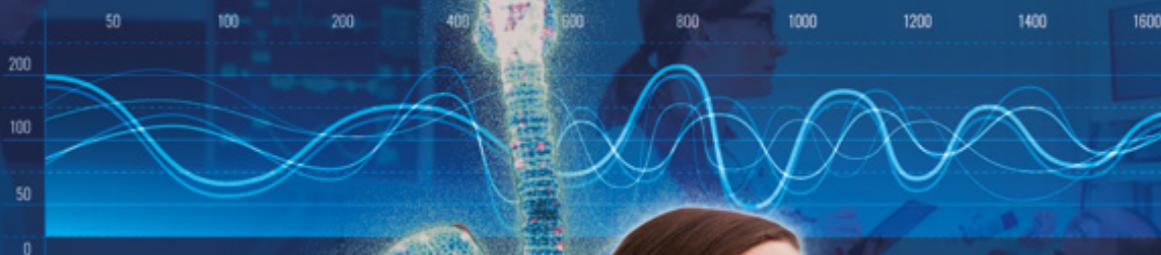


SERIAL: 124366576796870867



35  
C/min

35

OFF

OFF

# MONITOREO GRÁFICO Y VENTILATORIO

EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI)

VÍCTOR HUGO ESTUPIÑÁN PÉREZ  
EDITOR CIENTÍFICO

VIGILADA  
MEXICANA

USC  
UNIVERSIDAD  
SANTIAGO  
DE CALI

EDITORIAL



***Cita este libro / Cite this book:***

Estupiñán Pérez VH, editor científico. Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2024.

***Palabras Clave / Keywords:***

Cuidado, Crítico, Mecánica Respiratoria, Capnografía, Asincronía del Paciente-Ventilador.

Care, Critical, Respiratory Mechanics, Capnography, Patient-Ventilator Asynchrony.

***Contenido relacionado:***

<https://investigaciones.usc.edu.co/>

# MONITOREO GRÁFICO Y VENTILATORIO

EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI)

*Graphic and ventilatory monitoring  
in the Intensive Care Unit (ICU)*

**Víctor Hugo Estupiñán Pérez**

Editor científico



EDITORIAL

Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) / Víctor Hugo Estupiñán Pérez (Editor Científico). -- Santiago de Cali: Universidad Santiago de Cali, Sello Editorial, 2024.

180 páginas: ilustraciones; 24 cm.  
Incluye referencias bibliográficas.

**ISBN IMPRESO:** 978-628-7604-85-8      **ISBN DIGITAL:** 978-628-7604-86-5

1. Mecánica Respiratoria 2. Capnografía 3. Asincronía del Paciente-Ventilador I. Víctor Hugo Estupiñán Pérez. II. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Salud

LC WF145

CO-CaUSC  
JRGB/2024



EDITORIAL

## Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

© Universidad Santiago de Cali.

© **Editor científico:** Víctor Hugo Estupiñán Pérez.

© **Autores:** Víctor Hugo Estupiñán Pérez, Gloria Cecilia Silva Gordillo, María del Pilar Triana Reyes, María de los Ángeles Estupiñán Soto, Andrés Fabricio Caballero Lozada y René Alberto Espinosa Marsiglia.

1a. Edición 100 ejemplares.

Cali, Colombia - 2024.

### Fondo Editorial / Publishing Fund

Carlos Andrés Pérez Galindo

Rector

Claudia Liliana Zúñiga Cañón

Directora General de Investigaciones

Alexander Luna Nieto

Editor en Jefe

### Comité Editorial / Editorial Board

Claudia Liliana Zúñiga Cañón

Alexander Luna Nieto

Jonathan Steven Pelegrin Ramírez

Doris Lilia Andrade Agudelo

Odín Ávila Rojas

Ivan Dario Ruiz Hidalgo

Héctor Manuel Cuevas Arenas

Florencio Arias Coronel

Jhonny Carpediem Gómez

### Proceso de arbitraje doble ciego:

“Double blind” peer-review.

### Recepción / Submission:

Mayo (May) de 2023.

### Evaluación de contenidos / Peer-review outcome:

Noviembre (November) de 2024.

### Correcciones de autor / Improved version submission:

Abril (April) de 2024.

### Aprobación / Acceptance:

Mayo (May) de 2024.



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Dedicatoria

*A mi esposa y a mis hijos,  
que son mi fuente de inspiración y felicidad.*

*A todos los profesionales de la salud  
que trabajan con dedicación y compromiso  
para mejorar la calidad de vida de las personas.*

*A todos los lectores  
que buscan ampliar sus conocimientos  
y aplicarlos en beneficio propio y de su entorno.*

*A Dios  
por darme la nueva oportunidad  
de recopilar el conocimiento  
y poder llegar a los profesionales de la salud.*

*Este libro es una muestra de mi gratitud  
y mi pasión por el cuidado respiratorio.*



# Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
 <i>Capítulo 1</i>	
<b>Monitoreo gráfico y ventilatorio en UCI .....</b>	<b>11</b>
<i>Victor Hugo Estupiñán Pérez. Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali.</i>	
<i>María de los Ángeles Estupiñán Soto. Hospital Universitario del Valle Evaristo García, Colombia, Cali.</i>	
 <i>Capítulo 2</i>	
<b>Capnografía.....</b>	<b>57</b>
<i>Gloria Cecilia Silva Gordillo. Clínica Imbanaco, Colombia, Cali.</i>	
 <i>Capítulo 3</i>	
<b>Analgesia y sedación en el paciente en estado crítico .....</b>	<b>123</b>
<i>René Alberto Espinosa Marsiglia. Universidad del Valle, Colombia, Cali.</i>	
<i>Andrés Fabricio Caballero Lozada. Universidad del Valle, Colombia, Cali.</i>	
 <i>Capítulo 4</i>	
<b>Asincronías paciente - ventilador</b>	
<b>Conceptos básicos .....</b>	<b>147</b>
<i>María del Pilar Triana Reyes. Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali.</i>	
 <b>Acerca de los autores.....</b>	 <b>175</b>
 <b>Pares evaluadores .....</b>	 <b>177</b>

# Table of contents

<b>Introduction</b> .....	<b>9</b>
Chapter 1	
<b>Graphic monitoring in mechanical ventilation</b> .....	<b>11</b>
<i>Victor Hugo Estupiñán Pérez. Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali.</i>	
<i>María de los Ángeles Estupiñán Soto. Hospital Universitario del Valle Evaristo García, Colombia, Cali.</i>	
Chapter 2	
<b>Capnography</b> .....	<b>57</b>
<i>Gloria Cecilia Silva Gordillo. Clínica Imbanaco, Colombia, Cali.</i>	
Chapter 3	
<b>Analgesia and Sedation in the Patient in Critical Condition</b> .....	<b>123</b>
<i>René Alberto Espinosa Marsiglia. Universidad del Valle, Colombia, Cali.</i>	
<i>Andrés Fabricio Caballero Lozada. Universidad del Valle, Colombia, Cali.</i>	
Chapter 4	
<b>Patient - Ventilator</b>	
<b>Asynchroniesbasics</b> .....	<b>147</b>
<i>María del Pilar Triana Reyes. Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali.</i>	
<b>About the authors</b> .....	<b>175</b>
<b>Peer evaluators</b> .....	<b>177</b>



# Introducción

## *Introduction*

Los pacientes críticos, adultos o pediátricos que ingresan a la unidad de cuidados intensivos y requieren soporte ventilatorio invasivo, debido a alteraciones respiratorias, hemodinámicas o de cualquier otra índole deben estar continuamente monitorizados, de tal manera que podamos detectar cambios en la ventilación como en la oxigenación.

Estos cambios pueden deberse a problemas en la mecánica respiratoria, trastornos en la oxigenación que llevan a asincronías con el ventilador mecánico. Es por eso que, a través de la monitorización de curvas y bucles, capnografía o el uso de las diferentes escalas para medir la sedación podemos detectar que problemas existen y como corregirlas.

En algunos casos, puede ser necesario cambiar el modo ventilatorio o ajustar la sedación para mejorar la sincronización entre el paciente y el ventilador. Por otra parte, el capnógrafo es una herramienta adicional que ayuda a analizar el estado de la ventilación.

Este tipo de monitoria nos permite obtener datos sobre posibles cambios en la relación ventilación/perfusión, (V/Q) sin embargo, esto requiere experiencia y experticia por parte del terapeuta respiratorio o el personal de salud que manipula el ventilador mecánico, y de esta manera poder corregir las alteraciones que lo producen.

El paciente en ventilación mecánica puede cursar con asincronías que pueden ser propias de los ajustes de parámetros ventilatorios o una inadecuada sedación. Ante esto, es importante reconocer las asincronías, las cuales pueden ser detectadas en el monitor gráfico y deben ser corregidas en el respirador mecánico o realizando ajustes precisos de fármacos.

El objetivo de este libro es conocer y entender cómo la ventilación mecánica debe ser monitorizada a través de las gráficas de curvas y bucles, capnografía, y conocer las diferentes asincronías que pueden presentarse en el manejo de un paciente crítico sometido a ventilación mecánica, y cómo con el uso de agentes farmacológicos se pueden ayudar a acoplar al paciente en los momentos de asincronía con el respirador.





## CAPÍTULO 1

# Monitoreo gráfico y ventilatorio en UCI

*Graphic monitoring in mechanical ventilation*

**Víctor Hugo Estupiñán Pérez**

Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-8846-4579>

✉ [victor.estupinan00@usc.edu.co](mailto:victor.estupinan00@usc.edu.co)

**María de los Ángeles Estupiñán Soto**

Hospital Universitario del Valle Evaristo García,

Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-2079-3859>

✉ [mariaestupinan4@gmail.com](mailto:mariaestupinan4@gmail.com)

## Resumen

La monitorización de la ventilación mecánica del paciente en estado crítico adulto y pediátrico, permite detectar en forma oportuna los eventos que pueden llegar a producirse durante este soporte invasivo, de tal manera que se pueda evitar la lesión inducida por el respirador. De esta manera en este capítulo se conocerá la forma de ciclado de los ventiladores, los bucles que se producen de acuerdo con cada modo ventilatorio. Así mismo, la identificación de los diferentes problemas mediante la presentación gráfica de los bucles.

