatoria pulmonar: apnea. Esta sería una indicación absoluta.
- Insuficiencia ventilatoria pulmonar: hipoventilación que produce hipercapnia (PCO₂ > 45 mmHg).
- Necesidad de hiperventilación en el TCE.
- Patrón respiratorio ineficaz: Biot / Atáxico.
- Ph < 7.30.
- VT < 5 ml/Kg.

PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA VM

La VM se basa en varios principios físicos que permiten la correcta oxigenación de la sangre y la eliminación del dióxido de carbono.

Principios físicos fundamentales:

Ley de Boyle

Relación entre volumen y presión.

Relación inversa: A presión constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión. En la VM, se crea una presión positiva durante la inspiración para expandir los pulmones y permitir la entrada de aire, lo que aumenta el volumen pulmonar. Al reducirse la presión durante la espiración, el aire sale de los pulmones.

Ley de Charles

Relación entre volumen y temperatura.

A presión constante, el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura. En la VM, los gases respiratorios (como el oxígeno) se administran a una temperatura controlada para evitar alteraciones en el volumen de los pulmones debido a cambios térmicos.

Ley de Dalton

Presión parcial de los gases.

La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de

las presiones parciales de cada gas. En la VM, se debe controlar la cantidad de oxígeno y otros gases en la mezcla de aire administrada para asegurar una correcta oxigenación.

Ley de Henry

Solubilidad de los gases.

La cantidad de gas que se disuelve en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas. En los pulmones, el oxígeno se disuelve en la sangre a través de los alvéolos y es transportado por la hemoglobina. El control adecuado de la presión de oxígeno durante la VM es esencial para optimizar la oxigenación sanguínea.

Resistencia del sistema respiratorio

La resistencia al flujo de aire es un factor importante que determina la facilidad con la que el aire entra y sale de los pulmones. La VM debe compensar cualquier aumento en la resistencia, que puede ser causado por obstrucciones o enfermedades respiratorias, por ejemplo, como el asma o la EPOC.

Compliance pulmonar

La compliance es la medida de la capacidad de los pulmones para expandirse y contraerse. Si la compliance es baja (por ejemplo, en enfermedades pulmonares restrictivas), se necesita más presión para expandir los pulmones, lo que implica que la VM debe adaptarse a esta resistencia aumentada.

Efecto de la presión positiva

La ventilación mecánica genera una presión positiva en las vías respiratorias, lo que impide que las vías aéreas se colapsen durante la espiración. Esto es crucial, especialmente en pacientes con condiciones como el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA), en los que los pulmones tienen una tendencia a colapsar debido a la pérdida de surfactante.

Control del volumen y la presión

En los modos de VM, se puede controlar el volumen tidal o la presión aplicada durante la inspiración. Esto tiene implicaciones en cómo se distribuye el aire dentro de los pulmones y en la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono que se intercambia.

Intercambio gaseoso

Durante la VM, el objetivo principal es mejorar el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones. Para ello, se ajusta el flujo de aire, la concentración de oxígeno y la presión, lo que facilita el paso de gases desde los alvéolos hacia la sangre y viceversa.

FASES DEL CICLO RESPIRATORIO

En el ciclo ventilatorio se distinguen tres fases:

- **Insuflación.** El aparato genera una presión sobre un volumen de gas y tras la apertura de la válvula inspiratoria lo moviliza insuflándolo en el pulmón (volumen corriente).

Fases específicas de la inspiración:

- 1/ Inicio de la inspiración: El ventilador inicia el flujo de aire hacia los pulmones cuando se detecta una señal de inicio, que puede ser un trigger basado en la presión, el flujo o el volumen.
- 2/ Aumento de presión o flujo: La presión o el flujo de aire aumenta progresivamente, dependiendo de cómo esté configurado el ventilador.
- 3/ Expansión pulmonar: Los pulmones se expanden y el volumen aumenta, permitiendo que el oxígeno llegue a los alvéolos. Depende de la expansión elástica del pulmón: complianza.

- **Meseta.** El gas introducido se mantiene durante un tiempo en el interior del pulmón (pausa inspiratoria: tiempo de contacto del oxígeno con los alvéolos) para facilitar su distribución por los alvéolos.

- **Deflación.** Se inicia con la apertura de la válvula espiratoria y ocurre de forma pasiva (depende de la retracción elástica del

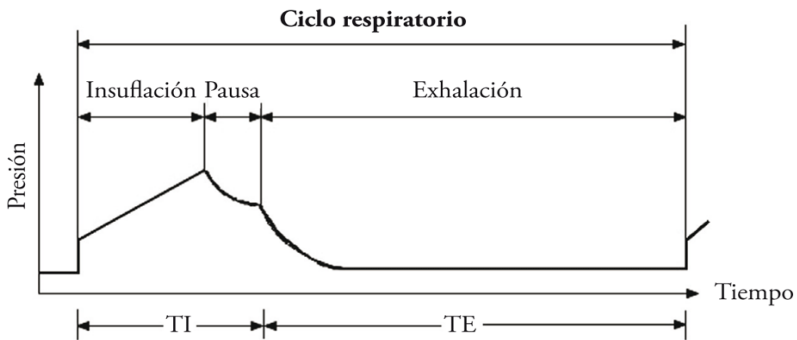
RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

pulmón insuflado: elastancia). El ventilador disminuye la presión aplicada en vías respiratorias.

- 1/ En ventilación de presión controlada, la presión en las vías respiratorias es ajustada para asegurar una espiración adecuada.
- 2/ En ventilación de volumen controlado, el ventilador controla la cantidad de aire que sale de los pulmones, y la espiración se detiene cuando se alcanza el volumen configurado.

Figura 9. Ciclo ventilatorio



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-fases-del-ciclo-respiratorio-7_fig1_264489699

MODOS DE LA VM

VENTILACIÓN MECÁNICA INVASIVA

VENTILACIÓN MECÁNICA A PRESIÓN (VMP)

La ventilación mecánica a presión es un modo de ventilación utilizado en pacientes que requieren soporte respiratorio: el paciente no respira por sí mismo.

Está indicada especialmente en la IRA, en el SDRA y en la cirugía que requiere anestesia general, entre otras situaciones.

Principio de funcionamiento: En la ventilación mecánica a presión, el ventilador aplica una presión predefinida en el circuito respiratorio del paciente para facilitar la entrada de aire en los pulmones. En lugar de controlar el volumen de aire suministrado, este modo controla la presión aplicada durante la inspiración.

Podríamos decir que es el modo ventilatorio más simple. Se programa, dependiendo de las necesidades del paciente la presión a alcanzar, el VT, FR, FiO₂, PEEP, la relación IE, entre otros parámetros.

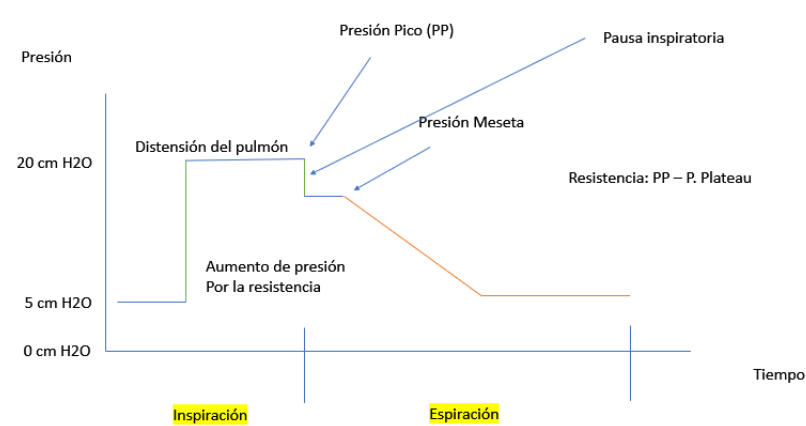
Competencias de enfermería

- Comprobar que el paciente esté sedado.
- Comprobar que está adaptado al ventilador mecánico.
- Valorar y registrar la presión pico y la presión meseta.
- Valorar fugas del circuito y la auto PEEP.
- Control de los parámetros gasométricos: pH, PO₂, PCO₂, CO₃H-, SaO₂ y EB.
- Control del estado hemodinámico del paciente: frecuencia cardíaca (FC), presión arterial media (PAM), gasto cardíaco (GC), presión venosa centra (PVC), entre otros.

Ventaja y desventajas

La VMP reduce el riesgo de volutrauma en comparación a la ventilación mecánica a volumen (VMV), sin embargo, existe una falta de control directo sobre el VT y la hipercapnia.

Figura 10. Curva de presión en VMP

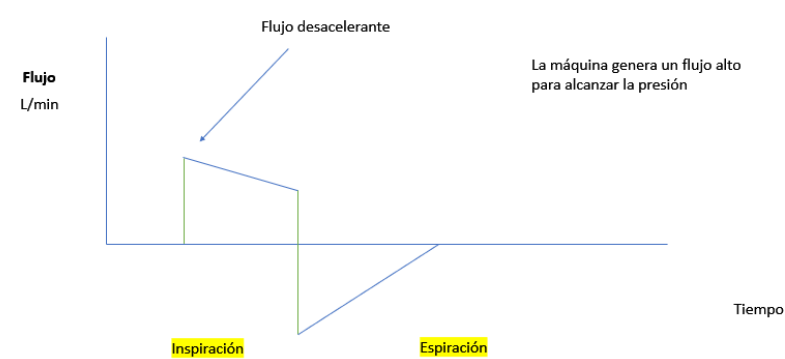


(Fuente: elaboración propia)

Figura 11. Curva de flujo en VMP

Curva de Flujo (F/t): cambios de flujo inspiratorios y espiratorios **VM A PRESIÓN**

Área: gas movilizado



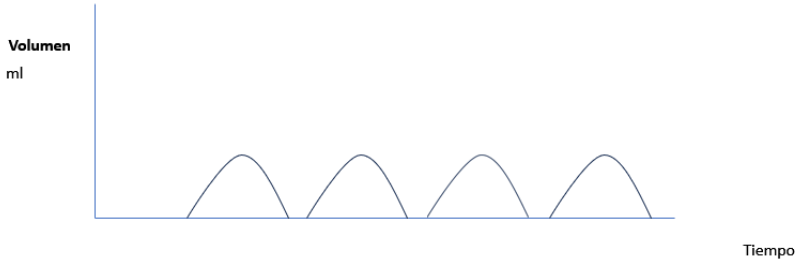
(Fuente: elaboración propia)

Figura 12. Curva de volumen en VMP

Curva de Volumen: forma sinusoidal o de "aleta de tiburón",

Área: gas movilizado

Volumen que entra y sale
(VC / Tidal) = vol. espirado



(Fuente: elaboración propia)

Modo Asistido en VMP

El ventilador proporciona una presión positiva específica al paciente durante la inspiración, facilitando así la entrada de aire en los pulmones. A diferencia de la ventilación controlada, en la ventilación asistida el paciente participa activamente iniciando el esfuerzo inspiratorio, y el ventilador responde suministrando la presión previamente ajustada para cada respiración, es decir, el ventilador mecánico le permite iniciar la respiración al paciente, a diferencia de la no asistida.

Al menos dos modalidades:

- **PSV/ASB:** El ventilador asiste cada respiración espontánea del paciente aplicando una presión positiva constante hasta que el flujo inspiratorio disminuye por debajo de un umbral determinado. No se fija una frecuencia respiratoria mínima; todas las respiraciones son iniciadas por el paciente.
- **A/C:** El ventilador asegura un número mínimo de respiraciones por minuto, pero permite que el paciente inicie respiraciones adicionales, que también serán asistidas con la presión o el volumen programados.

VENTILACIÓN MECÁNICA A VOLUMEN (VMV)

La ventilación mecánica a volumen es uno de los modos más comunes de ventilación utilizados en la práctica clínica: el paciente no respira por sí mismo.

Está indicada especialmente en la IRA, en el SDRA, en la IRC y en la cirugía que requiere anestesia general, entre otras situaciones.

Principio de funcionamiento: En la ventilación mecánica a volumen, se establece un volumen tidal predefinido que el ventilador suministra en cada ciclo respiratorio. El ventilador aplica una presión suficiente para alcanzar este volumen objetivo, independientemente de las características de la resistencia y la complianza del sistema respiratorio del paciente. Se programa, dependiendo de las necesidades del paciente el VT, el flujo inspiratorio, la presión inspiratoria máxima, el tiempo de pausa inspiratorio, FR, FiO₂, PEEP, la relación IE, entre otros parámetros.