**Palabras claves:** monitorización, bucles, ventilación mecánica, pediatría, adulto.

## Abstract

The monitoring of the mechanical ventilation of the patient in critical adult and pediatric condition allows to detect in a timely manner the events that may occur during this invasive support, so that the injury induced by the respirator can be avoided. In this way this chapter we will know the cycling form of the fans, the loops that are produced according to each ventilatory mode. Likewise, the identification of different problems by graphical presentation of loops.

**Keywords:** monitoring, loops, mechanical ventilation, pediatric, adult.

*Cita este capítulo / Cite this chapter*

Estupiñán Pérez VH, Estupiñán Soto MA. Monitoreo gráfico y ventilatorio en UCI. En: Estupiñán Pérez VH, editor científico. Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2024. p. 11-55.

## Introducción

La ventilación mecánica en las unidades de cuidado intensivo permite establecer un soporte respiratorio acorde a las necesidades respiratorias de cada paciente para lo cual, es necesario adecuar los parámetros del ventilador, con el fin de lograr un mejor intercambio de gases, sin embargo, una inadecuada programación de los parámetros ventilatorios, el desconocimiento de la fisiopatología pulmonar o una mala interpretación del monitoreo de curvas y bucles puede contribuir a lesión pulmonar.

Con el advenimiento de los microchips el avance de la monitoria permitió realizar una ventilación más segura a través del monitoreo de curvas y bucles de los pacientes críticos. El análisis de los gráficos en pantalla marcó el comienzo de una nueva y emocionante era en el manejo del paciente ventilado, ya que permitió obtener datos continuos de los cambios que se producían en la mecánica pulmonar.

Hoy en día los ventiladores mecánicos permiten una visualización constante de las ondas brindando la capacidad de observar y documentar mediciones en tiempo real, y de las interacciones paciente-ventilador. En el pasado, podían confirmarse mediante equipos sofisticados y requerían un esfuerzo para su interpretación.

A través de la valoración de curvas y bucles se puede evaluar la sincronía del modo ventilatorio, si existe sobre distensión pulmonar, la evolución de la mecánica pulmonar, y la idoneidad de los ajustes de los parámetros del ventilador, lo que ha permitido el manejo de los parámetros del ventilador de una manera más confiable y segura.

El monitoreo gráfico es una práctica común para el personal de salud de las unidades de cuidado intensivo, este permite evaluar y manejar el paciente conectado a ventilación mecánica, en combinación con la capnografía y gases en sangre arterial, además proporcionaran una descripción general y completa de la idoneidad de la configuración actual de los parámetros del respirador, e identificar la fuente de la asincronía paciente-ventilador, todo esto con el fin de monitorear el estado de la enfermedad y dar soluciones adecuadas.

El monitoreo respiratorio es fundamental para evaluar y comprender la mecánica pulmonar en tiempo real. Permite valorar las curvas y bucles, asegurando una ventilación segura. Sin embargo, su interpretación requiere conocimientos previos para identificar posibles cambios o alteraciones en la vía aérea y/o la caja torácica.

El objetivo de este capítulo es proporcionar los conocimientos en el monitoreo respiratorio en paciente crítico que permita el análisis e interpretación de curvas/bucles, que permitan el manejo adecuado del modo ventilatorio y detectar posibles alteraciones de la mecánica pulmonar.

## **Mecanismos de Ciclado de los Ventiladores**

El ciclo de la respiración durante la ventilación mecánica ocurre cuando se alcanza un valor establecido de volumen, flujo, presión o tiempo. Estos valores son a menudo referidos como “variables de ciclo”. Todo ventilador mecánico se rige por las anteriores variables de ciclo, las cuales determinan cuando pasar o terminar la exhalación(1).

Durante la respiración asistida por un ventilador mecánico, el ciclo se divide en dos fases: inspiratoria y espiratoria. Para que ocurra la inspiración, el flujo de gas debe detenerse y luego cambiar a la exhalación. El punto de transición entre la inspiración y la espiración se denomina “ciclado”. Este puede basarse en el volumen corriente, la presión, el tiempo o el flujo, y los valores se establecen previamente por el operador.

Los avances recientes en el diseño de ventiladores mecánicos han permitido a los médicos y al personal de salud desempeñar un papel crucial en la evaluación y ajuste de los parámetros del respirador.

El fin de cada ciclo también se puede presentar en la espiración el cual puede ser denominado “disparador espiratorio”, “criterios de terminación inspiratoria”, “terminación del flujo espiratorio”. Sin embargo, este término se ha centrado en la fase inspiratoria.

### **Ciclado por Presión**

La inspiración termina cuando se alcanza un determinado valor de presión, una vez alcanzado este valor se da lugar a la exhalación. Es importante tener en cuenta la configuración de alarmas, cuando un paciente presenta tos o se encuentra asincrónico la alarma de presión se activará, y terminará la fase inspiratoria, por consiguiente, se dará como resultado una exhalación temprana. Los ciclos de presión pueden ser una medida de seguridad para evitar una presión inspiratoria elevada y en consecuencia evitar el daño pulmonar.

## **Ciclado por Tiempo**

La inspiración termina y da lugar a la espiración después de alcanzar un determinado tiempo. Esto se puede lograr al ajustar la frecuencia respiratoria, el tiempo inspiratorio o la relación inspiración – espiración (I:E).

## **Ciclado por Volumen**

La inspiración se detiene una vez que se administra el volumen corriente ( $V_t$ ) seleccionado, el volumen es ajustado por el médico quien lo establece acorde a la patología, de igual manera, se debe configurar el límite máximo de alarma.

## **Concepto de Curvas de Función Respiratoria**

El monitoreo respiratorio es la representación gráfica de los cambios que se presentan tanto en el pulmón como la caja torácica de los pacientes sometidos a ventilación mecánica, las alteraciones que puedan presentarse pueden deberse a problemas fisiológicos de pulmón durante el ciclo respiratorio, estos cambios se representan gráficamente respecto al tiempo conjugándolas con flujo, presión y volumen o como cambios de una variable en otra (flujo-volumen o volumen-presión). El monitoreo gráfico permite identificar los problemas de las vías aéreas que se están presentando en ese momento (ejemplo broncoespasmo o alteraciones de la compliance) (2).

En cada ciclo respiratorio se proporciona una representación visual y numérica en el monitor que puede ser  $V_t$ , presión, tiempo inspiratorio para las fases inspiratoria y espiratoria, así como también, la comparación de los volúmenes inspiratorio y espiratorio. Por otra parte, proporcionan información sobre fugas de aire que pueden encontrarse en el tubo orotraqueal, circuitos del ventilador o en el caso de niños en la cascada o a través del circuito del ventilador.

La evaluación y análisis de las gráficas durante la ventilación mecánica (VM) debe realizarse de manera continua en los pacientes críticos independientemente sea por tiempo corto o prolongado, logrando de esta manera una gestión que optimiza el cuidado respiratorio, permitiendo dar respuesta a una alteración pulmonar pronta y oportuna que evite lesiones y consecuencias a nivel pulmonar. En la siguiente tabla se mencionan la utilidades de las curvas (3).

**Tabla 1.** Utilidad del Monitoreo Respiratorio.

1. Analizar la fisiopatología de una patología.
2. Detectar y evaluar cambios en la mecánica pulmonar.
3. Optimizar una estrategia ventilatoria.
4. Valorar la respuesta a un determinado tratamiento (inhaloterapia)
5. Cambio de modo ventilatorio.
6. Evitar lesión pulmonar por ventilación mecánica.
7. Evaluar el Weaning.
8. Establecer un pronóstico en la evolución del paciente.

**Fuente:** García-Prieto, E., Amado-Rodríguez, L., y Albaiceta, GM. “Monitorización de la mecánica respiratoria en el paciente ventilado.” Medicina Intensiva, vol. 38, no. 1, enero de 2014, pp. 49-55.

Por otra parte, el monitoreo gráfico ayuda a identificar el modo ventilatorio en el cual se encuentra el paciente (volumen o presión), así como la idoneidad del modo ventilatorio proporcionado en ese momento. Además, se pueden identificar asincronías paciente-ventilador, las cuales deben ser detectadas y manejadas oportunamente. Esto evita lesiones pulmonares y reduce el aumento en el consumo de oxígeno. Los gráficos que se visualizan en la pantalla del ventilador se muestran en la siguiente ilustración (3)

**Ilustración 1.** Monitor en Ventilación Mecánica.



## Curvas Presión/ Tiempo

Este tipo de curvas muestra los cambios progresivos de la presión de las vías respiratorias. La presión puede ser medida en mbar o en  $\text{cmH}_2\text{O}$  y el tiempo en segundos(4). Las ondas de presión que se visualizan en el monitor incluyen: onda rectangular, exponencial, sinusoidal y oscilante, cada una de ellas tiene características propias, siempre y cuando la presión sea la variable de control. En la ilustración 2 se muestra el tipo de curva que se pueden observar en el monitor del respirador.

### Onda Rectangular

Se caracteriza por un aumento casi instantáneo a un valor de presión pico que se mantiene hasta el comienzo de la exhalación. Durante la espiración, la presión cae rápidamente hasta la línea de base.

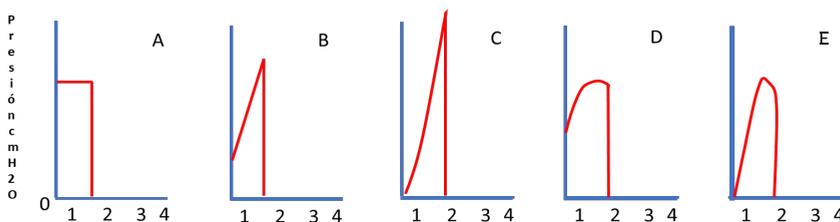
### Onda Exponencial

Se representa mediante un aumento gradual de la presión en comparación con la forma de onda rectangular. Este tipo de forma de onda es común en algunos ventiladores para niños y se ha convertido en una opción en algunos ventiladores para adultos. Los ajustes del ventilador, como el flujo y el tiempo inspiratorio, regulan la pendiente de la forma de onda hacia la presión inspiratoria máxima.

### Ondas Sinusoidales

Son producidas característicamente por ventiladores que tienen un impulsor giratorio de pistón. Entre los ventiladores que utilizan este mecanismo encontramos, Emerson 3-MV, Respironics PLV-100, Bear 33 y Puritan-Bennett LP-10 y LP-20. (5)

Ilustración 2. Tipos de Ondas.



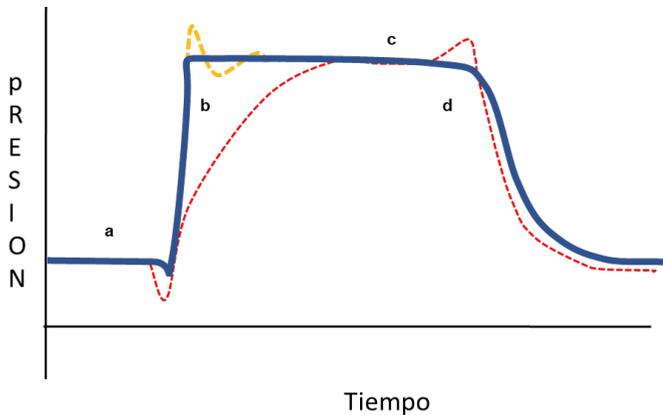
**Fuente:** elaboración propia basado en Chang, DW. Clinical Application of Mechanical Ventilation. 4.a ed., vol. 1, Delmar Cengage Learning, 2014.

**Nota:** Tipos de ondas A rectangular B y C exponencial D y F sinusoidal.

Cada tipo de onda que se visualice representa los cambios de presión en la vía aérea durante el ciclo respiratorio, la curva de presión permite obtener información sobre la mecánica pulmonar dinámica y estática, el tipo curva que se visualiza en el monitor del respirador mecánico depende del modo ventilatorio que se esté utilizando (presión o volumen).

Durante la ventilación por presión se ajusta el nivel de presión la cual, permite introducir el gas inspirado, la onda que se genera es una onda cuadrada (presión constante), el flujo inspiratorio no es constante, al inicio es más rápido y se va haciendo más lento hasta llegar a la fase final, el parámetro que varía en cada respiración es el  $V_t$  conseguido por cada inspiración. (6) En la ilustración se muestra las características de esta curva.

**Ilustración 3.** Componentes de Curva Presión.



**Fuente:** elaboración propia basado en Gentile, MA. “Cycling of the Mechanical Ventilator Breath.” *Respiratory Care*, vol. 56, no. 1, 1 de enero de 2011, pp. 52-60.

**Nota:** En la ilustración se muestra la letra **a** hay una buena respuesta al flujo seleccionado por parte del paciente, **b** la línea roja indica un flujo bajo ocasionando un aumento progresivo de la presión, la línea azul en **c** muestra un sostenimiento de la presión con el flujo, **d** la línea punteada roja muestra un terminado prematuro lo que hace que el paciente realice un esfuerzo respiratorio.

La curva de presión tiene una porción ascendente (inspiración) y una porción descendente (espiración). Si se usa un nivel de PEEP, o presión positiva al final de la espiración (del inglés Positive End-Expiratory Pressure) la curva comienza y termina en el valor prefijado no llega a cero, el punto más

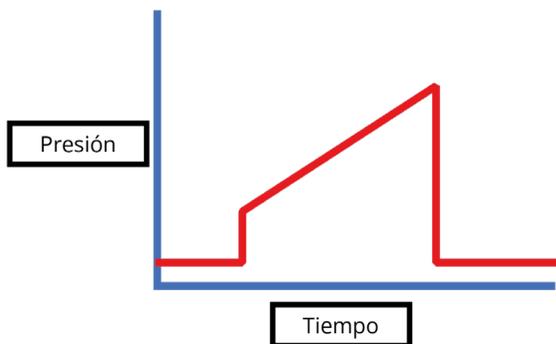
alto de la curva representa la Presión Inspiratoria Pico (PIP), el área bajo la curva representa la Presión Media de la Vía Aérea (PMVA), El tiempo inspiratorio corresponde desde el inicio ascendente hasta que se alcanza la PIP; el tiempo espiratorio comienza en la PIP y termina al inicio de la próxima desviación ascendente PEEP. El ciclo total es el intervalo desde el inicio de una desviación ascendente hasta el inicio de la siguiente. La siguiente ilustración muestra las curvas de presión según el modo ventilatorio.

**Ilustración 4.** Curva Presión Tiempo en Modo Presión.



**Fuente:** elaboración propia basado en Mellema, MS. “Ventilator Waveforms.” *Top Companion Animal Medicine*, vol. 28, no. 3, agosto de 2013, pp. 112-123.

**Ilustración 5.** Curva Presión Tiempo Modo Volumen.



**Fuente:** elaboración propia basado en Mellema, MS. “Ventilator Waveforms.” *Top Companion Animal Medicine*, vol. 28, no. 3, agosto de 2013, pp. 112-123.

## Curvas de Volumen

Las formas de las ondas por volumen se clasifican en dos: rampa ascendente y sinusoidal.

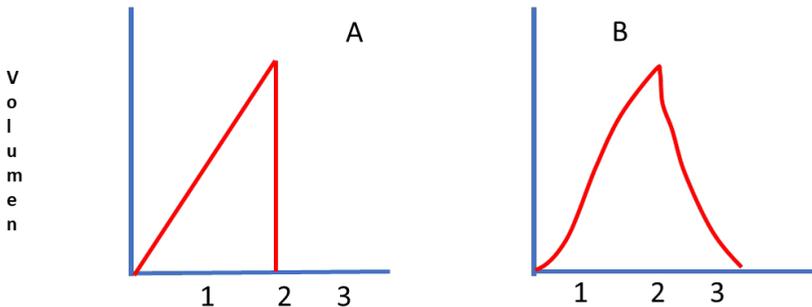
### Rampa Ascendente

La forma de onda de rampa ascendente es producida por un patrón de flujo inspiratorio constante, es decir, rectangular. Su forma se caracteriza por un aumento lineal hasta el valor máximo de la presión inspiratoria.

### Sinusoidal

Las formas de onda de volumen sinusoidal son producidas por ventiladores que tienen un mecanismo de accionamiento de pistón accionado por rotación. Los ventiladores que utilizan este mecanismo de accionamiento incluyen Emerson 3-MV, Respironics PLV-100, BEAR 33 y Puritan-Bennett LP-10 y LP-20. En la siguiente ilustración se muestra las ondas de volumen **A** corresponde a rampa ascendente **B** onda sinusoidal.

**Ilustración 6.** Tipos de Onda por Volumen.



**Fuente:** Elaboración propia basada en Chang, DW. *Clinical Application of Mechanical Ventilation*. 4.ª ed., vol. 1, Delmar Cengage Learning, 2014. Archivo digital. 18 de marzo de 2022. Disponible en: [https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan\\_c4o0](https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan_c4o0)

La presión aumenta a medida que el pulmón se llena de gas con un flujo constante, la presión al final de la inspiración se denomina Presión Inspiratoria Máxima (PIM), la presión al final indica el nivel de PEEP, al colocar tiempo pausa o meseta no existe flujo de aire en las vías aéreas, esta maniobra solo se mide en los modos por volumen debido a que el flujo que se utiliza

es constante, esto genera una diferencia entre la PIM y la presión meseta la cual proporciona información sobre la presión alveolar y se relaciona con la distensibilidad pulmonar, durante la maniobra de pausa inspiratoria se elimina la resistencia de la vía aérea (flujo cero) por lo tanto la información que podemos obtener es la resistencia de las vías respiratorias (7)

**Tabla 2.** Utilidades de la Curva Presión.

- 1.- Diferenciar la modalidad ventilatoria.
- 2.- Permite verificar la presencia de fugas. Se evidencia cuando realizando una pausa inspiratoria, la presión meseta o pico no se mantiene estable (modo volumen control).
- 3.- Existencia de resistencia aumentada (modo volumétrico). A mayor diferencia entre presión pico y presión meseta, la resistencia es mayor.
- 4.- Presencia de auto-PEEP al realizar pausa espiratoria prolongada.

**Fuente:** Elaboración propia basada en Walter, JM, Corbridge, TC, y Singer, BD. "Invasive Mechanical Ventilation." *Southern Medical Journal*, vol. 111, no. 12, diciembre de 2018, pp. 746-753; Dexter, AM, y Clark, K. "Ventilator Graphics: Scalars, Loops, & Secondary Measures." *Respiratory Care*, vol. 65, no. 6, junio de 2020, pp. 739-759.

Por otro lado, en las gráficas de presión-tiempo, es posible identificar la presencia de sobredistensión pulmonar. Esto se visualiza en la curva de presión y también puede ser evaluado mediante el índice de estrés.

### **Índice de estrés**

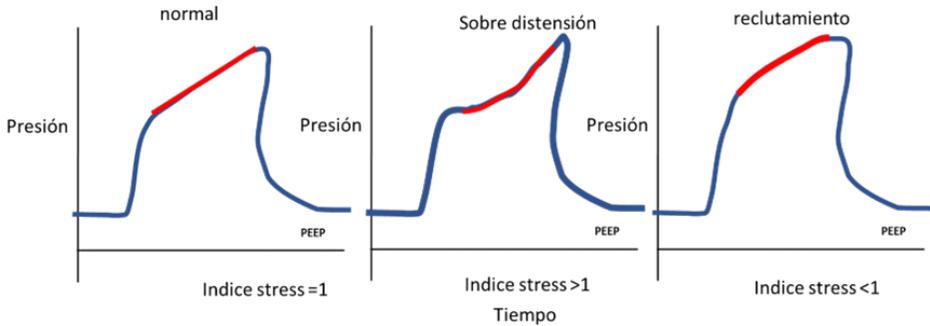
Es una medida útil que permite obtener información a partir de la curva presión/tiempo, cuando el paciente se encuentra ventilado en el modo volumen control. Por lo general, este índice lo calcula el software del ventilador; sin embargo, los métodos de evaluación del índice de estrés (IE), se puede realizar a través del análisis visual.