Competencias de enfermería:

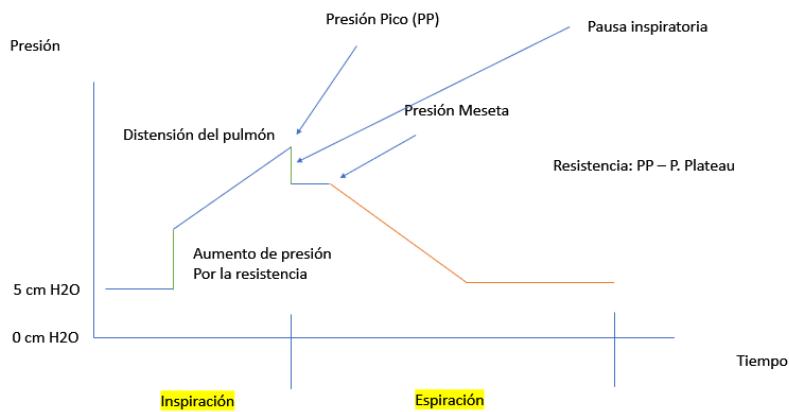
- Comprobar que el paciente esté sedado.
- Comprobar que está adaptado al ventilador mecánico.
- Valorar y registrar la presión pico y la presión meseta.
- Valorar fugas del circuito y la autoPEEP.
- Control de los parámetros gasométricos: Ph, PO₂, PCO₂, CO₃H-, SaO₂ y EB.
- Control del estado hemodinámico del paciente: frecuencia cardíaca (FC), presión arterial media (PAM), gasto cardíaco (GC), presión venosa centra (PVC), entre otros.

Ventaja y desventajas

Las ventajas de la VMV incluyen una administración controlada y predecible del VT, lo que puede ser beneficioso en situaciones donde es importante mantener un volumen pulmonar constante. Una de las desventajas es el riesgo de volutrauma.

RESPIRAR CON DATOS.
INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

Figura 13. Curva de presión en VMV

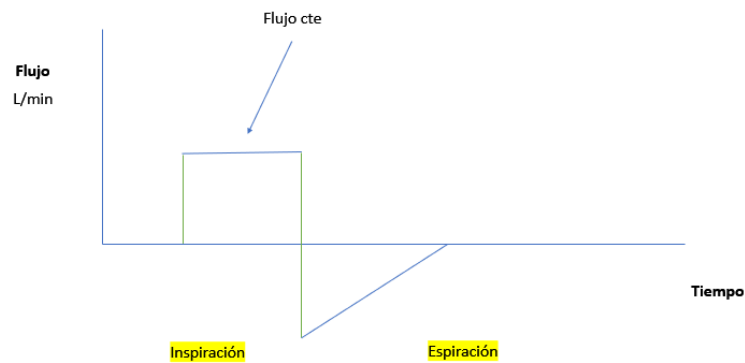


(Fuente: elaboración propia)

Figura 14. Curva de flujo en VMV

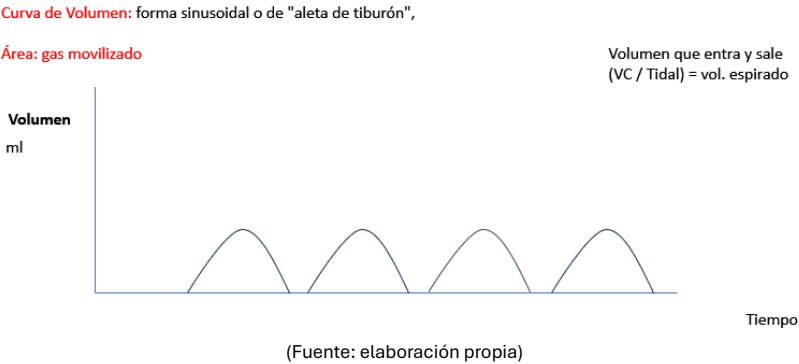
Curva de Flujo (F/t): cambios de flujo inspiratorios y espiratorios **VM A VOLUMEN**

Área: gas movilizado



(Fuente: elaboración propia)

Figura 15. Curva de volumen en VMV



¿Para qué sirve la curva de flujo?

- Para valorar:
- Limitaciones de flujo: cambios en la curva, por ejemplo, en la curva espiratoria de vertical a convexa.
 - Atrapamiento: el flujo no llega a cero. Auto PEEP.
 - Fugas: la rama espiratoria pasa por encima del cero.
 - El esfuerzo respiratorio del paciente, en la escala de tiempo.

Figura 16. Curva de volumen en VMP con autoPEEP

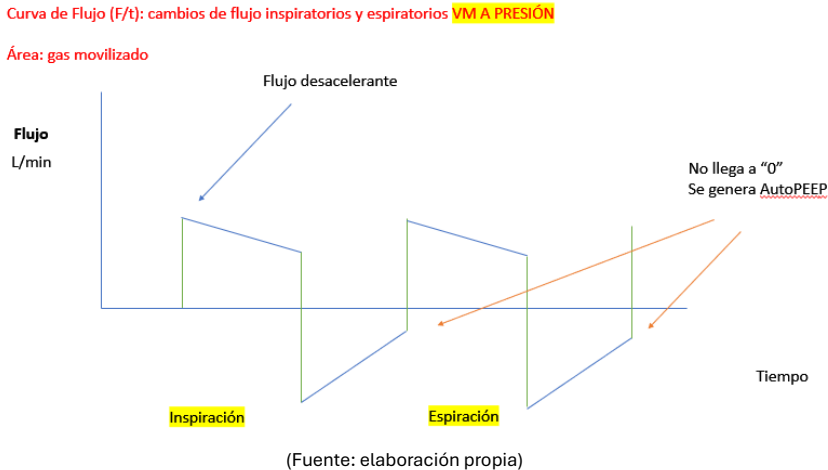
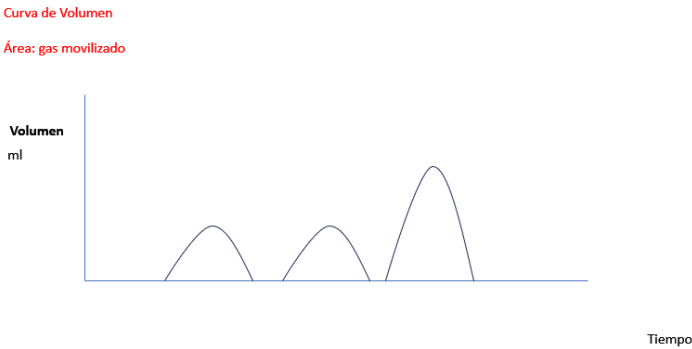


Figura 17. Curva de volumen que aumenta por autoPEEP



(Fuente: elaboración propia)

La hiperinsuflación dinámica y la auto-PEEP (también conocida como PEEP intrínseca) son fenómenos estrechamente relacionados que pueden ocurrir en pacientes con ventilación mecánica, especialmente en aquellos con enfermedades pulmonares obstructivas (EPOC, Asma, entre otras).

$$\text{Auto PEEP} = \text{PEEP total} - \text{PEEP extrínseca}$$

Modo Asistido en VMV

La ventilación mecánica a volumen asistida es una modalidad en la que el ventilador suministra un VT fijo en cada respiración, pero la inspiración es iniciada por el paciente mediante un esfuerzo detectado por el ventilador (trigger).

Si el paciente no realiza suficientes esfuerzos, el ventilador asegura una frecuencia mínima programada, garantizando así la ventilación adecuada. Se programará un VT fijo, un Trigger, una FR mínima (si el paciente no inicia suficientes respiraciones, el ventilador completa las faltantes para alcanzar la frecuencia pro-

gramada). La presión en la vía aérea puede variar según la resistencia y la elastancia pulmonar, pero el volumen siempre se mantiene constante.

Al menos dos modalidades:

- **A/C volumen, A/CMV.** Asistido-controlado por volumen: El ventilador entrega un volumen fijo en cada respiración, tanto en las iniciadas por el paciente como en las mandatorias.
- **SIMV** (Ventilación Mandatoria Intermitente Sincronizada): El ventilador suministra respiraciones mandatorias con volumen fijo y permite respiraciones espontáneas entre ellas.

VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA POR PRESIÓN CON VOLUMEN GARANTIZADO (VCP-VG)

Modelo híbrido que combina: control de presión + volumen garantizado.

El VT está preestablecido por el médico, y el ventilador mecánico administra ese volumen sin importar la presión necesaria para lograrlo (dentro de unos límites de seguridad).

Los objetivos en la VCP-VG son los siguientes:

VT 6-8 ml/Kg

Presión plateau/meseta <30 cm H₂O

Driving pressure < 15 cm H₂O (DP= P. plateau-PEEP)

PEEP inicio sea baja 5 cmH₂O

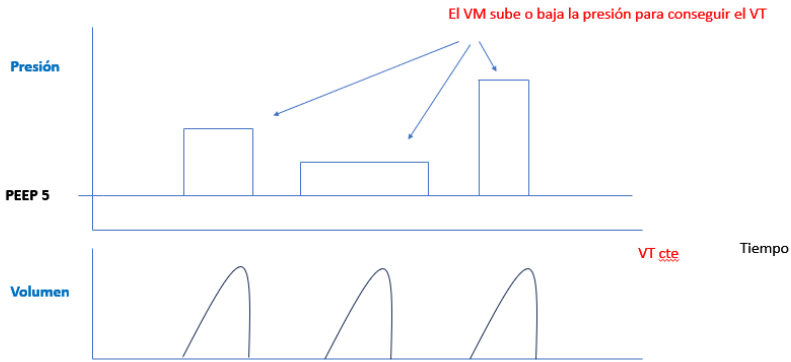
FiO₂ inicio sea baja (ideal <65%) para SaO₂ >95%

FR inicio este entre 12-14 resp/min (ajustar según EtCO₂ y/o PCO₂)

I:E 1:2

Figura 18. Curva de presión y volumen en la VCP-VG

VCP-VG ¿Cuánto tengo que subir la presión para conseguir el VT predeterminado?



(Fuente: elaboración propia)

Modo de funcionamiento: una vez se programa el VT, el ventilador inicia el ciclo respiratorio con una baja presión inspiratoria, a continuación, la va ajustando dentro del rango de seguridad en cada uno de los ciclos según el estado del parénquima pulmonar (compliance y elastancia) de cara a conseguir el volumen deseado. En el caso de que el pulmón esté rígido, en este caso hay más resistencia, el ventilador aumentará la presión, si disminuye la resistencia, el ventilador disminuirá la presión. Es importante aplicar el límite de presión máxima (Pmax), de cara a evitar daño pulmonar (barotrauma).

De esta manera, se administra un volumen sin necesidad de aplicar de manera constante presiones altas, siendo incluso un modo ventilatorio más seguro que la VMV. Igualmente se adapta en tiempo real a la mecánica respiratoria del paciente, presentando una mejor sincronía paciente-ventilador.

Oportunidades para la Optimización mediante IA en VCP-VG

El modo VCP-VG representa un paso evolutivo hacia la ventilación personalizada, pero la IA promete llevar este concepto a

un nivel superior. Mientras que el algoritmo actual del ventilador ajusta la presión inspiratoria de forma reactiva basándose en el ciclo respiratorio previo, los futuros sistemas basados en machine learning podrán hacerlo de forma predictiva.

Un algoritmo de IA podría analizar en tiempo real no solo el volumen tidal, sino también decenas de otras variables –curvas de flujo y presión, mecánica pulmonar instantánea, e incluso datos del monitor de constantes vitales– para predecir la presión mínima necesaria para el siguiente ciclo respiratorio, garantizando el volumen tidal con una exposición al barotrauma aún menor. Además, estos sistemas podrían identificar patrones sutiles en la mecánica pulmonar del paciente para alertar de forma temprana sobre un posible empeoramiento (p. ej., inicio de un SDRA) o mejoría, sugiriendo ajustes proactivos al equipo de enfermería.

VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA A VOLUMEN (SIMV-VC)

Modo utilizado frecuentemente en la UCI y en Reanimación, especialmente en pacientes que están en proceso de destete.

El ventilado mecánico entrega un numero fijo de respiraciones mandatorias sincronizadas con las que el paciente hace espontáneamente. Cada una de las ventilaciones mandatorias presentan un VT determinado a una frecuencia determinada por minuto. A la vez el paciente puede respirar espontáneamente, realizando un VT espontáneo a una frecuencia determinada.