El análisis de este índice se correlaciona con una curva de presión que tiene una pendiente recta o un índice de estrés igual a 1, lo que indica que no hay cambios en la compliance durante la ventilación.

Si la pendiente tiene una curva hacia arriba o en forma de cúpula (convexa), el índice de estrés es menor a 1, lo que indica que, al aumentar el

volumen, existe una mejora en la distensibilidad del pulmón y se produce reclutamiento durante la ventilación. Un índice de estrés mayor a 1 tiene una pendiente curva excavada (cóncava), lo que indica que el pulmón se encuentra sobredistendido y tiene una distensibilidad disminuida. Ver siguiente ilustración.

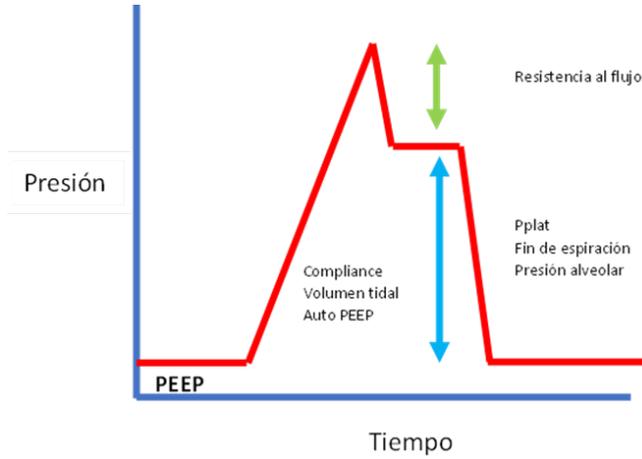
**Ilustración 7.** Índice de Stress en la Curva Presión Tiempo.



**Fuente:** elaboración propia basado en Dexter, AM, y Clark, K. “Ventilator Graphics: Scalars, Loops, & Secondary Measures.” *Respiratory Care*, vol. 65, no. 6, junio de 2020, pp. 739-759.

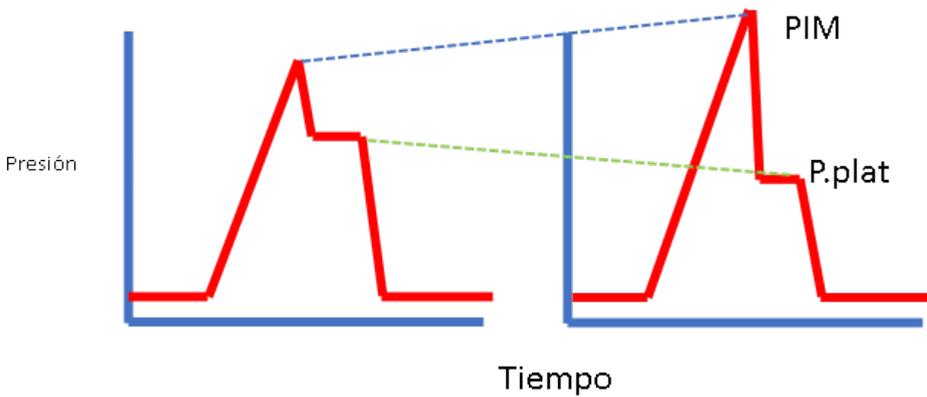
En el caso de que exista compromiso pulmonar en (modo volumen control) la curva de volumen/tiempo nos ayudara a determinar los cambios en la distensibilidad dinámica, la cual está relacionada con la resistencia de las vías aéreas (broncoespasmo, obstrucción parcial del tubo orotraqueal, acomodamiento del tubo o circuito). En la ilustración 8 se muestra los cambios en relación con la compliance dinámica, y en la ilustración 9 la relación con compliance estática. De igual manera se puede medir en la curva de presión versus tiempo la PEEP intrínseca, la cual se puede obtener realizando un tiempo de pausa espiratoria en el ventilador.

**Ilustración 8.** Curva de Volumen.



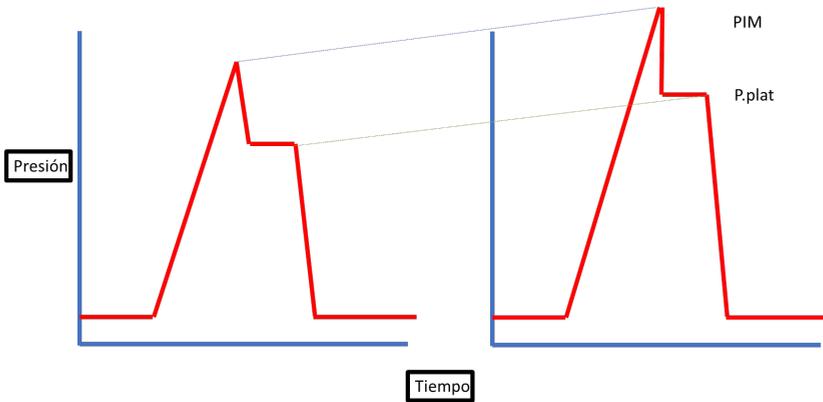
**Fuente:** Dexter, AM, y Clark, K. “Ventilator Graphics: Scalars, Loops, & Secondary Measures.” *Respiratory Care*, vol. 65, no. 6, junio de 2020, p. 739-759.

**Ilustración 9.** Cambios de la Compliance Dinámica.



**Fuente:** Mellema, MS. “Ventilator Waveforms.” *Top Companion Animal Medicine*, vol. 28, no. 3, agosto de 2013, p. 112-123.

**Ilustración 10.** Cambios de la Compliance Estática en Modo Volumen Control.



**Fuente:** Balcells Ramírez, J. “Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo.” *Anales de Pediatría*, vol. 59, no. 3, 2003, p. 264-277.

En la anterior ilustración se pueden observar los cambios en la distensibilidad estática, se relacionan con los cambios en la distensibilidad pulmonar y se debe a una patología asociada a los pulmones, como Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo” (también conocido como ARDS por sus siglas en inglés, Acute Respiratory Distress Syndrome) y neumonía.

Esto da como resultado un aumento en la presión meseta, la relación entre las presiones inspiratorias pico y meseta permanecerá constante, debido a que el pulmón es “más rígido”, ocasionando mayor resistencia de las vías respiratorias resultando en aumento de las presiones máximas. Por lo tanto, los cambios en la distensibilidad estática siempre afectarán la compliance dinámica, pero lo contrario no siempre ocurre, ya que los cambios dinámicos (resistencia al flujo de aire) pueden ocurrir independientemente de la distensibilidad estática.

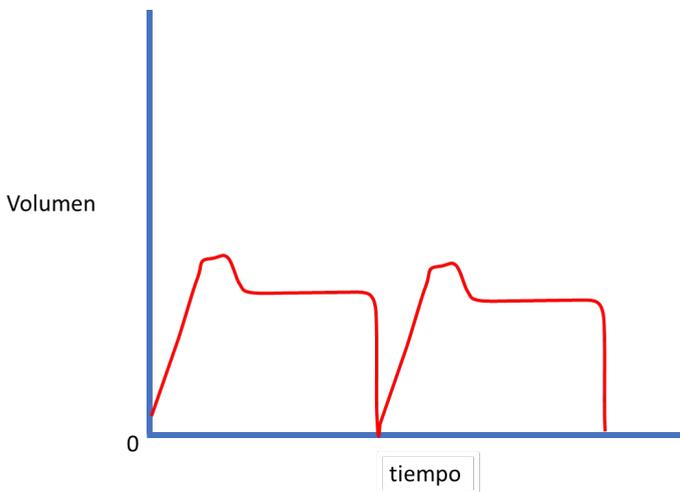
Durante la atención de pacientes críticos con VM debe realizarse un diagnóstico rápido y oportuno ante los cambios repentinos en los cambios de la morfología de las curvas de presión de las vías respiratorias, un análisis diferencial enfocará el manejo o cambios de estrategias en el ventilador e incluso intervenciones médicas. Los cambios súbitos en la mecánica pulmonar están seguidos de inestabilidad hemodinámica, cuando este cambio se produce de forma aguda, el neumotórax o la presencia de auto-PEEP deben descartarse rápidamente(8).

## Utilidad Clínica de la Curvas Volumen /Tiempo

- En la práctica clínica esta curva permite identificar:
- Modalidad ventilatoria de ventilación
- Existencia de resistencia en la vía aérea
- Presencia de fugas (en modalidad de presión no se alcanza la PIP y en modalidad por volumen no se mantiene la presión meseta). En efecto no se mantiene el nivel de PEEP durante la pausa espiratoria
- Presencia de auto-PEEP existe un aumento de dicha presión durante la pausa espiratoria (9)
- Detectar variabilidad de los volúmenes ajustados ( $V_{insp}$ . Y  $V_{esp}$ .) los cuales pueden variar cuando se administra gases adicionales en el ventilador(2).

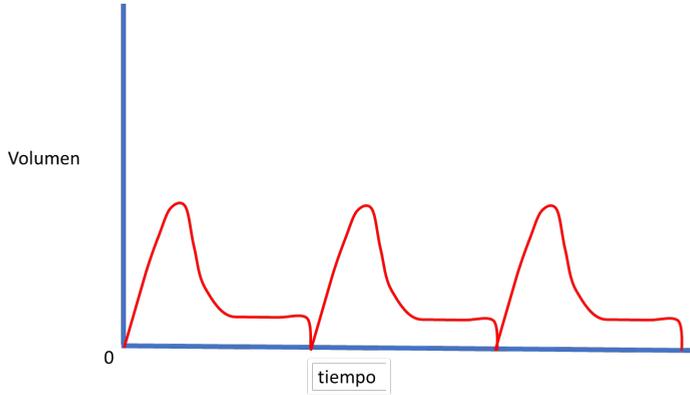
En las curvas volumen/tiempo podemos detectar fugas, las cuales se representan en la ilustración 11, en la cual se muestra una fuga importante del volumen inspirado, mientras que, en la ilustración 12, se observa un menor porcentaje de fuga, esto puede deberse a escapes por el circuito, tubo orotraqueal o fístulas broncopleurales.

**Ilustración 11.** Fugas Curva Volumen / Tiempo.



**Fuente:** Balcells Ramírez, J. “Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo.” *Anales de Pediatría*, vol. 59, no. 3, 2003, p. 264-277.

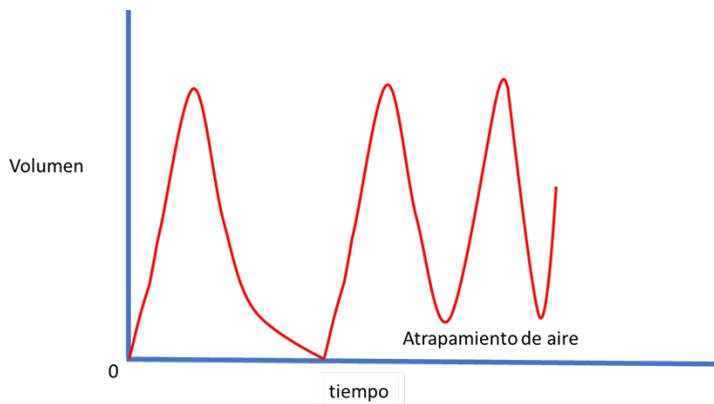
**Ilustración 12.** Fuga de Aire.



**Fuente:** Balcells Ramírez, J. “Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo.” *Anales de Pediatría*, vol. 59, no. 3, 2003, p. 264-277.

Por otra parte, el atrapamiento de aire puede ser detectado en las curvas que genera el monitor, o bucles, una vez detectado se pueden generar estrategias ventilatorias o iniciar medicamentos inhalados para disminuir el broncoespasmo. En las curvas de volumen/tiempo también se pueden identificar el atrapamiento de aire, en la siguiente ilustración se muestra la morfología de la curva.

**Ilustración 13.** Atrapamiento de Aire.



**Fuente:** Balcells Ramírez, J. “Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo.” *Anales de Pediatría*, vol. 59, no. 3, 2003, p. 264-277.

## Curvas Flujo-Tiempo

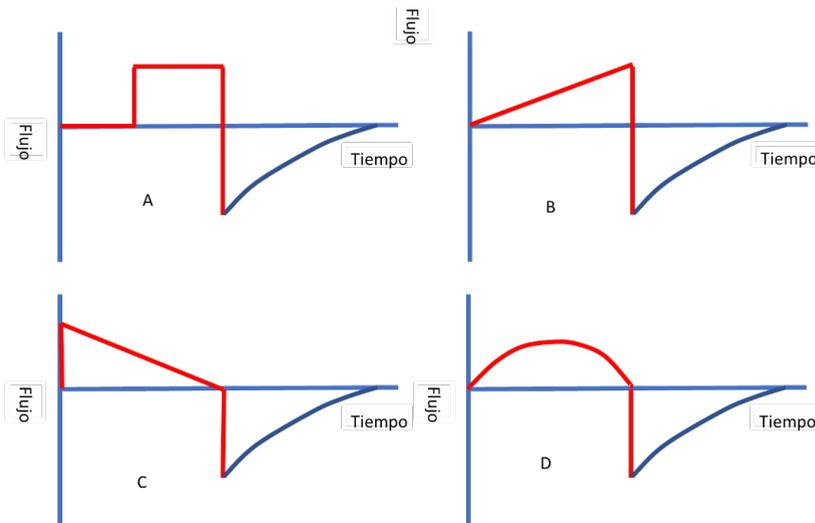
Existen cuatro tipos de ondas de flujo como se muestran en la Ilustración 14, las curvas pueden ser: rampa ascendente, rampa descendente y sinusoidal.

**Rectangular** (constante) se produce cuando el volumen es la variable de control y la salida es una rampa ascendente. La forma de onda de flujo (un derivado de la forma de onda de volumen con respecto al tiempo) asume una forma rectangular.

**Onda en rampa** puede ser ascendente o descendente. Si el flujo aumenta a medida que se administra la respiración, se denomina ascendente. Si el flujo cae durante la respiración asistida por ventilador, se denomina rampa descendente.

**Onda sinusoidal** se parece a la parte positiva de una onda sinusoidal. se genera por un mecanismo de accionamiento de pistón por rotación(5). En la siguiente ilustración se observan los tipos de ondas.

**Ilustración 14.** Tipos de Onda por Flujo.



**Fuente:** Elaboración propia basada en basado en Chang, DW. *Clinical Application of Mechanical Ventilation*. 4.a ed., vol. 1, Delmar Cengage Learning, 2014. 18 de marzo de 2022. Disponible en: [https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan\\_c4o0](https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan_c4o0)

**Nota:** En la ilustración se muestra **A** curvas a rectangular (constante) **B** rampa ascendente **C** rampa descendente **D** sinusoidal.

Las ondas de flujo representan los cambios que se presentan en el ciclo respiratorio. La forma de la onda depende del modo ventilatorio utilizado (presión, volumen) que se utilice en el momento. En los modos de ventilación con volumen control, la forma de onda del flujo tiene forma cuadrada o de rampa descendente dependiendo del tipo de ventilador. Además, algunos permiten al operador elegir el perfil de flujo. En la respiración espontánea, el perfil de flujo sería sinusoidal(7).

Los patrones de flujo que se observan en el monitor gráfico varían según las condiciones clínicas del paciente, el modo ventilatorio y el tipo de ventilador. Durante la ventilación mecánica se pueden establecer seis patrones de flujo distintos. En la siguiente tabla se muestra los tipos de flujo.

**Tabla 3.** Clasificación de los flujos.

Flujo	
Flujo constante	Rampa descendente
Flujo descendente	Rampa ascendente
Sinusoidal	
Desacelerante	

**Fuente:** Chang, DW. *Clinical Application of Mechanical Ventilation*. 4.a ed., vol. 1, Delmar Cengage Learning, 2014.

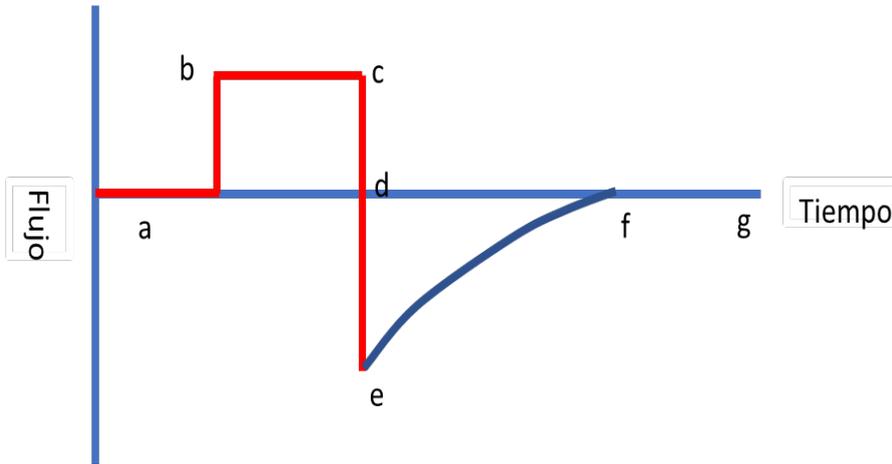
La rampa ascendente y la onda sinusoidal son poco utilizadas porque la tasa de flujo inicial no es suficiente para adecuar la ventilación asistida sincronizada de los pacientes. El rápido aumento al flujo máximo ofrecido por los patrones de flujo constante y onda de flujo de rampa descendente han demostrado ser superior para satisfacer las demandas de flujo en los pacientes(5).

El uso de flujos sinusoidal o de rampa ascendente puede ser apropiados en la ventilación controlada, donde el flujo o el volumen de gas a entregar no es un problema, como es el caso de pacientes sedados y con poco esfuerzo respiratorio, en estos casos la entrega de flujo se hace en una forma lenta hasta llegar a niveles de flujo máximo establecidos permitiendo así, la distribución del gas en los pulmones, debido a la baja resistencia al flujo de gas.

Es importante recordar que las tasas de flujo altas causan mayor resistencia en las vías aéreas, cuando existe resistencia en la vía aérea, el gas sigue el

camino de menor resistencia, preferentemente ventilando las vías respiratorias normales. En la siguiente ilustración se visualiza la morfología de la curva de flujo/tiempo.

**Ilustración 15.** Curva flujo tiempo.



**Fuente:** Elaboración propia basada en Pérez, M., y Mancebo, J. “Monitorización de la mecánica ventilatoria.” *Medicina Intensiva*, vol. 30, no. 9, diciembre de 2006, p. 440-448.

En la anterior ilustración se muestra la morfología de la curva de flujo donde la letra **a** presenta el final de la espiración y el comienzo de la inspiración cuando el flujo es activado por el ventilador o por el tiempo. Siempre es un trazo ascendente positivo en los gráficos del ventilador. La letra **b** marca la inspiración con una presión pico y un flujo constante. La letra **c** marca el cambio de inspiración a espiración, donde la respiración es un ciclo de volumen o de tiempo hasta la espiración, la letra **d** representa la espiración, la cuarta fase del ciclo ventilatorio, que siempre está en el lado inferior de la línea base o flujo cero. La letra **e** representa el caudal espiratorio máximo alcanzado, al que se le asigna un valor negativo en el gráfico. El patrón de flujo espiratorio desde el nivel máximo alcanzado hasta el final del flujo es normalmente un patrón de caída exponencial y convexo en condiciones pasivas. La letra **f** representa el final del flujo de un paciente cuando regresa a la línea de base, y **g** es el tiempo de pausa espiratoria pasiva en el flujo hasta la siguiente respiración.