Al detectar el ventilador mecánico el esfuerzo inspiratorio del paciente, este las sincroniza con las respiraciones mandatorias, de cara a no solaparse. Será necesaria “una ventana Trigger”.

Si el paciente no realiza intentos de respiración durante la ventana de disparo, el ventilador aplica respiraciones obligatorias mecánicas para garantizar un Vm constante prefijado.

Parámetros:

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

Figura 19. Parámetros en la modalidad SIMV-VC

SIMV-VC	
VT mandatorio	VT espontáneo
FR mandatoria	FR espontánea
FiO2	
PEEP	
Trigger	
	Presión soporte (PS) Si está habilitado para asistir a las ventilaciones espontáneas PS= P. inspiratoria – P. espiratoria
VT total = VT mandatorio + VT espontáneo	
FR total = FR mandatoria + FR espontánea	

(Fuente: elaboración propia)

La suma de VT mandatorio y el espontáneo será el total, lo mismo pasa con la FR. El médico ajustará estos dos parámetros para que cumplan la función respiratoria.

Ventajas:

- Facilita la desconexión progresiva de la ventilación mecánica al permitir respiraciones espontáneas mientras asegura soporte ventilatorio.
- Reducir el riesgo de barotrauma y compromiso hemodinámico en comparación con modos totalmente controlados.
- Minimiza la atrofia muscular respiratoria al permitir actividad espontánea.

La curva de presión de la modalidad SIMV-VC combinará complejos mandatorios y complejos espontáneos.

VENTILACIÓN MANDATORIA INTERMITENTE SINCRONIZADA A PRESIÓN (SIMV-PC)

Modo utilizado frecuentemente en Cuidados Intensivos y Reanimación, especialmente en pacientes que están en proceso de destete. En este caso se controla la presión, no el volumen.

El ventilado mecánico entrega un número fijo de respiraciones mandatorias sincronizadas con las que el paciente hace espontáneamente, a una presión determinada. Cada una de las ventilaciones mandatorias presentan un VT determinado a una frecuencia determinada por minuto. A la vez el paciente puede respirar espontáneamente, realizando un VT espontáneo a una frecuencia determinada.

Al detectar el ventilador mecánico el esfuerzo inspiratorio del paciente, este las sincroniza con las respiraciones mandatorias, de cara a no solaparse. Será necesaria “una ventana Trigger”.

Si el paciente no realiza intentos de respiración durante la ventana de disparo, el ventilador aplica respiraciones obligatorias mecánicas para garantizar un Vm constante prefijado.

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

Figura 20. Parámetros en la modalidad SIMV-PC

SIMV-PC	
VT mandatorio	VT espontáneo
FR mandatoria	FR espontánea
FiO2	
PEEP	
Trigger	
P insp Presión que se entrega en cada respiración mandatoria	
Ti Duración de la fase inspiratoria en cada respiración mandatoria	
	Presión soporte (PS) Si está habilitado para asistir a las ventilaciones espontáneas PS= P. inspiratoria – P. espiratoria
VT total = VT mandatorio + VT espontáneo	
FR total = FR mandatoria + FR espontánea	

(Fuente: elaboración propia)

La suma de VT mandatorio y el espontáneo será el total, lo mismo pasa con la FR. El médico ajustará estos dos parámetros para que cumplan la función respiratoria.

Ventajas:

- Facilita la desconexión progresiva de la ventilación mecánica al permitir respiraciones espontáneas mientras asegura soporte ventilatorio.

- Minimiza la atrofia muscular respiratoria al permitir actividad espontánea.

Desventajas:

- El VT será variable.
- Si el paciente no respira espontáneamente, sólo recibirá las controladas.

La curva de presión de la modalidad SIMV-VC combinará complejos mandatorios y complejos espontáneos.

Figura 21. Diferencias entre la SIMV-VC y la SIMV-PC

Parámetro	SIMV-VC	SIMV-PC
Variable controlada	VT	P. insp
Variable dependiente	Presión (puede variar dependiendo del estado del parénquima pulmonar)	Volumen (puede variar dependiendo del estado del parénquima pulmonar)
VT	Fijo y garantizado	Variable
P.insp	Fija	Variable
Riesgos	Barotrauma en caso de mala compliance	Menor riesgo
Utilidad	Si se desea asegurar un volumen mínimo	Cuando se busca proteger al pulmón
Sincronización	Si	Si
Respiraciones espontáneas	Si (se puede utilizar PS)	Si (se puede utilizar PS)

(Fuente: elaboración propia)

SIMV-VC / SIMV-PC

Ambas son modos mixtos

Se diferencian dependiendo de qué variable se controla y cómo responden los pulmones del paciente

VC = Volumen Controlado = volumen fijo, presión variable.

PC = Presión Controlada = presión fija, volumen variable

(Fuente: elaboración propia)

VENTILACIÓN CON SOPORTE DE PRESIÓN (PS)

Está diseñada para apoyar la respiración espontánea del paciente: es una modalidad ventilatoria asistida que está limitada por presión y ciclada por flujo.

El esfuerzo inspiratorio del paciente es detectado gracias al trigger (por presión o flujo) generando la activación del soporte. La inspiración finaliza cuando, por ejemplo, el flujo cae por debajo del umbral predeterminado.

Los parámetros a regular (ajustes específicos) son:

- El nivel de PS.
- El trigger.
- La PEEP.
- FiO_2 .
- Criterio de ciclado.

Ventajas:

- Reduce el trabajo respiratorio del paciente, protegiendo al diafragma, evitando que este se atrofie, gracias a la actividad espontánea.
- Se utiliza en el destete.
- Utilizado también en la VMNI.

VENTILACIÓN BIFÁSICA

También conocida como APRV (Airway Pressure Release Ventilation) o BIPAP® (no confundir con el dispositivo domiciliario de presión positiva).

Modalidad con el fin de maximizar el reclutamiento alveolar, con tiempos inspiratorios prolongados, permitiendo la respiración espontánea durante ambas fases del ciclo respiratorio. Controlado por presión y ciclado por tiempo. Se programa un VT con flujo desacelerante.

2 niveles de presión inspiratoria:

Presión alta: en vías. Tiempo más prolongado 80%.

Presión baja: en alvéolo. Tiempo más bajo 20%

(Fuente: elaboración propia)

Utilidades:

- SDRA.
- Hipoxemia severa.

En el rescate de pacientes con lesión pulmonar aguda que no responde a otros modos tradicionales, especialmente en situaciones de:

- $\text{FiO}_2 > 60\%$.
- $\text{PEEP} > 12 \text{ cmH}_2\text{O}$.
- Con mala distensibilidad pulmonar.

En este caso se alterna dos niveles de presión:

- Una presión alta (PHigh).
- Una presión baja (PLow).

Los parámetros a regular (ajustes específicos) son:

- PHigh sostenida, que mejora la oxigenación
- PLow que permite la liberación de CO₂.
- THigh, tiempo en que se mantiene la presión alta (suele ser entre 4 y 6 segundos).
- TLow, tiempo que se baja la presión para liberar aire (suele ser entre 0.3-0.8 segundos).
- FiO₂.

Ventajas:

- El paciente respira de manera espontánea.
- Mantiene los alvéolos abiertos durante más tiempo, permitiendo la difusión de los gases.
- No es necesaria la sedación del paciente.
- Se reduce el riesgo de volutrauma y barotrauma.
- Presión alta en vías: mayor volumen corriente y mayor reclutamiento alveolar.
- Presión baja en el alvéolo: previene la Auto PEEP y el desreclutamiento pulmonar

PRESIÓN POSITIVA CONTINUA EN VÍA AÉREA (CPAP)

La presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) aplicada en ventilación mecánica invasiva es una estrategia clave para mejorar la oxigenación y prevenir complicaciones en pacientes críticos: A diferencia de su uso no invasivo, aquí se administra mediante tubo endotraqueal. Se puede combinar con PS para reducir el trabajo respiratorio.

La CPAP invasiva mantiene una presión positiva constante durante todo el ciclo respiratorio, incluso durante la espiración. Esto estabiliza los alvéolos mediante reclutamiento pulmonar y reduce el riesgo de atelectasias.

Utilidades:

- EAP.

- Destete.
- Postoperatorio tras cirugía torácica.

Parámetros:

- Presión entre 5 y 20 cm de H₂O.
- Con PEEP.
- FiO₂ según oxigenación.

Ventajas:

- Mejora hemodinámica frente a otros modos.

Riesgos:

- Barotrauma.

ATC (DRAGER®). AUTOMATIC TUBE COMPENSATION

La Compensación Automática del Tubo (ATC por sus siglas en inglés, Automatic Tube Compensation) es una función presente en algunos ventiladores mecánicos, como los de la marca Dräger®, diseñada para compensar la resistencia que genera el TET) durante la ventilación mecánica.

Cuando un paciente está intubado, el TET que conecta la vía aérea artificial con el ventilador introduce una resistencia al flujo de aire, lo que puede dificultar la inspiración y espiración. El ATC® compensa esa resistencia, haciendo que el trabajo respiratorio del paciente sea más parecido al que tendría sin estar intubado.

Funcionamiento:

- El VM calcula la resistencia del TET (basado en el diámetro interno y la longitud del mismo).
- Ajusta la presión de soporte en tiempo real, aumentando o disminuyendo según el flujo del paciente.
- Funciona en modo espontáneo o combinado, según el modelo y configuración.

Ventajas:

- Reduce el trabajo respiratorio del paciente.
- Mejora la sincronía paciente-ventilador.

Útil especialmente durante el destete

Weaning

“Permite evaluar mejor si el paciente podrá respirar por sí mismo al retirar el tubo”

ASV (HAMILTON®). VENTILACIÓN CON SOPORTE ADAPTABLE

Ventilación con Soporte Adaptable (ASV, por sus siglas en inglés: Adaptive Support Ventilation) es un modo de ventilación inteligente presente en los ventiladores HAMILTON®. Este modo se adapta automáticamente al estado respiratorio del paciente y regula los parámetros de ventilación de forma dinámica para ofrecer el soporte más eficiente con el menor esfuerzo respiratorio posible. De utilidad en pacientes inestables en fase aguda y el destete.

El ventilador mide de manera continua la resistencia de las vías aéreas y la distensibilidad (compliance) pulmonar.

Calcula de manera automática el Vm y la FR de cara a minimizar el trabajo respiratorio, ajustando la presión soporte, óptimo para el paciente, dependiendo de su esfuerzo respiratorio y la mecánica pulmonar.

Ventajas:

- Reduce el riesgo de hiperventilación o hipoventilación.
- Evita el atrapamiento aéreo (auto-PEEP).
- Promueve el destete precoz, ya que reduce progresivamente el soporte cuando detecta esfuerzo respiratorio efectivo por parte del paciente.

- Cambia automáticamente entre ventilación controlada y espontánea según lo necesite el paciente.

La ventilación asistida adaptable (ASV) es un modo de ventilación que selecciona y adapta de forma continua la frecuencia respiratoria, el VT y el T.insp en función de la mecánica pulmonar y el esfuerzo del paciente.

NAVA. NEURO VENTILATORY “NEUROACOPLAMIENTO”

Ventilación asistida ajustada neuronalmente.

El modo de asistencia de ventilación neurorrespiratoria (NAVA, por sus siglas en inglés: Neurally Adjusted Ventilatory Assist) es un tipo específico de modalidad de ventilación mecánica que utiliza señales eléctricas generadas por la actividad muscular diafragmática para sincronizar la respiración del paciente con el soporte ventilatorio proporcionado por el ventilador.

Principio de funcionamiento:

En el modo NAVA, se coloca un electrodo invasivo o no invasivo cerca del diafragma del paciente para registrar la actividad eléctrica del músculo respiratorio. Esta señal electromiográfica (EMG) del diafragma se utiliza como disparador para sincronizar la entrega del soporte ventilatorio con los esfuerzos respiratorios del paciente.

Sincronización neuronal: La característica distintiva del modo NAVA es que la asistencia ventilatoria se sincroniza con la actividad neuronal inspiratoria del diafragma del paciente. Esto permite una respiración más natural y sincronizada, ya que el paciente controla el inicio y la duración de cada respiración.

Beneficios potenciales: El modo NAVA ofrece varios beneficios potenciales. Al sincronizar la ventilación con la actividad neuromuscular del paciente, se puede mejorar la sincronización paciente-ventilador, reducir la asincronía respiratoria y disminuir la necesidad de sedación. Además, el modo NAVA puede mejorar la eficiencia respiratoria y reducir el riesgo de lesión pulmonar asociada a la ventilación mecánica.