## Utilidad Clínica Curva Flujo Tiempo

Este tipo de curva permite identificar durante la ventilación mecánica:(11)

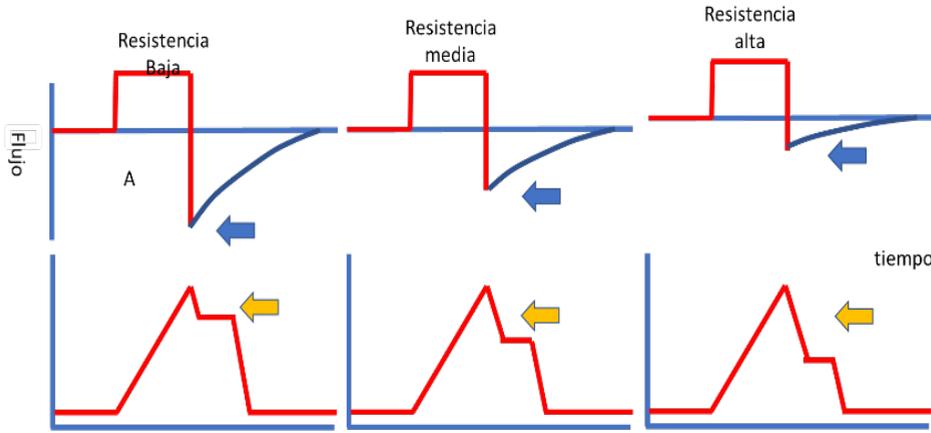
- Modo ventilatorio
- Distinguir las respiraciones realizadas por el ventilador y/o paciente
- Detectar presencia de auto-PEEP
- Atrapamiento de aire
- Tiempos inspiratorios
- Limitación del flujo espiratorio

Fisiopatológicamente, puede existir problemas con el flujo durante la espiración, normalmente cuando la presión alveolar es mayor (se tiene un volumen pulmonar normal) generando un aumento del diámetro de la vía aérea terminal, lo cual reduce la resistencia de la vía aérea.

En las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), existe destrucción del parénquima pulmonar, esto genera el colapso de los alveolos por la presión generada alrededor, presentando un cierre prematuro de la vía aérea (dinámico) durante la exhalación, generando un aumento de la resistencia al flujo en la exhalación.

Estos cambios pueden verse fácilmente en la curva de flujo espiratorio, por consiguiente, se observarán cambios en el trazado del flujo espiratorio (11).

**Ilustración 16.** Aumento de la resistencia en modo volumen.



**Fuente:** elaboración propia basado Correger, E., Murias, G., Chacon, E., Estruga, A., Sales, B., López-Aguilar, J., et al. “Interpretación de las curvas del respirador en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda.” *Medicina Intensiva*, vol. 36, no. 4, mayo de 2012, pp. 294-306.

**Nota:** en la ilustración como el flujo expiatorio disminuye a medida que existe aumento de la resistencia.

### Auto-PEEP

Fue descrito por primera vez por Bergman en 1972 y Jonson et al en 1975. Pero las implicaciones clínicas y técnicas de medición durante la ventilación mecánica fueron definidos por Pepe y Marini en 1982. El auto-PEEP se define como un valor por encima de la PEEP establecida en el ventilador mecánico, esta alteración debe ser monitoreada para ser detectado en forma temprana, se observa con mayor frecuencia en enfermedades que cursan con aumento de la resistencia de las vías respiratorias y tasas de flujo espiratorio reducidas (asma grave, enfermedad pulmonar obstructiva crónica).

En casos severos respiratorios la presión intratorácica (Pit) debe ser mayor para desencadenar una respiración, esto es debido a que el paciente debe superar el auto-PEEP. En la siguiente tabla se muestra los efectos cardiopulmonares por aumento de la Pit. (12)

**Tabla 4.** Efectos cardiopulmonares de la Pit.

---

Disminuye el gradiente de retorno venoso.
Aumenta la poscarga del ventrículo derecho
Aumenta el trabajo respiratorio

---

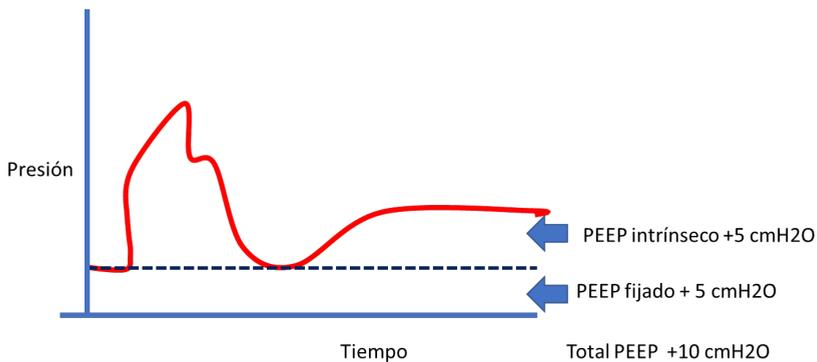
**Fuente:** elaboración propia basado en Walter, JM, Corbridge, TC, y Singer, BD. “Invasive Mechanical Ventilation.” *Southern Medical Journal*, vol. 111, no. 12, diciembre de 2018, pp. 746-753.

El auto-PEEP puede ser evaluado en el monitor del ventilador mecánico mediante la visualización; el flujo espiratorio persistente al comienzo de la inspiración no retorna a línea de base, y coincide durante la auscultación u observación con un flujo espiratorio prolongando del paciente. Estos hallazgos sugieren la presencia de auto-PEEP. Ver ilustración 17.

### Medición del Auto-PEEP

La maniobra para medir el auto-PEEP se hace realizando una oclusión al final de la espiración en el ventilador mecánico, por consiguiente el flujo se detiene al final de la espiración y se registra una presión de oclusión que se aproxima a la PEEP intrínseca del paciente (ver ilustración 17), esta medida solo se puede obtener de forma fiable en pacientes sin esfuerzo respiratorio espontáneo. Las posibles causas que los generen son: disminución de la distensibilidad del sistema respiratorio, y presión transpulmonar (PPLT) elevada.

**Ilustración 17.** Valoración de Auto-PEEP.



**Fuente:** Mellema, MS. “Ventilator Waveforms.” *Top Companion Animal Medicine*, vol. 28, no. 3, agosto de 2013, pp. 112-123.

El manejo del auto-PEEP, está encaminado a tratar la causa que lo está generando, la enfermedad pulmonar subyacente, o determinar los parámetros seleccionados, por consiguiente, la solución es generar estrategias que prolongan el tiempo espiratorio, disminución de la frecuencia respiratoria, disminuir  $V_t$ , aumentar tasas de flujo inspiratorio. Si la inestabilidad del paciente es progresiva al detectar auto-PEEP puede ser de ayuda desconectar al paciente del ventilador y descomprimir manualmente el tórax.(8)

## Factores Externos de Auto-PEEP

Durante la ventilación mecánica los pacientes con asma y EPOC presentan hiperinsuflación dinámica y auto-PEEP, sin embargo, esta situación puede ocurrir en patologías con limitación del flujo espiratorio. En la siguiente tabla se muestran algunas causas.

**Tabla 5.** Causas de Auto-PEEP en Ventilación Mecánica.

---

Alto volumen minuto ( $\dot{V}$ Esp.)
Aumento resistencia espiratoria del equipo (tapones de moco)
Tubo endotraqueal pequeños
Intercambiador de calor y humedad
Circuitos de ventilador largos
Mala programación de parámetros en el ventilador

---

**Fuente:** Blanch, L., Bernabe, F., y Lucangelo, U. “Measurement of Air Trapping, Intrinsic Positive End-Expiratory Pressure, and Dynamic Hyperinflation in Mechanically Ventilated Patients.” *Respiratory Care*, vol. 50, no. 1, 2005, p. 15.

El auto-PEEP, hace que los pulmones no tengan el tiempo suficiente para alcanzar la capacidad residual funcional (CRF) normal, debido a que el flujo espiratorio impulsado por la diferencia de presión entre los alvéolos y la apertura de las vías respiratorias, no es lo suficiente para ser vaciados, por esta razón, la espiración continua a pesar de que las vías respiratorias estén abiertas. (12)

## Bucles Flujo /Volumen

Estas permiten obtener información sobre los cambios que se producen en el flujo de la vía aérea con relación a los cambios en el volumen pulmonar en

cada ciclo respiratorio. Para el análisis de la gráfica, el flujo se representa en el eje de ordenadas y el volumen en el de abscisas.

Inicialmente, la curva que se obtiene es un bucle inicia con la inspiración y termina al final de la espiración. Este bucle, representa el ciclo respiratorio en curso. Hoy en día los ventiladores de última generación almacenan los bucles seleccionados, permitiendo de esta manera comparar los cambios.

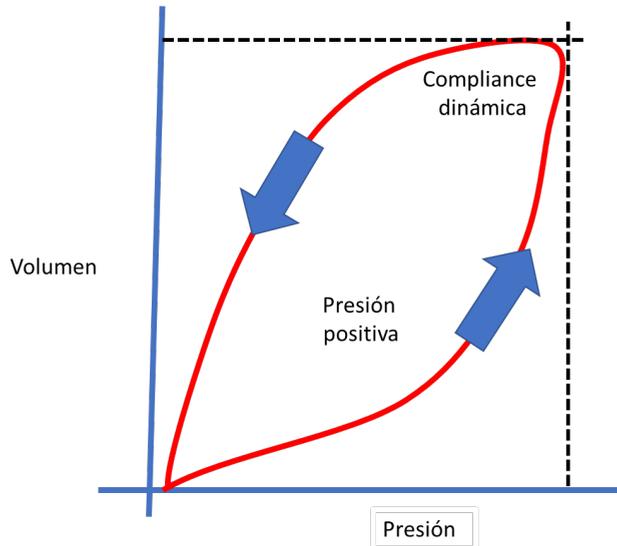
### Bucle Presión/Volumen

Obtenemos información numérica y la representación de la curva que se producen debido a los cambios en el  $V_t$  pulmonar respecto a la presión durante el ciclo respiratorio.

El volumen se representa en el eje de ordenadas y la presión en el de abscisas. La representación gráfica es un bucle se une la inspiración con la espiración, sólo se grafica el bucle correspondiente al ciclo respiratorio en curso.

De igual manera, la información de cada bucle puede ser guardada en el ventilador para su comparación (13). En la siguiente ilustración se muestra la morfología del bucle.