Aplicaciones clínicas: El modo NAVA se ha utilizado en una variedad de situaciones clínicas: SDRA, IRA, ventilación postoperatoria, y en pacientes pediátricos y neonatales.

Configuración y ajustes: En el modo NAVA, los parámetros ventilatorios como la sensibilidad (nivel de actividad eléctrica necesario para iniciar la respiración asistida), la ganancia (controla la amplitud de la respuesta del ventilador a la actividad eléctrica del diafragma) y la duración de la inspiración se ajustan para adaptarse a las necesidades individuales del paciente.

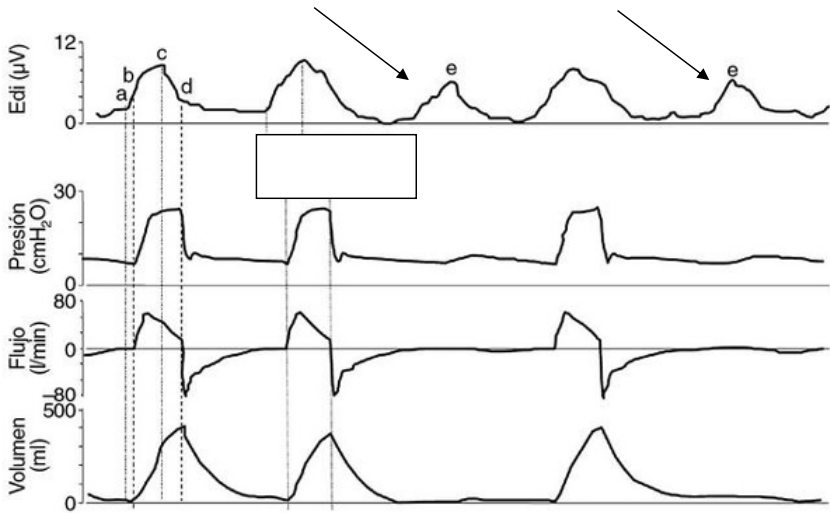
Los respiradores tradicionales detectan cambios de flujo o volumen.

¿En qué momento el diafragma se contrae?

Sonda nasogástrica con electrodos a nivel de diafragma (Trigger diafragmático): detecta la **actividad eléctrica diafragmática (EDI)** para controlar el ventilador.

Ajusta la duración de los tiempos inspiratorios y espiratorios mecánicos a los tiempos inspiratorios y espiratorios neurales

Figura 22. Actividad eléctrica diafragmática (EDI)



Fuente: Suarez-Sipmann, F., Pérez Márquez, M., & González Arenas, P. (2008). Nuevos modos de ventilación: NAVA. Medicina intensiva, 32(8), 398-403.

Como se puede apreciar en la imagen se presenta la curva de presión, flujo y volumen junto a la actividad eléctrica diafragmática (EDI). En los complejos 3 y 5 de EDI la actividad ha estado por debajo del trigger diafragmático y por esa razón no se ha generado ciclo ventilatorio.

VENTILACIÓN ESPONTÁNEA

El paciente con TET, respira una mezcla de gases del respirador, pero no se suministra ningún volumen mandatorio ni FR. Previo a la extubación tras destete. El principal inconveniente es el volumen que ocupa el aire contenido en los tubos de conexión (tubo corrugado) y que crean un espacio muerto. Es importante colocar la alarma de APNEA entre 10" o 15".

VENTILACIÓN MECÁNICA NO INVASIVA

La ventilación mecánica no invasiva (VMNI) es un método de soporte respiratorio que se utiliza para tratar a pacientes con IRA o IRC sin la necesidad de intubar al paciente con un TET.

En lugar de eso, se utilizan interfaces faciales como máscaras nasales, máscaras faciales y otros dispositivos para administrar el aire.

Las indicaciones incluyen exacerbaciones agudas de la EPOC, el edema pulmonar agudo (EAP) y el síndrome de apnea-hipopnea del sueño (SAHS), entre otros.

La VMNI puede mejorar la oxigenación y reducir el trabajo respiratorio. También puede mejorar la comodidad del paciente y reducir el riesgo de complicaciones asociadas con la intubación.

Las modalidades de ventilación mecánica no invasiva incluyen:

- La presión positiva continua en la vía aérea (CPAP), que proporciona una presión continua durante todo el ciclo respiratorio.
- La ventilación con presión positiva bifásica (BiPAP), que alterna entre una presión más alta durante la inspiración y una presión más baja durante la espiración.

Monitorización durante la VMNI:

- La tolerancia/intolerancia del paciente.
- La oxigenación: SpO_2 .
- La ventilación: FR, patrón respiratorio, ETCO_2 .
- Signos clínicos: diaforesis, disnea.
- Gasometría arterial: pH, PO_2 , PCO_2 , CO_3H^- , EB.
- Estado hemodinámico: valoración de la taquicardia y la hipotensión arterial.

Contraindicaciones:

- Falta de colaboración del paciente.
- Alteraciones gastrointestinales: náuseas, vómitos.
- Paro respiratorio: apnea.

Tipos de codos en VMNI:

En la VMNI, se emplean diferentes tipos de codos para adaptar las máscaras faciales o interfaces al tipo de circuito y ventilador utilizado. Los codos pueden tener o no válvula anti-asfixia y pueden incorporar uno o varios puertos de exhalación para la salida de CO_2 .

- Codo Azul: Sin válvula antiasfixia, hermético. Se usa en ventiladores convencionales de doble tubuladura, o en ventiladores de transporte de una tubuladura con válvula espiratoria. No lleva puerto de exhalación intencionado, lo que requiere vigilancia especial en la prevención de reinhalación de CO_2 .
- Codo Blanco: Con válvula antiasfixia y un puerto de exhalación –puerto de fuga–. Se utiliza en ventiladores específicos de VMNI con una sola tubuladura. Permite el escape controlado de aire espirado, previniendo la reinhalación de CO_2 . La configuración más habitual es “1/1”: una tubuladura, un puerto exhalatorio.
- Codo Naranja: Con válvula antiasfixia y dos puertos de exhalación –uno puede estar en forma de muesca–, utilizados en ventiladores específicos de VMNI con circuito de tubuladura única. Es el codo recomendado para máscaras faciales totales – “1/2”: una tubuladura, dos puertos exhalatorios–, facilitando así una mejor eliminación de CO_2 y evitando su reinhalación.
- Codo Verde: Con válvula antiasfixia, similar al blanco, pero con una membrana flexible que permite el paso de un fibrobroncoscopio. Puede esterilizarse para procedimientos invasivos. Indicado cuando es necesario realizar broncoscopias o exploraciones invasivas durante la VMNI.
- Codo estándar para doble ramal: Usado en mascarillas para circuitos de doble tubuladura. No lleva válvula antiasfixia ni puerto exhalatorio; la exhalación se realiza directamente a través del circuito espiratorio del ventilador.

RESPIRAR CON DATOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y VENTILACIÓN MECÁNICA EN ENFERMERÍA

Tipo de codo	Válvula antiasfixia	N.º de puertos exhalación	Eliminación de CO ₂	Uso principal
Azul	No	No	Limitada	Ventiladores doble ramal
Blanco	Sí	1	Adecuada	VMNI de una tubuladura
Naranja	Sí	2	Óptima	VMNI, máscaras faciales totales
Verde	Sí	1 (y puerto flexible)	Adecuada	Procedimientos invasivos
Estándar doble	No	No	Directa por tubuladura	Ventiladores doble ramal

CPAP (CONTINUOUS POSITIVE AIRWAY PRESSURE)

El CPAP (Presión Positiva Continua en la Vía Aérea) es una forma de ventilación mecánica no invasiva que se utiliza para tratar la apnea obstructiva del sueño (AOS) y otras alteraciones respiratorias.

Funcionamiento: El CPAP funciona proporcionando una presión positiva continua en las vías respiratorias del paciente durante todo el ciclo respiratorio, manteniendo así las vías aéreas abiertas. Esto evita el colapso de las vías respiratorias superiores durante la inspiración y la espiración.

Indicaciones:

- Tratamiento de la apnea obstructiva del sueño: trastorno en el que las vías respiratorias se cierran parcial o completamente durante el sueño, lo que provoca interrupciones en la respiración y episodios de ronquidos y apneas.

- IRA.
- EAP.
- EPOC.

Dispositivos:

La máquina genera la presión positiva a una interfaz que se coloca sobre la nariz o la nariz y la boca del paciente para administrar la presión. Esta interfaz puede ser una máscara nasal, una máscara facial u otro dispositivo similar.

La presión CPAP se ajusta individualmente para cada paciente según las necesidades específicas.

BIPAP (BILEVEL POSITIVE AIRWAY PRESSURE)

BiPAP Presión Positiva Bifásica en la Vía Aérea es una forma de ventilación mecánica no invasiva que proporciona dos niveles de presión en las vías respiratorias del paciente: una presión más alta durante la inspiración (presión inspiratoria positiva, IPAP) y una presión más baja durante la espiración (presión espiratoria positiva, EPAP).

BIPAP

IPAP

Presión inspiratoria positiva

EPAP

Presión espiratoria positiva

$PS = IPAP - EPAP$

Funcionamiento: El BiPAP funciona proporcionando una presión inspiratoria positiva (IPAP) durante la inspiración para ayudar al paciente a inhalar aire, y una presión espiratoria positiva (EPAP) durante la espiración para mantener las vías respiratorias abiertas.

Indicaciones:

- Apnea del sueño.
- EPOC.
- IRA.
- IRC.

Dispositivos:

La máquina genera los dos niveles de presión (IPAP y EPAP) a una interfaz que se coloca sobre la nariz o la nariz y la boca del paciente para administrar la presión. Esta interfaz puede ser una máscara nasal, una máscara facial u otro dispositivo similar.

Los ajustes del BiPAP, incluyendo los niveles de IPAP y EPAP, se individualizan para cada paciente y se pueden ajustar según la respuesta clínica y la tolerancia del paciente.

Sistema Timpel®

El sistema Timpel®, especialmente en su modelo Enlight 2100®, es un equipo de tomografía por impedancia eléctrica (TIE) que se utiliza para la monitorización y visualización, en tiempo real y a pie de cama, de la función pulmonar en pacientes sometidos a ventilación mecánica.

Representa una tecnología avanzada de monitorización pulmonar, libre de radiación, que permite optimizar la ventilación mecánica de manera individualizada, segura y eficiente.

Monitorización no invasiva: Utiliza sensores colocados en el tórax del paciente para generar imágenes de la distribución regional de la ventilación pulmonar sin necesidad de radiación, permitiendo un seguimiento continuo y seguro.

Imaginería dinámica: Muestra de forma clara e intuitiva cómo el aire se distribuye a lo largo del pulmón, detectando zonas de colapso, sobre distensión, y ventilación adecuada. Es útil en pacientes neonatales, pediátricos y adultos.

Individualización de la ventilación: Permite ajustar estrategias ventilatorias, como la PEEP, basándose en la respuesta fisiológica y la heterogeneidad del pulmón del paciente, facilitando así una ventilación más homogénea y reduciendo complicaciones derivadas de una ventilación estándar.

Compatibilidad universal: El sistema Timpel® se puede usar con cualquier ventilador del mercado y entrega datos sincronizados de ventilación y mecánica respiratoria para la toma de decisiones clínicas en tiempo real.

Visualización instantánea: Proporciona retroalimentación visual instantánea del patrón respiratorio y los cambios en el volumen pulmonar frente a intervenciones, lo que ayuda a optimizar la seguridad y eficacia de la terapia.

COMPLICACIONES ASOCIADAS A LA VENTILACIÓN MECÁNICA

La ventilación mecánica es una herramienta vital en el cuidado de pacientes con insuficiencia respiratoria, pero también puede estar asociada con complicaciones importantes:

- **Barotrauma:** Ocurre cuando la presión aplicada durante la ventilación es demasiado alta y causa daño en el parénquima pulmonar, como neumotórax (acumulación de aire entre la pleura y el pulmón) o enfisema subcutáneo (acumulación de aire debajo de la piel).

- **Volutrauma:** Se produce cuando el VT administrado durante la ventilación es excesivo, lo que puede provocar lesiones en los alvéolos pulmonares y aumentar el riesgo de síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA).

- **Atelectrauma:** Ocurre cuando la presión aplicada durante la ventilación no es suficiente para mantener los alvéolos abiertos, lo que puede provocar colapso alveolar y daño pulmonar.