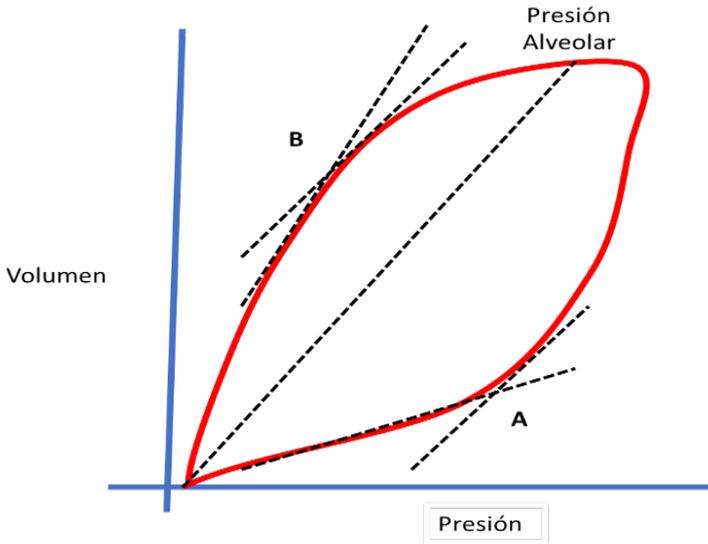
**Ilustración 18.** Gráfica Presión/Volumen.



**Fuente:** Waugh, JB, editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Upper Saddle River, N.J, Pearson Prentice Hall, 2007.

Otra utilidad del bucle P/V es el cálculo de los puntos de inflexión, los cuales pueden ser difíciles de evaluar, sin embargo, una manera de estimarlo es dibujar líneas a lo largo de las partes de las curvas de inspiración y espiración que están casi rectas, los puntos de intersección de las dos líneas dibujadas estiman el punto de inflexión, ver ilustración 19 (13).

**Ilustración 19.** Puntos de Inflexión.



**Fuente:** Waugh, JB, editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Upper Saddle River, N.J., Pearson Prentice Hall, 2007.

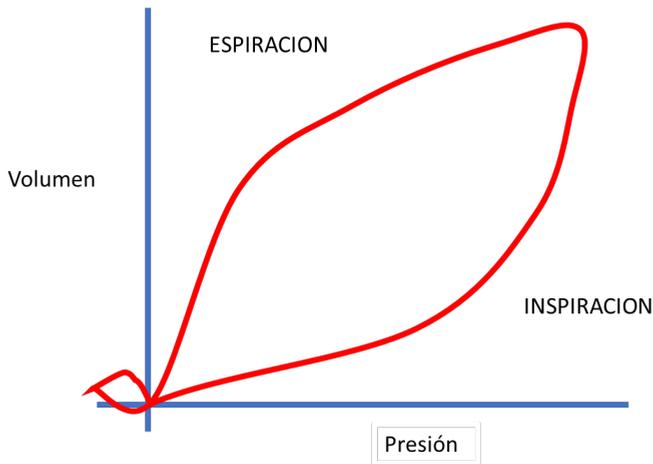
El reconocimiento de los puntos de inflexión permite evitar el atelectrauma que ocurre cuando hay una apertura y colapso constante de las unidades alveolares. Esto se puede minimizar aumentando la PEEP al nivel del punto de inflexión inferior o por encima de esta presión.

Por otra parte, reconocer el volutrauma que ocurre por sobredistensión pulmonar, generalmente se ve cuando la curva presión/volumen adquiere una apariencia de pico a medida que los alveolos se distienden en exceso. Las estrategias de ventilación con protección pulmonar recomiendan que la PEEP se mantenga en el nivel del punto de inflexión inferior o por encima del mismo para evitar atelectrauma y que la PIM se mantenga por debajo del nivel del punto de inflexión superior para evitar volutrauma, y tener en cuenta los valores de driving presión.

El esfuerzo del paciente también se puede representar en curvas de presión/volumen. Esto se ve como una desviación en el sentido de las agujas del reloj antes del inicio de la respiración e indica el trabajo respiratorio del paciente como se observa en la ilustración 20.

El tamaño de este bucle indica el trabajo de la respiración del paciente. Una área grande equivale a un mayor trabajo de la respiración. Por otra parte, en bucles podemos detectar si existen respiraciones espontáneas.

**Ilustración 20.** Respiración Espontánea.

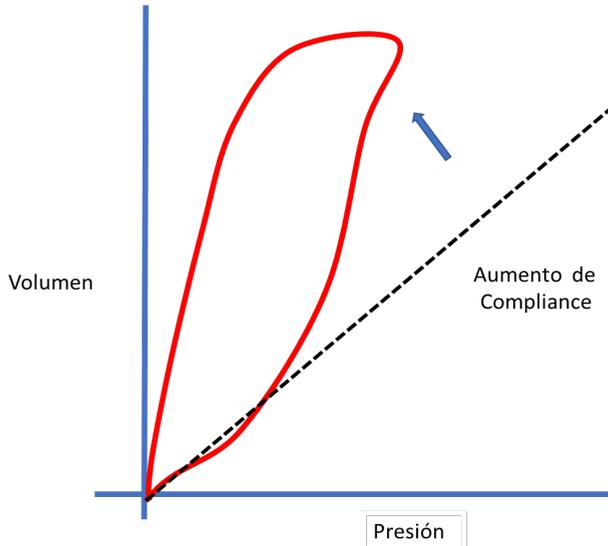


**Fuente:** Waugh, JB, editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Upper Saddle River, N.J., Pearson Prentice Hall, 2007.

Por convección para evaluar la distensibilidad dinámica normal, se debe identificar el punto de inspiración final, de modo que al trazar una línea hasta el punto de inicio de la inspiración se encuentre aproximadamente a 45° del eje horizontal. Un aumento en la distensibilidad del sistema respiratorio provoca un cambio a la izquierda de la línea de 45° (se necesita menor presión para administrar un mayor volumen corriente). ver ilustración 21.

Los pacientes con enfisema suelen tener bucles P/V anchos y un desplazamiento a la izquierda. El ensanchamiento del asa es causado por la resistencia de las vías respiratorias. Los cambios en la distensibilidad no necesariamente se acompañan de cambios en la resistencia. Los aumentos de la distensibilidad a menudo son graduales, excepto en circunstancias como, la administración de terapia con surfactante en recién nacidos.

**Ilustración 21.** Aumento de la Compliance.

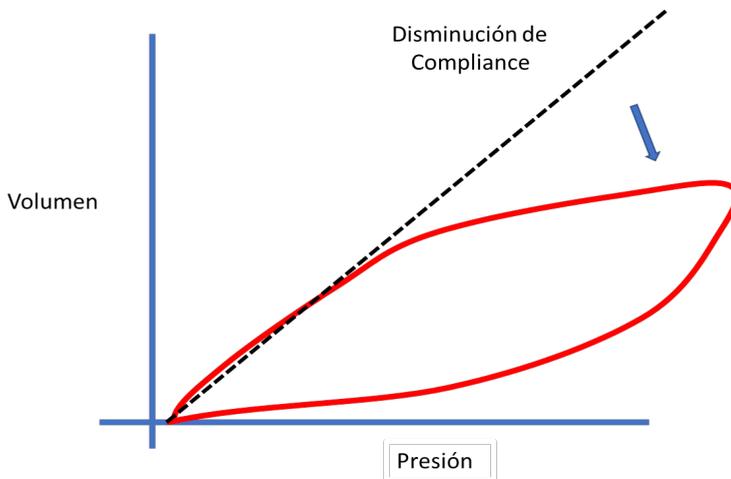


**Fuente:** Waugh, JB, editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Upper Saddle River, N.J., Pearson Prentice Hall, 2007.

Por otra parte, una disminución en la compliance provoca un desplazamiento hacia la derecha en el bucle como se indica en la ilustración 22 (se necesita mayor presión para administrar menos volumen). Las variaciones de este patrón son típicas en las etapas del Síndrome de Distrés Respiratorio Adulto (SDRA).

La disminución de la distensibilidad ocurre gradualmente, a medida que progresa la enfermedad pulmonar, o puede darse de forma repentina, como en el caso de obstrucción de las vías aéreas grandes debido a tapones de moco, obstrucción del tubo endotraqueal, tubo orotraqueal selectivo, y neumotórax a tensión.

**Ilustración 22.** Disminución de la Compliance.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

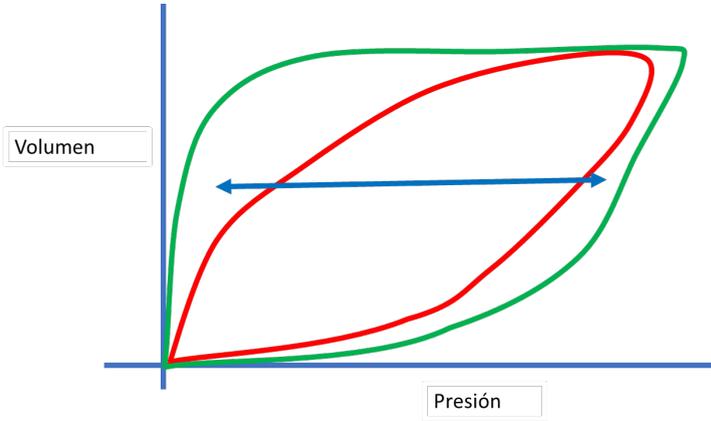
Los cambios en la resistencia de las vías respiratorias hacen que el área del bucle P-V aumente su distancia horizontal, estos cambios son el resultado de la histéresis, un retraso en los cambios de volumen en relación con la tasa de cambio de presión debido al aumento de la resistencia de las vías respiratorias.

Observe que el bucle línea verde (ilustración 23) más ancho tiene una presión máxima mayor y un volumen máximo ligeramente más bajo que el bucle rojo. El ventilador debe aplicar más presión para mover menos volumen, lo que puede provocar una disminución en la eficiencia ventilatoria.

El ligero desplazamiento hacia la derecha indica que existe resistencia, está conllevando a una disminución de la distensibilidad. El rango normal de resistencia de las vías respiratorias para un paciente intubado es de (5 cmH<sub>2</sub>O/L/seg) es ligeramente mayor que para un paciente no intubado.

Se debe tener una experiencia para identificar una mayor resistencia de las vías respiratorias simplemente observando los bucles P/V. A menos que la histéresis sea profunda o se superpongan dos bucles para compararlos, es importante revisar los bucles F/V y P/V. Para detectar cambios en la resistencia de las vías respiratorias.