- **Neumonía asociada a la ventilación mecánica (NAV):** Es una infección pulmonar que ocurre como resultado del uso prolongado de ventilación mecánica, debido a la colonización/aspiración bacteriana de las vías respiratorias. Asociada a TET > 15 días: la alternativa es la traqueostomía programada. Por rotura del neumotaponamiento: Cambio del TET. Por neumotaponamiento

poco hinchado: Control cada 6 horas. Boca séptica: Lavado con clorhexidina al menos cada 8 horas. Broncoaspiración: Prevenir con paciente en semifowler 30-45° y neumotaponamiento que no produzca fugas.

- **Hipotensión:** La ventilación mecánica puede afectar el estado hemodinámico, provocando una disminución del retorno venoso al corazón, lo que genera hipotensión arterial y disminución del gasto cardíaco.

- **Efectos sobre el corazón: efectos en la precarga.**

Ventrículo derecho (VD): La ventilación mecánica con presión positiva disminuye el retorno venoso al VD durante la inspiración, reduciendo así su precarga. Este efecto se debe al aumento de la presión intratorácica, que dificulta el flujo de sangre desde las venas sistémicas hacia el corazón derecho.

Ventrículo izquierdo (VI): Durante la inspiración mecánica, inicialmente hay un aumento de la precarga del VI. Esto ocurre porque la sangre contenida en el circuito pulmonar es empujada hacia el VI debido al aumento de la presión intratorácica.

- **Efectos sobre el corazón: efectos en la poscarga**

Ventrículo derecho: La poscarga del VD aumenta durante la inspiración mecánica, especialmente si se utilizan volúmenes tidales elevados o PEEP alta.

Este incremento se debe a la elevación de la resistencia vascular pulmonar asociada con la sobre inflación del volumen pulmonar.

Ventrículo izquierdo: La ventilación mecánica tiende a disminuir la poscarga del VI. El aumento de la presión pleural reduce la presión transmural del VI, facilitando su eyección.

La presión intratorácica positiva produce cambios en la ex-

creción de H_2O y Na^{++} . Dos efectos: Si disminuye el GC; disminuye el flujo renal (el riñón es presión dependiente). Disminución de la Tasa de Filtración Glomerular (TFG). Aumenta la liberación de ADH (Vasopresina / antidiurética): consecuencias se reduce la excreción de Na^{++} y se retiene agua disminuyendo la diuresis. Otros: aumento de la presión intraabdominal (PIA)

- **Hipercapnia y/o hipoxemia:** Si los parámetros ventilatorios no se ajustan correctamente, puede haber un desequilibrio en los niveles de dióxido de carbono (hipercapnia) o de oxígeno (hipoxemia) en la sangre.

- **Lesión del diafragma:** El uso prolongado de ventilación mecánica puede debilitar los músculos respiratorios, como el diafragma, lo que puede prolongar la dependencia de la ventilación mecánica.

- **Sobre sedación o sub-sedación:** El uso de sedantes para tolerar la ventilación mecánica puede llevar a una sedación excesiva o insuficiente, lo que puede aumentar el riesgo de complicaciones: destete tardío vs desadaptación a VM.

- **Broncoespasmo:** Que se manifiesta por hipoxemia, hipercapnia y aumento de la presión en vías.

- **Mordedura del TET:** En el paciente poco colaborador en el destete la agitación puede hacer que muerda el TET y no se produzca intercambio de gas. La colocación de un tubo de Mayo/Guedel sería una solución.

- **Obstrucción del TET:** El TET puede obstruirse especialmente con secreciones viscosas/espesas y el aumento de las mismas. Será imprescindible la aspiración del TET, la aplicación de aerosoles cuando sea necesario y la vigilancia de la Presión Pico, ya que su tendencia al aumento nos indicaría este problema.

- **Intubación selectiva:** Si el TET se introduce demasiado se puede alojar su distal en el bronquio derecho (por anatomía: mayor verticalidad del bronquio derecho frente al izquierdo) con lo que sólo se ventilaría el pulmón derecho. Es importante registrar por parte de enfermería a qué nivel se queda el TET tras la intubación, ventilándose ambos pulmones (que refleja su distal alojado antes de la carina o bifurcación bronquial). Como referencia, en adultos se queda aproximadamente a 22-24 cm en la comisura labial.

- **Extubación accidental:** En este caso será necesario tener acceso rápido al carro de paradas y mientras se prepara la nueva intubación ventilar con el Ambú® con bolsa reservorio a 15 litros y con tubo de Mayo/Guedel/Cánula orofaríngea.

- **Toxicidad de la FiO₂ al 100%:** La toxicidad por oxígeno al 100% se manifiesta de dos formas principales, dependiendo del tiempo de exposición y la presión aplicada: Toxicidad pulmonar (Efecto Lorrain Smith) que ocurre con exposiciones prolongadas a oxígeno puro en condiciones normobáricas. Los efectos incluyen: Inflamación alveolar (Daño al epitelio pulmonar por estrés oxidativo, que inicia a las 12-24 horas de exposición continua), edema pulmonar (Acumulación de líquido en los alvéolos, observable tras 24-48 horas de uso ininterrumpido) y fibrosis pulmonar (En exposiciones crónicas, puede desarrollarse tejido cicatricial que compromete la función respiratoria). Toxicidad del sistema nervioso central (Efecto Paul Bert) que se asocia a presiones parciales elevadas, (entornos hiperbáricos), aunque también puede ocurrir con oxígeno al 100% en condiciones normobáricas tras >6 horas continuas de administración. Sus características con convulsiones tónico-clónicas y alteraciones visuales (Miopía transitoria o reducción del campo visual periférico).

El Paradigma Predictivo: IA en la Prevención de Complicaciones

La gestión de las complicaciones en ventilación mecánica ha sido tradicionalmente reactiva, actuando una vez que los signos clínicos son evidentes. La IA, y en particular los modelos de machine learning, permiten un cambio de paradigma hacia la predicción y la prevención.

Estos algoritmos pueden ser entrenados para analizar de forma continua y simultánea miles de puntos de datos por segundo, provenientes tanto del ventilador –curvas de presión, flujo y volumen– como de la historia clínica electrónica –constantes vitales, resultados de laboratorio, medicación–. Su capacidad para detectar patrones complejos, invisibles para el ser humano, los convierte en una poderosa herramienta de vigilancia.

Por ejemplo, un modelo de IA podría detectar alteraciones microscópicas en la forma de la curva de flujo espiratorio que, aunque imperceptibles para el clínico, son un marcador temprano de atrapamiento aéreo (auto-PEEP), alertando sobre el riesgo de barotrauma horas antes de su manifestación clínica. De forma similar, la integración de los datos del ventilador con variables clínicas (p. ej., picos febriles, cambios en la leucocitosis) puede generar una puntuación de riesgo de neumonía asociada a la ventilación (NAV) en tiempo real, mucho antes de que se cumplan los criterios diagnósticos clásicos.

El papel del profesional de enfermería en este nuevo escenario es crucial. No se trata de seguir ciegamente una alarma, sino de utilizar esta información predictiva para aumentar la vigilancia sobre el paciente, iniciar protocolos de prevención de forma anticipada (p. ej., optimizar la higiene oral, ajustar la sedación) y comunicar un riesgo cuantificado y objetivo al resto del equipo multidisciplinar, adelantándose así al evento adverso.

EXTUBACIÓN VS DESTETE

La extubación y el destete son dos conceptos distintos pero relacionados en el contexto de la ventilación mecánica.

Extubación:

Es el proceso de retirar el tubo endotraqueal que se utiliza para administrar la ventilación mecánica al paciente. Se lleva a cabo cuando el paciente ha mejorado lo suficiente como para respirar de forma independiente o con asistencia mínima. Antes de la extubación, se evalúa la capacidad del paciente para respirar de manera efectiva por sí mismo, generalmente a través de pruebas de respiración espontánea y evaluación clínica. La extubación se considera exitosa si el paciente puede mantener una saturación de oxígeno adecuada, mantener una frecuencia respiratoria normal y no muestra signos de fatiga respiratoria.

Destete:

Es el proceso gradual de reducir el soporte ventilatorio proporcionado por el ventilador mecánico antes de la extubación. Durante el destete, se disminuyen progresivamente los parámetros ventilatorios, como el volumen tidal, la frecuencia respiratoria o la presión inspiratoria, para permitir que el paciente asuma un mayor control sobre su respiración. Se pueden realizar diferentes estrategias de destete, como el destete directo, en el que se disminuyen los parámetros ventilatorios de manera continua hasta que el paciente puede respirar de forma independiente, o

el destete gradual, en el que se intercalan períodos de respiración espontánea con períodos de soporte ventilatorio (cambios de modos ventilatorios). El objetivo del destete es permitir que el paciente recupere su función respiratoria de manera segura y efectiva antes de la extubación.

Destete

Proceso de reducir gradualmente el soporte ventilatorio

Extubación

Retirada del TET

Durante el proceso de destete en VM, la desescalada de fármacos hipnóticos, sedantes y analgésicos es fundamental para lograr una extubación segura y controlada, ya que estos medicamentos pueden acumularse y prolongar la sedación, dificultando la realización de pruebas de respiración espontánea y la evaluación del estado neurológico del paciente. Por ello, se recomienda iniciar la retirada progresiva de sedantes lo antes posible, utilizando protocolos formales o interrupciones diarias de la sedación para permitir que el paciente despierte y pueda responder a órdenes, ajustando las dosis si persiste la necesidad de sedación por agitación o descoordinación con el respirador. Esta estrategia, combinada con una evaluación cuidadosa de los parámetros clínicos y ventilatorios, contribuye a reducir la duración de la ventilación mecánica y aumenta las probabilidades de una extubación exitosa, minimizando el riesgo de reintubación y complicaciones asociadas.

Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) Basados en IA para el Destete Ventilatorio

El éxito del destete ventilatorio es uno de los mayores desafíos en la UCI. A pesar de los protocolos existentes y los índices

predictivos, la decisión de extubar a un paciente a menudo conlleva un grado de incertidumbre. Aquí es donde los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS, por sus siglas en inglés), basados en IA, ofrecen un valor inmenso.

Un DSS puede integrar y analizar, en tiempo real, un espectro de variables mucho más amplio que el que un clínico puede procesar simultáneamente. Puede combinar desde los parámetros clásicos de la mecánica respiratoria (compliance, resistencia) y el intercambio gaseoso (SpO_2 , EtCO_2), hasta el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y los patrones de esfuerzo muscular del diafragma durante una Prueba de Respiración Espontánea (PRE).

El resultado que ofrece el algoritmo no es una orden, sino una probabilidad cuantificada del éxito de la extubación. Por ejemplo, podría indicar: “Basado en el análisis de las últimas 2 horas y el rendimiento en la PRE, el paciente tiene un 92% de probabilidad de éxito de extubación”.

Para el profesional de enfermería, que lidera el proceso de destete a la cabecera del paciente, estas herramientas representan un avance significativo. Permiten objetivar la valoración, reducir la variabilidad en la toma de decisiones entre distintos profesionales y turnos, y facilitar una comunicación más robusta y basada en datos con el equipo médico para decidir el momento óptimo de la liberación de la VM. El fin último es minimizar el riesgo de fracaso de la extubación y la necesidad de una reintubación, con todas las complicaciones que ello conlleva.

ECMO. OXIGENACIÓN POR MEMBRANA EXTRACORPÓREA

ECMO por sus siglas en inglés (Extra Corporeal Membrane Oxygenation).

La ECMO es una técnica avanzada de soporte vital utilizada en pacientes con insuficiencia respiratoria o cardíaca grave que no responde a los tratamientos convencionales.

Consiste en extraer la sangre del paciente mediante cánulas, hacerla circular por un circuito externo donde se oxigena y se elimina el dióxido de carbono, y luego devolverla al cuerpo, permitiendo que los pulmones y/o el corazón funcionen con normalidad.

La ECMO se utiliza como medida de rescate en situaciones críticas, principalmente en:

- Insuficiencia respiratoria o cardíaca grave refractaria a otros tratamientos.
- Puente al trasplante pulmonar o cardíaco.
- Soporte temporal mientras se espera la recuperación de los órganos afectados.

La extracción de sangre se realiza mediante cánulas insertadas en grandes vasos sanguíneos. La bomba centrífuga mantiene el flujo sanguíneo fuera del cuerpo. La membrana oxigenadora realiza el intercambio de gases, oxigenando la sangre y eliminando el CO₂.

Reinfusión: La sangre oxigenada se devuelve al paciente, ya sea a una vena o una arteria, según la modalidad de ECMO.

Modalidades ECMO

Modalidad ECMO	Indicación	Circuito	Soporte
VA Vena-arteria	Insuficiencia cardiaca o mixta	Vena → Oxigenador → Arteria	Cardiaco y pulmonar
VV Vena-vena	Insuficiencia respiratoria grave	Vena → Oxigenador → Vena	Pulmonar

- **ECMO VA:** Indicado cuando hay fallo cardíaco y/o respiratorio. La sangre se extrae de una vena y se devuelve a una arteria, proporcionando soporte tanto al corazón como a los pulmones.
- **ECMO VV:** Usado cuando el problema es exclusivamente pulmonar. La sangre se extrae y se reinfunde por venas, proporcionando solo soporte respiratorio.

Cánulas

ECMO Venovenosa (VV)

- Ambas cánulas se colocan en el sistema venoso central.
- Cánula de drenaje: Habitualmente en la vena femoral o yugular interna, con la punta situada en la vena cava inferior o superior.
- Cánula de retorno: Generalmente en la yugular interna o femoral contralateral, con la punta en la aurícula derecha o en la vena cava superior.
- También puede utilizarse una cánula de doble luz (por ejemplo, tipo Avalon Elite®) en la vena yugular interna, que permite tanto el drenaje como el retorno en una sola punción

ECMO Venoarterial (VA)

- Se utiliza una vena para el drenaje y una arteria para el retorno.
- Cánula de drenaje (venosa): Usualmente en la vena femoral, con la punta en la aurícula derecha o en la vena cava inferior.
- Cánula de retorno (arterial): Usualmente en la arteria femoral, con la punta en la arteria ilíaca o aorta abdominal. En casos de canulación central (quirúrgica), la cánula arterial se coloca en la aorta ascendente y la venosa en la aurícula derecha.

Modalidad	Cánula de drenaje	Cánula de retorno
VV	Vena femoral o yugular	Vena femoral o yugular
VA	Vena femoral	Arteria femoral
CENTRAL VA	Aurícula derecha	Aorta ascendente

Para la ECMO veno-arterial (VA), se utilizan principalmente cánulas de poliuretano reforzadas con anillos de acero inoxidable, que son flexibles, resistentes al acodamiento, radiopacas y permiten altos flujos. Los tamaños de estas cánulas varían entre 15 a 21 Fr (French), siendo las de 15 Fr adecuadas para la mayoría de las mujeres y las de 17 Fr para la mayoría de los hombres.

Para la ECMO veno-venosa (VV), se utilizan principalmente cánulas venosas de gran calibre, multiperforadas y reforzadas para permitir altos flujos y evitar el colapso del circuito. Para adultos, las cánulas de drenaje suelen ser de 23 a 25 Fr y las de retorno de 17 a 21 Fr, siempre seleccionando el mayor calibre posible que permita el vaso para maximizar el flujo y minimizar la resistencia. Estas cánulas están fabricadas con material biocompatible, reforzadas con anillos de alambre para evitar acodamientos y permitir mayor flexibilidad.

Además, existe la opción de usar una cánula de doble luz (como la Avalon Elite®), que se inserta por la vena yugular interna derecha y permite tanto el drenaje como el retorno en una sola cánula, facilitando la movilidad del paciente y reduciendo el riesgo de recirculación, aunque requiere experiencia para su correcta colocación

Riesgos de la ECMO:

- Hemorragias (por la necesidad de anticoagulación).
- Trombosis (formación de coágulos).
- Infecciones.
- Complicaciones neurológicas (como hemorragias cerebrales).
- Fallos mecánicos del circuito.

Procedimiento y monitorización:

La instalación de ECMO requiere un equipo multidisciplinario especializado (médicos y enfermeras) y monitorización continua de parámetros hemodinámicos, gases en sangre y coagulación, para ajustar el soporte y prevenir complicaciones. Es muy importante que el equipo sanitario esté formado en el montaje, mantenimiento y desconexión del sistema ECMO.

Durante la pandemia COVID en pacientes con neumonía bilateral se plantearon una serie de condicionantes, a valorar:

- ECMO-VV CON I. KIRBY ($\text{PaO}_2/\text{Fio}_2$) < 100, ES DECIR, SDRA grave.
- ECMO-VA en centros expertos (pacientes que hayan sufrido una PCR).

Indicaciones en este caso:

- Pacientes jóvenes con menos comorbilidad (mejor pronóstico).

Requerimiento:

- Dispositivos ECMO.
- Personal de Enfermería Expertos en ECMO.

CUIDADOS DE ENFERMERÍA EN LA VENTILACIÓN MECÁNICA

Los cuidados de enfermería en la ventilación mecánica son fundamentales sobre todo para garantizar la seguridad del paciente.

- Monitorización. Valoración y registro de los parámetros ventilatorios: VT, FR, Vm, FiO₂, SpO₂, Presión Pico, Presión meseta, fugas, autoPEEP, entre otros.
- Observación de la Clínica. Valorar manifestaciones, signos y síntomas relacionados con dificultad respiratoria, como el desacople a VM, diaforesis, asincronía, utilización de músculos accesorios, agitación o cianosis.
- Comprobación del neumotaponamiento del TET cada 6-8 horas. Intervención fundamental dentro de los cuidados de enfermería, ya que permite mantener la presión del balón en un rango seguro —habitualmente entre 20 y 30 cmH₂O—, asegurando así un sellado efectivo que previene tanto la fuga de aire como la micro aspiración de secreciones orofaríngeas, factores de riesgo para la aparición de NAV y otras complicaciones infecciosas.
- Asegurar la correcta posición del tubo endotraqueal (TET) o de la cánula de traqueostomía. Verificación sistemática de la ubicación del extremo distal del TET, que debe situarse idealmente entre 4 y 5 cm por encima de la carina, a confirmar mediante auscultación pulmonar, radiografía de tórax, observación de la expansión torácica, o a través de capnografía,

comprobando la curva basal del capnograma y el valor de la capnografía que en basal se sitúa entre 35-45 mmHg (dióxido de carbono exhalado). Además, es fundamental marcar y registrar la profundidad del tubo a nivel de los labios o incisivos, considerando que la posición puede variar con los movimientos de la cabeza y el cuello, por lo que debe revisarse tras cualquier manipulación o traslado del paciente. La fijación segura del tubo, mediante cintas adhesivas, vendas o fijadores comerciales, es clave para evitar desplazamientos accidentales y extubaciones no planificadas, procurando siempre alternar los puntos de apoyo y realizar cambios de posición periódicos para prevenir lesiones por presión en la piel y las mucosas.

- Aspiración de secreciones cuando se detecte un aumento de la presión pico relacionado con la acumulación de estas de cara a mantener la permeabilidad de la vía aérea y optimizar el intercambio gaseoso. Esta técnica se deberá realizar preferentemente utilizando sistemas de aspiración cerrados, que permiten extraer las secreciones sin necesidad de desconectar al paciente del ventilador, minimizando así el riesgo de desaturación y de contaminación del entorno, y manteniendo la estabilidad hemodinámica y respiratoria del paciente. Es fundamental aplicar una técnica estéril durante todo el proceso para prevenir infecciones respiratorias asociadas, utilizando guantes estériles y material adecuado, y limitando la duración de la aspiración a no más de 10-15 segundos por intento, con descansos entre aspiraciones si es necesario.
- Registrar cantidad, aspecto y características de las secreciones bronquiales tras la aspiración, especialmente ante la petición de un bronco aspirado (BAS) para su análisis microbiológico.
- Posición adecuada del paciente en la cama de cara a facilitar la ventilación y oxigenación, la expulsión de secreciones y

evitar el reflujo gástrico. Idealmente entre 30-45 grado (salvo contraindicación por trauma del cráneo o raquis).

- Realización de cambios posturales programados cada 2-4 horas, de cara a mejorar ventilación y oxigenación, la movilización de secreciones, y por supuesto la prevención de úlceras por presión (UPP).
- Higiene de la boca, como mínimo por turno y siempre que sea necesario: de esta manera se previene la acumulación de secreciones y se disminuye el riesgo de infecciones espiratorias. Se limpiarán también los dientes y se hidratarán los labios y la mucosa oral. El antiséptico de elección será la clorhexidina.
- Fisioterapia respiratoria, en colaboración con el fisioterapeuta, para prevenir complicaciones respiratorias como la atelectasia y la NAV.
- Realización de movimientos pasivos y activos, en colaboración con el fisioterapeuta para los ejercicios de respiración profunda y eliminación de secreciones.
- Control de posibles complicaciones como el volutrauma y el barotrauma.
- Establecer la comunicación con el paciente con métodos alternativos con pizarras, dibujos, lenguaje de señas (gestos) o dispositivos de comunicación asistida.

Competencias de la Enfermería en la Era de la IA en Ventilación Mecánica

La llegada de la IA no disminuye la importancia de los cuidados fundamentales descritos anteriormente; por el contrario, los enriquece y exige una evolución en el rol del profesional de enfermería en la UCI. Para navegar y liderar en este nuevo entorno, se requerirá el desarrollo de un conjunto de competencias clave:

- **Literacidad de Datos y Algoritmos:** Será fundamental que el profesional de enfermería posea una comprensión concep-

tual de cómo funcionan los sistemas de IA. No se requiere ser un programador, sino entender qué datos utiliza un algoritmo, cuáles son sus posibles sesgos y limitaciones, y qué significa una recomendación predictiva. Esto es crucial para una interacción segura y eficaz con la tecnología.

- **Validación Clínica de Alertas Inteligentes:** La IA generará alertas predictivas sobre riesgos de complicaciones o sugerencias de optimización. La enfermera o enfermero actuará como el supervisor humano indispensable. Ante una alerta, será su juicio clínico el que, tras valorar integralmente al paciente, determine si es clínicamente relevante, si es un falso positivo o si requiere una intervención inmediata, evitando así la fatiga por alarmas y garantizando que la tecnología sirva al paciente y no a la inversa.
- **Humanización del Cuidado Aumentado:** Lejos de deshumanizar, la IA tiene el potencial de liberar al profesional de enfermería de tareas cognitivas repetitivas y de análisis de datos masivos. Esto puede traducirse en más tiempo de calidad para el cuidado directo, el confort, el apoyo emocional y la comunicación efectiva con el paciente y su familia, reforzando la esencia del cuidado enfermero.
- **Participación en la Co-creación Tecnológica:** Los profesionales de enfermería de cuidados críticos, con su experiencia a la cabecera del paciente, son actores imprescindibles en el ciclo de vida de la tecnología. Su participación activa en el diseño, entrenamiento y validación de futuras herramientas de IA será fundamental para asegurar que estas sean clínicamente relevantes, seguras y que se integren de forma útil en los complejos flujos de trabajo de una UCI.

GLOSARIO DE TÉRMINOS EN IA

Algoritmo: Conjunto de reglas o instrucciones paso a paso que se le dan a un ordenador para realizar una tarea específica. En el contexto de la IA, los algoritmos de aprendizaje permiten a la máquina aprender de los datos.

Aprendizaje Automático (Machine Learning - ML): Rama de la IA donde los sistemas informáticos aprenden a identificar patrones y a tomar decisiones a partir de datos, sin ser programados explícitamente para cada escenario. Ejemplo clínico: Un algoritmo de ML aprende a predecir el riesgo de NAV analizando miles de registros de pacientes previos.

Aprendizaje No Supervisado: Tipo de ML en el que el algoritmo trabaja con datos no etiquetados y trata de encontrar patrones o estructuras ocultas por sí mismo. Ejemplo clínico: Un algoritmo que agrupa a los pacientes con SDRA en diferentes “fenotipos” respiratorios basándose únicamente en sus datos de ventilación, sin que se le diga previamente qué grupos buscar.

Aprendizaje Profundo (Deep Learning): Subcampo avanzado del Machine Learning que utiliza “Redes Neuronales Artificiales” con múltiples capas para aprender de cantidades masivas de datos. Es especialmente potente para reconocer patrones complejos en imágenes, sonidos o, en nuestro caso, señales fisiológicas continuas. Ejemplo clínico: Un modelo de Deep Learning que

analiza las curvas de flujo y presión del ventilador en tiempo real para detectar asincronías sutiles.

Aprendizaje Supervisado: Tipo de ML en el que el algoritmo se entrena con un conjunto de datos “etiquetado”. A la máquina se le proporcionan ejemplos de entradas junto con sus salidas correctas, y aprende a mapear las unas con las otras. Ejemplo clínico: Se entrena un modelo con datos de pacientes, donde cada uno está etiquetado como “destete exitoso” o “destete fallido”, para que aprenda a predecir el resultado.

Datos de Entrenamiento (Training Data): Conjunto de datos históricos que se utiliza para “entrenar” o “enseñar” a un modelo de Machine Learning. La calidad y representatividad de estos datos son cruciales para el rendimiento del modelo.

Explicabilidad (Explainable AI - XAI): Capacidad de un modelo de IA para explicar sus razonamientos y decisiones de una manera que los humanos puedan entender. Es fundamental en medicina para generar confianza y permitir la supervisión clínica. Ejemplo clínico: En lugar de solo alertar “riesgo de barotrauma”, un sistema XAI añadiría “porque se detecta un aumento progresivo en la presión meseta a pesar de un volumen tidal constante”.

Inteligencia Artificial (IA): Un campo amplio de la informática dedicado a la creación de sistemas que pueden realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas y la percepción.

Prompt: Entrada, instrucción o conjunto de frases que se le proporciona a un modelo de lenguaje (como ChatGPT, GPT-4, etc.) para que genere una respuesta relevante o realice una tarea concreta. Puede ser una orden, una pregunta, un contexto detallado o una serie de instrucciones de distintos tipos.

Red Neuronal Artificial (RNA): Un modelo computacional inspirado en la estructura y función de las redes neuronales biológicas del cerebro. Son la base de los modelos de Deep Learning.

Sesgo Algorítmico (Algorithmic Bias): Tendencia sistemática de un sistema de IA a producir resultados erróneos o injustos debido a suposiciones incorrectas en el proceso de aprendizaje o al uso de datos de entrenamiento sesgados. Ejemplo clínico: Si un modelo se entrena principalmente con datos de una etnia específica, puede ser menos preciso para otras.

Sistema de Soporte a la Decisión (DSS): Herramienta informática que proporciona información y recomendaciones específicas a un clínico para ayudarle a tomar una decisión informada, pero sin reemplazar su juicio final. La predicción de éxito del destete es un ejemplo perfecto de un DSS.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre-Bermeo, H., Bottiroli, M., Italiano, S., Roche-Campo, F., Santos, J. A., Alonso, M., & Mancebo, J. (2014). Ventilación con presión de soporte y ventilación proporcional asistida durante la retirada de la ventilación mecánica. *Medicina Intensiva*, 38(6), 363-370.

Álvarez Rodríguez, J. (2024). Reto clínico 4. Y en el paciente crítico... ¿Puedo utilizar estrategias de inteligencia artificial para mejorar los resultados clínicos?. *Nutrición Hospitalaria*, 41(SPE4), 51-54.

Artacho, R., Guzmán, J. A., López, S., García, F. J., Caballero, F. J., López, M., & Del Campo, E. (2015). Ventilación no invasiva con presión de soporte con volumen asegurado en un paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) agudizada. *Rev. patol. respir*, 33-34.

Balaguer, E. M. L. V., & Arnaudo, E. P. D. (2021). Introducción a la ventilación mecánica neonatal invasiva. Parte II Modalidades ventilatorias convencionales. *Revista Enfermería Neonatal*. Agosto, 36, 30-40.

Barletta Farías, R. C., Pérez Ponce, L. J., Barletta del Castillo, J. E., González Guirola, M. A., Sánchez Castellanos, R. L., & Pujol Pérez, M. (2019). Caracterización clínica y microbiológica de pacientes con neumonía asociada a la ventilación mecánica, Cienfuegos 2015-2017. *Medisur*, 17(4), 514-524.

Beitler, J. R., Malhotra, A., & Thompson, B. T. (2016). Ventilator-induced lung injury. *Clinics in chest medicine*, 37(4), 633-646.

Belda, F. J. (2009). *Ventilación mecánica en anestesia y cuidados críticos*. Arán Ediciones.

Blanchar Martínez, T. M., & Pio de la Hoz Restrepo, F. (2022). Inteligencia artificial en medicina y procedimientos quirúrgicos: impacto en la toma de decisiones y la salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, 48(4).

Bono, J. M., Balsera, E. C., & López, J. L. G. (2011). Indicaciones en ventilación mecánica no invasiva. ¿Evidencias en la bibliografía médica?. *Medicina clínica*, 136(3), 116-120.

Cano, A. G., García, M. M., Romero, M. G., & Monrové, J. D. (2012). Incidence, characteristics and outcome of barotrauma during open lung ventilation. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 36(5), 335-342.

Cantú, E. I. H. (2024). Impacto de la Inteligencia Artificial en la detección temprana de sepsis: un nuevo paradigma para el rol del enfermero. *Index de Enfermería*, e15694-e15694.

Cardinal-Fernández, P., Bougnaud, J., Cour, M., Argaud, L., Poole, D., & Guérin, C. (2022). Automatic tube compensation during spontaneous breathing trials. *Respiratory care*, 67(10), 1335-1342.

Carrillo Esper, R., Cruz Santana, J. A., Rojo del Moral, O., & Romero González, J. P. (2016). Asincronía en la ventilación mecánica: Conceptos actuales. *Revista de la Asociación Mexicana de medicina crítica y Terapia Intensiva*, 30(1), 48-54.

Castel, N. A., Salido, A. A., Ruiz, A. M., Pablo, A. M., Ramírez, N. B., & Pérez, M. B. (2023). Explorando la oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) en cuidados críticos. *Revista Sanitaria de Investigación*, 4(12), 86.

Castillo, E. G., Llano, M. C., Serrano, D. R., & García, E. Z. (2014). Ventilación mecánica no invasiva e invasiva. *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 11(63), 3759-3767.

Centeno, J. V., & Sang, M. C. (2025). *Fundamentos de Ventilación Mecánica*. Distribuna Editorial Médica.

Chiew, Y. S., Chase, J. G., Shaw, G. M., Sundaresan, A., & De-saive, T. (2011). Model-based PEEP optimisation in mechanical ventilation. *Biomedical engineering online*, 10, 1-16.

Cid, J. L. H., & Álvarez, A. C. (2003, January). Nuevas modalidades de ventilación mecánica. In *Anales de Pediatría* (Vol. 59, No. 1, pp. 95-102). Elsevier Doyma.

de la Rosa Caldas, M., Quintero, C. F. F., Pérez, J. D. R., Luque, A. A., & Pérez, V. H. E. (2024). Factores asociados al éxito del destete de la ventilación mecánica en cuidados intensivos pediátrico: estudio transversal. *Gaceta Médica de Caracas*, 132(3), 638-646.

de Oca Sandoval, M. A. M., Linares, R. L., Gutiérrez, R. D. G., Kinkel, C. R., & Díaz, E. A. L. (2024). Oxigenación por membrana extracorpórea. Generalidades y situación en México. *Anestesia en el cardiópata para cirugía no cardíaca*, 319.

de Oca Sandoval, M. A. M., Reyes, J. R., Silva, J. A. V., & Grani-llo, J. F. (2008). Modalidades de destete: Ventilación con presión soporte, presión positiva bifásica y liberación de presión de la vía aérea. *Medicina Crítica*, 22(4), 260-270.

Del Bono, M. R., Damiani, L. F., Plotnikow, G. A., Consalvo, S., Di Salvo, E., & Murias, G. (2025). Esfuerzos respiratorios inefectivos y sus potenciales consecuencias durante la ventilación mecánica. *Medicina Intensiva*, 502133.

del Castillo, B. T., Lafever, S. F., Sanguos, C. L., Sánchez, L. D. C., da Silva, M. S., & Cid, J. L. H. (2015, August). Evolución de la

ventilación mecánica no invasiva en la bronquiolitis. In *Anales de Pediatría* (Vol. 83, No. 2, pp. 117-122). Elsevier Doyma.

del Castillo, D., Barrot, E., Laserna, E., Otero, R., Cayuela, A., & Gómez, J. C. (2003). Ventilación no invasiva por soporte de presión en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica en insuficiencia respiratoria aguda hipercápnica ingresados en una unidad de hospitalización convencional de neumología. *Medicina Clínica*, 120(17), 647-651.

Delpiano, L., Hervé, B., Jemenao, M. I., Jofre, L., Medel, M., Tinoco, J., & Díaz, R. (2021). Oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO): una mirada desde la prevención de Infecciones Asociadas a la Atención en Salud (IAAS). *Revista chilena de infectología*, 38(5), 622-633.

Díaz, E. L. R. (2022). Determinación de las limitaciones para la implementación de modelos de Inteligencia Artificial en Cuidado Intensivo en un Hospital Universitario de Bogotá. *Colombia (Doctoral dissertation, Universidad del Rosario)*.

Díaz, E., Lorente, L., Valles, J., & Rello, J. (2010). Neumonía asociada a la ventilación mecánica. *Medicina intensiva*, 34(5), 318-324.

Díaz, R., Antonini, M. V., Orrego, R., & Abrams, D. (2020). A propósito de la contingencia COVID-19. ECMO en el adulto: Oxigenación por membrana extracorpórea. A quién, cómo y cuándo. *Revista médica de Chile*, 148(3), 349-361.

Díaz, R., Fajardo, C., & Rufs, J. (2017). Historia del ECMO (Oxigenación por membrana extracorpórea o soporte vital extracorpóreo). *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(5), 796-802.

Domínguez, E. D., Salas, G., Valdés, M., Rubio, C., Bellani, P., Rodas, S., & Fariña, D. (2012). Oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO): Experiencia en una Unidad de Cuidado Intensivo Neonatal. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(5), 404-411.

Dueñas, C., Del Río, C. G., Carvajal, M., Ruiz, G. O., & Vélez, P. (2010). Ventilación asistida por presión vs. ventilación mandatoria intermitente sincronizada. Efectos hemodinámicos en pacientes críticos. *Revista Colombiana de Neumología*, 22(4), 136-142.

Esquinas, A., Zuil, M., Scala, R., & Chiner, E. (2013). Broncoscopia durante la ventilación mecánica no invasiva: revisión de técnicas y procedimientos. *Archivos de Bronconeumología*, 49(3), 105-112.

Frutos-Vivar, F., & Esteban, A. (2013). Desconexión de la ventilación mecánica. ¿Por qué seguimos buscando métodos alternativos?. *Medicina Intensiva*, 37(9), 605-617.

Galerieau, L. M., Terzi, N., Turbil, E., Riad, Z., Schwebel, C., Cour, M., ... & Louis, B. (2020). A comprehensive bench assessment of automatic tube compensation in ICU ventilators for better clinical management. *Respiratory Care*, 65(12), 1864-1873.

Gálvez-Vila, R. M., Espinosa-Goire, Y., Padilla-González, J. M., & Benavides-Jiménez, A. (2025). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina intensiva. *Gaceta Médica Estudiantil*, 6(1), e532-e532.

García Álvarez, P. J., López Lazo, S., Cabreja Mola, E., & González Guerra, I. (2015). Ventilación transoperatoria controlada por volumen versus ventilación obligatoria intermitente sincronizada. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 19(6), 618-628.

García, A. A. H., & Gálvez, A. T. (2002). Modos de ventilación mecánica. *Rev Cub Med Int Emerg*, 1, 82-94.

García, G. S. (2023). *Nuevas estrategias de ventilación mecánica protectora en neonatología: ventilación de alta frecuencia oscilatoria con volumen garantizado* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

Gertler, R. (2021). Respiratory mechanics. *Anesthesiology clinics*, 39(3), 415.

Gómez, W. C. (2022). *Fundamentos de fisioterapia respiratoria y ventilación mecánica*. Editorial El Manual Moderno.

González, R. B., & Rodríguez, J. M. (2000). La oxigenoterapia en situaciones graves. *Medicina Integral*, 36(5), 159-165.

González, R., & Saldaña, Á. (2024). Ventilación mecánica en paciente con obesidad. *Rev. Chil. Anest*, 53(5), 450-451.

González, R., Seguel, E., Alarcón, F., StockinsL, A., Riquelme, A., Reyes, R., & Alarcón, E. (2024). Oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) en síndrome de dificultad respiratoria aguda grave por traumatismo torácico contuso. Caso clínico. *Revista médica de Chile*, 152(2), 277-282.

Gordo-Vidal, F., & Gordo-Herrera, N. (2025). Inteligencia artificial y sistemas de aprendizaje automático: fascinación versus realidad. *Emergencias*, 37, 3-4.

Grande, M. G., Bellido, V. G., Olguin, G., & Rodríguez, H. (2010). Manejo de las secreciones pulmonares en el paciente crítico. *Enfermería intensiva*, 21(2), 74-82.

Grieco, D. L., Russo, A., Romanò, B., Anzellotti, G. M., Ciocchetti, P., Torrini, F., ... & Antonelli, M. (2018). Lung volumes, respiratory mechanics and dynamic strain during general anaesthesia. *British journal of anaesthesia*, 121(5), 1156-1165.

Guérin, C., Terzi, N., Mezidi, M., Baboi, L., Chebib, N., Yonis, H., ... & Louis, B. (2019). Low-pressure support vs automatic tube compensation during spontaneous breathing trial for weaning. *Annals of intensive care*, 9, 1-10.

Guttmann, J., Bernhard, H., Mols, G., Benzing, A., Hofmann, P., Geiger, K., ... & Fabry, B. (1997). Respiratory comfort of automatic

tube compensation and inspiratory pressure support in conscious humans. *Intensive care medicine*, 23, 1119-1124.

Hedenstierna, G., & Edmark, L. (2015). Effects of anesthesia on the respiratory system. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*, 29(3), 273-284.

Hernández Garcés, H., Belenguer Muncharaz, A., & Zaragoza Crespo, R. (2023). Flujo inspiratorio: ¿la variable perdida? *Med. intensiva (Madr., Ed. impr.)*, 554-555.

Hernández-Jiménez, C., Olmos-Zúñiga, J. R., García-Torrentera, R., Jasso-Victoria, R., Solís-Bravo, T., Reyes-Reyes, M., ... & Sánchez-Arozena, L. S. (2011). Efectos de la humidificación de gases sobre la mecánica ventilatoria: Estudio experimental. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 70(4), 247-251.

Intriago, G. G. G., Lema, J. C., Mendoza, A. C. O., & Ortega, M. M. P. (2023). Uso de terapia de oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) en cuidados intensivos: avances, indicaciones y resultados clínicos. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), 1866-1879.

Isaza, K. A. C., Restrepo, J. C. G., & Uribe, J. C. G. (2025). Riesgos y oportunidades de la inteligencia artificial en el cuidado de enfermería: una revisión de alcance. *Trilogía: Ciencia Tecnología Sociedad*, 17(35), 1.

Keszler, M., & Abubakar, K. (2007). Ventilacion con volumen garantizado. *USA Clinics of Perinatology*, 34, 107-116.

Klingenberg, C., Wheeler, K. I., Davis, P. G., & Morley, C. J. (2011). Guia Practica para ventilación con volumen garantizado. *Journal of Perinatology*, 31, 575-585.

LA, A. G. (2011). Ventilación y oxigenación en situaciones de urgencia. *Form Act Pediatr Aten Prim*, 4(3), 194-202.

Laghi, F., & Goyal, A. (2012). Auto-PEEP in respiratory failure. *Minerva Anesthesiol*, 78(2), 201-21.

Le Goulven, F., Mansour, A., Le Gall, A., & Pirracchio, R. (2024). Asistencia circulatoria y respiratoria extracorpórea (oxigenación por membrana extracorpórea) en cuidados críticos. *EMC-Anestesia-Reanimación*, 50(2), 1-10.

Lemaur, M. V., Álvarez, J. L., Jorge, R. G., & Alonso, J. M. (2003, January). Ventilación mandatoria intermitente. In *Anales de Pediatría* (Vol. 59, No. 1, pp. 86-92). Elsevier Doyma.

Leonel, J. S., Leonel, C. F. S., Byk, J., & Furtado, S. D. C. (2025). Inteligencia artificial: desafíos éticos y futuros. *Revista Bioética*, 32, e3739PT.

León-Ramírez, V., & Santiago-López, J. (2018). Oxigenación por membrana extracorpórea como puente para trasplante cardiaco por miocardiopatía chagásica. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 56(4), 429-433.

Linares, R. L., Gutiérrez, M., Peralta, V., Nieto, A., Orlando, R., Zamarrón-López, E., & Gutiérrez, R. (2021). Oxigenación con membrana extracorpórea. *Rev Chil Anest*, 50, 314-32.

Lobato, S. D., & Alises, S. M. (2013). La ventilación mecánica no invasiva moderna cumple 25 años. *Archivos de Bronconeumología*, 49(11), 475-479.

Lobato, S. D., Alises, S. M., & Montiel, G. (2011). Ventilación mecánica no invasiva en la agudización de las enfermedades respiratorias. *Medicina clínica*, 137(15), 691-696.

López-Herce, J., & Carrillo, Á. (2008). Ventilación mecánica: indicaciones, modalidades y programación y controles. *Anales de Pediatría Continuada*, 6(6), 321-329.

Luna, M. S., i Soler, A. V., & Hernando, J. M. (2002, January).

Oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO). Indicaciones y guías para el contacto con una unidad de ECMO. In *Anales de Pediatría* (Vol. 57, No. 1, pp. 51-54). Elsevier Doyma.

Mañosa, S. C., Garcia, A. P., Jordan, E. C., Hereu, L. M., Tejero, G. P., Simón, V. G., ... & de Haro López, C. (2016). Plan de cuidados individualizado durante oxigenación con membrana extracorpórea. Caso clínico. *Enfermería intensiva*, 27(2), 75-80.

Martínez, B. V., Viñuales, A. G., Balladares, T. S. T., Alejaldre, M. R., Mayoral, C. P., & Lasheras, A. A. (2024). Adherencia al tratamiento con BIPAP en pacientes con síndrome de apnea obstructiva del sueño: una revisión bibliográfica. *Enfermería*, 16, 08.

Mendoza, J. A. B., Fernandez, M. V., Fernandez, A. P., & Álvarez, J. G. (2025). Perspectivas actuales sobre el uso de la inteligencia artificial en la seguridad del paciente crítico. *Medicina intensiva*, 49(3), 154-164.

Mercado León, JA (2023). Índice de kirby como predictor de mortalidad en pacientes bajo ventilación mecánica debido a neumonía grave por COVID-19 en el servicio de urgencias durante el año 2021.

Morales-Aguirre, AM, Márquez-González, H., Salazar-Rosales, H., Álvarez-Valencia, JL, Muñoz-Ramírez, CM, & Zárate-Castañón, P. (2015). Cociente PaO₂/FiO₂ o índice de Kirby: determinación y uso en población pediátrica. *El residente*, 10 (2), 88-92.

Muñoz, I. C., & Hernández, A. M. (2017). Cambios en la mecánica ventilatoria debidos a variaciones de la PEEP y la presión soporte: estudio en sujetos sanos bajo ventilación mecánica no invasiva. *Revista de la Facultad de Medicina*, 65(2), 321-328.

Nieto, O. R. P., López, E. I. Z., Gutiérrez, M. A. G., Tomas, E. D., Orozco, R. S., Díaz, J. S. S., ... & Cortés, K. P. P. (2021). PEEP: two sides of the same coin. *Medicina Crítica*, 35(1), 34-46.

Nin-Vaeza, N., González-Benzano, M., & Castro-López, R. (2024). Utilización de la inteligencia artificial en cuidados intensivos. *ARS médica (Santiago)*, 49(2), 3-6.

Ochoa Salmorán, H., Martínez Martínez, I., & Díaz Greene, E. J. (2020). Ventilación mecánica en pacientes con COVID-19 de acuerdo a los fenotipos de Gattinoni. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 18(3), 336-340.

Ortiz, G., Dueñas, C., Lara, A., Garay, M., Blanco, J., & Díaz, G. (2013). Bases de ventilación mecánica. *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo*, 13(2), 17-45.

Pérez, F. J. M. (2005). Generalidades sobre ventilación mecánica en Enfermería (I): Conceptos básicos sobre ventilación mecánica. *Hygia de enfermería: revista científica del colegio*, (61), 5-12.

Perlaza, C. L., Vanegas Potes, V., Aguifto Guerrero, D. E., Cardona Erazo, F. L., & Cruz Mosquera, F. E. (2024). Efectos de la ventilación de alta frecuencia con volumen garantizado en recién nacidos prematuros con síndrome de dificultad respiratoria: revisión exploratoria. *Andes pediátrica*, (ahead), 0-0.

Pizarro, C., Bermon, A., Vanegas, S. P., Colmenares-Mejía, C., Poveda, C. M., Gutiérrez, R. D. G., ... & Salazar, L. (2025). Experiencia con soporte de oxigenación con membrana extracorpórea en América Latina entre 2016 y 2020. *Medicina Intensiva*, 502129.

Quinteros, L. M., Roque, J. B., Kaufman, D., & Raventós, A. A. (2019). Importance of carbon dioxide in the critical patient: Implications at the cellular and clinical levels. *Medicina Intensiva (English Edition)*, 43(4), 234-242.

Rackley, C. R. (2020). Monitoring during mechanical ventilation. *Respiratory care*, 65(6), 832-846.

Ramos, Á. C. R. (2024). Indicaciones de la ventilación mecánica. *Temas selectos en terapia intensiva pediátrica*, 279.

Rodriguez, P., & Brochard, L. (2008). Ventilación Mecánica Asistida: Hacia una mejor adaptación del respirador a las necesidades del paciente. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 8(1), 12-23.

Rodríguez, R. G., & Díaz, L. B. (2020). Modos de ventilación mecánica no invasiva en una unidad de cuidados intensivos. *Revista Cubana de Medicina Intensiva y Emergencias*, 19(1).

Romero-Ávila, P., Márquez-Espinós, C., & Cabrera-Afonso, J. R. (2020). Historia de la ventilación mecánica. De la Antigüedad a Copenhague 1952. *Revista médica de Chile*, 148(6), 822-830.

Salas-Segura, D. A. (2000). Breve historia de la ventilación mecánica asistida. *Acta académica*, 26(Mayo), 89-91.

Sánchez, M. L. (2017). Ventilación mecánica en pacientes tratados con membrana de oxigenación extracorpórea (ECMO). *Medicina Intensiva*, 41(8), 491-496.

Silva-Sieger, F. A., Salazar-Rojas, L., Castillo-Meza, A., Trillos-Leal, R., Mendoza-Sánchez, J. A., Rodríguez-Parra, V., ... & López Romero, L. A. (2021). Complicaciones neurológicas asociadas al tratamiento con oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) en pacientes adultos. Estudio de una serie de casos. *Revista de neurología*, 73(7), 241-248.

Slutsky, A. S. (2015). History of Mechanical Ventilation. From Vesalius to ventilator-induced lung injury. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 191(10), 1106-1115.

Suarez-Sipmann, F., Pérez Márquez, M., & González Arenas, P. (2008). Nuevos modos de ventilación: NAVA. *Medicina intensiva*, 32(8), 398-403.

Triolet Gálvez, A., Bofill Oliva, M. I., Estrada Alonso, A. R., & Pino Álvarez, A. A. (2002). Ventilación no invasiva con presión positiva. *Revista Cubana de Medicina*, 41(1), 29-43.

Uhlig, U., & Uhlig, S. (2011). Ventilation-induced lung injury. *Comprehensive Physiology*, 1(2), 635-661.

Vales, S. B., & Gómez, L. A. R. (2024). *Fundamentos de la ventilación mecánica*. Marge Books.

Verduga, M. J. J., & de los Ángeles Alarcón, C. M. (2024). Influencia de la Inteligencia Artificial en el Cuidado de Enfermería y su Reto. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 985-1004.

Verlhac, C., Godet, T., & Constantin, J. M. (2017). Fisiología y fisiopatología aplicadas a la ventilación artificial ya los principales modos ventilatorios. *EMC-Anestesia-Reanimación*, 43(3), 1-15.

Vicente, E. G., Almengor, J. S., Caballero, L. D., & Campo, J. S. (2011). Ventilación mecánica invasiva en EPOC y asma. *Medicina intensiva*, 35(5), 288-298.

Wrigge, H., Zinserling, J., Hering, R., Schwalfenberg, N., Stüber, F., von Spiegel, T., ... & Putensen, C. (2001). Cardiorespiratory effects of automatic tube compensation during airway pressure release ventilation in patients with acute lung injury. *Anesthesiology*, 95(2), 382-389.

Zarske, R., & Döring, M. (1998). ATC and PPS breathing support with optimum patient comfort. *Drager technical manual*, 8-18.



CECOVA

Consejo de Colegios de Enfermeras y Enfermeros
de la Comunitat Valenciana



EDICIONES
CECOVA