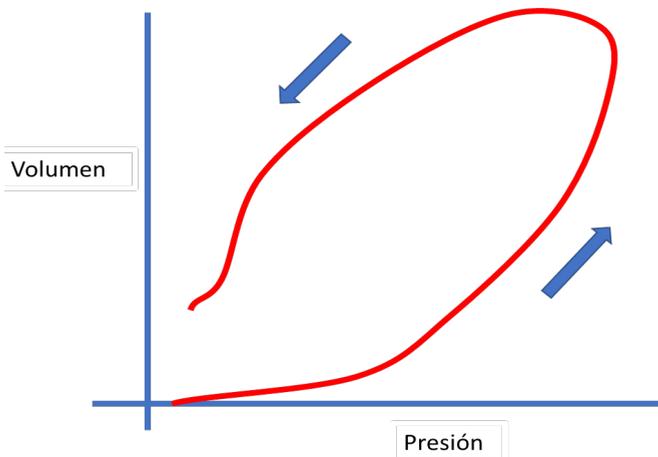
**Ilustración 23.** Aumento de la Resistencia en la Vía Aérea.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

Las fugas en el circuito también pueden ser detectados a través de los bucles de presión-volumen ya que la expiración no termina en línea de base, como lo muestra la ilustración, un bucle incompleto. En la siguiente ilustración presenta la visualización de fuga.

**Ilustración 24.** Fuga Bucle Presión-Volumen.



**Fuente:** elaboración propia basado en Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

## Trabajo Respiratorio

La medición del trabajo respiratorio o work of breathing (WOB) es útil para evaluar la eficacia del esfuerzo de la respiración del paciente y guiar el proceso de destete del ventilador. Por otra parte, permite la optimización de la ventilación para ayudar al paciente a iniciar los esfuerzos espontáneos.

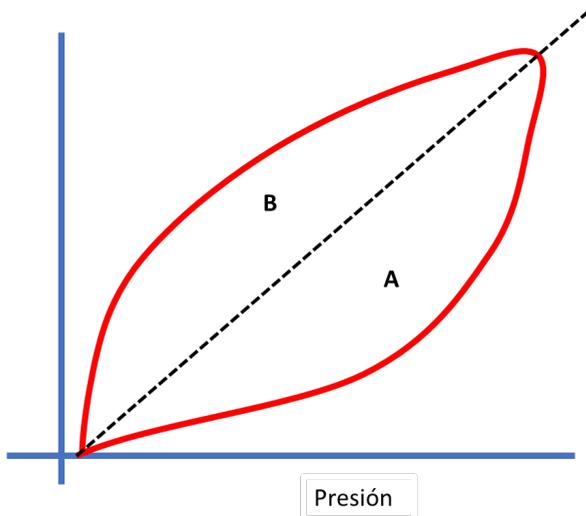
El WOB puede ser monitorizado y medido a través de la monitorización de la presión esofágica (Pes), que mide las presiones intrapleurales con mayor precisión. Actualmente ningún estudio ha demostrado qué método es mejor para medir el esfuerzo del paciente y predecir con precisión el éxito del destete de la ventilación mecánica(15).

El uso del WOB se puede complementar midiendo el índice de respiración superficial rápida (RSBI = RR (lpm) / V T (Litros) para ayudar con las predicciones de éxito del destete.

Los componentes WOB para una respiración de presión positiva están dados por (trabajo resistivo y trabajo elástico) los cuales puede ser realizado por el paciente, el ventilador o por ambos. En la ilustración 26 se muestra el bucle, la parte no sombreada del bucle P/V marcada con A representa el WOB debido a la superación de la resistencia de las vías respiratorias. El área con la etiqueta B representa el WOB requerido para estirar durante la inspiración el tejido pulmonar elástico. La unión de estas áreas A y B representan el trabajo mecánico total realizado durante la respiración.

El trabajo respiratorio normalmente se expresa como una integral, donde WOB es igual al área bajo la curva de presión, que cambia a medida que el volumen inicia de cero a su pico en la inspiración. Cuanto mayor es el área comprendida entre A y B, mayor es el WOB. En los monitores de pantalla gráficas de los ventiladores sólo se muestra el trabajo mecánico medido en la apertura de las vías respiratorias (el conector del tubo endotraqueal). Este método es preciso solo si el paciente no tiene ningún esfuerzo ventilatorio, es decir, si se encuentra con bloqueantes musculares o no tiene ningún esfuerzo respiratorio.

**Ilustración 25.** Gráfica de Trabajo Respiratorio.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

### **Utilidad Clínica**

- Presencia de sobre distensión pulmonar
- Presencia de agua en el circuito
- Identificar puntos de inflexión superior o inferior
- Indicación medición de PEEP optimo, sin embargo, la utilidad es limitada para determinar el valor de PEEP.
- Evidenciar cambios en la distensibilidad pulmonar (en el caso de recién nacidos, con administración de surfactante pulmonar)
- Advierte la presencia de secreciones en la vía aérea .

### **Bucles Flujo Volumen**

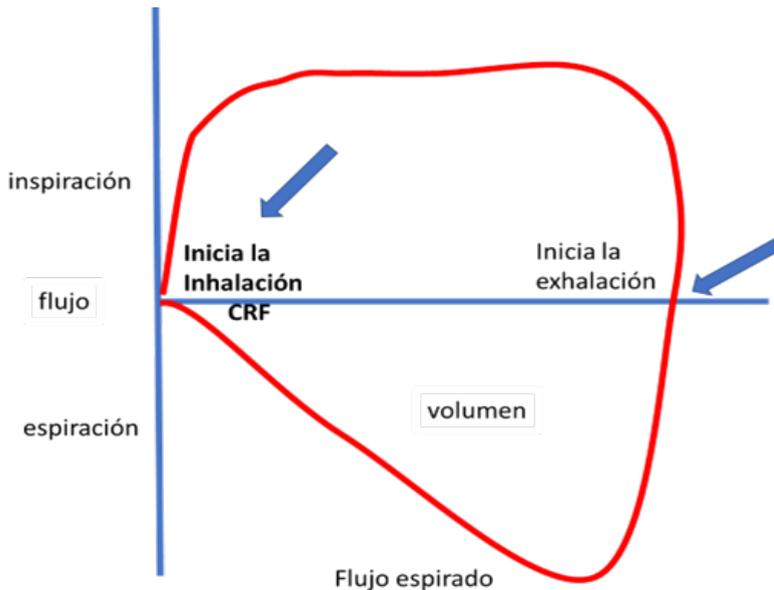
Este bucle se registra durante la ventilación mecánica, difiere de las otras curvas ya que en esta no representan esfuerzos espontáneos como lo hacen las respiraciones espontaneas Presión, Flujo ,Tiempo. En la ilustración 27, se representa el bucle el eje vertical representa el volumen (universalmente en

litros por segundo) y el eje horizontal representa el flujo (generalmente en litros para adultos y mililitros para niños). La porción inspiratoria del bucle se observa arriba del eje horizontal y la porción espiratoria está por debajo. Esta orientación puede estar invertida dependiendo de la marca del equipo del ventilador mecánico.

Normalmente, la transición de la inspiración a la espiración se produce cuando el caudal llega a cero. La forma de la curva inspiratoria reflejará el patrón de flujo establecido en el ventilador, que en este caso es una onda constante o cuadrada. El punto más alto sobre el eje X representa el pico o tasa de flujo espiratorio máximo (PEFR) durante una exhalación pasiva.

La forma de esta curva espiratoria pasiva estará influenciada por cualquier factor que pueda causar la obstrucción de las vías respiratorias. En la siguiente ilustración se muestra los componentes que de la gráfica flujo/ volumen (F/V)

**Ilustración 26.** Componentes Bucle Flujo/Volumen.

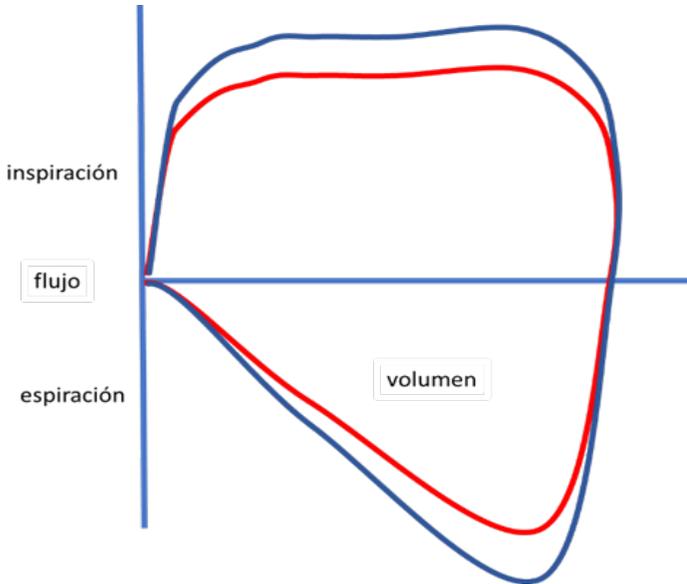


**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

Del mismo modo, la línea roja en la anterior ilustración presenta un patrón sinusoidal, la forma puede verse alterada debido a los cambios en la mecánica respiratoria del paciente, así como también, en la configuración del ventilador, el estado del circuito y la forma en que el ventilador genera la respiración.

En consecuencia, las tasas de flujo máximo en la inspiración, difiere con respecto a la espiración generando una curva con morfología diferente en la exhalación, en parte debido a que la exhalación es pasiva, o podría deberse a que el ventilador en particular no entrega el mismo volumen en el ciclo respiratorio alterando la velocidad de flujo espiratorio. En la siguiente ilustración se muestra los cambios del bucle.

**Ilustración 27.** Bucle Flujo/Volumen.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

### Interpretación de los Bucles

Una vez obtenida la información visual y numérica de las curvas y bucles a través del monitor es importante evaluar las alteraciones detectadas, y generar los cambios necesarios de parámetros o realizar las acciones pertinentes que ayuden a evitar lesión pulmonar.

## Valoración Bucles Flujo/Volumen

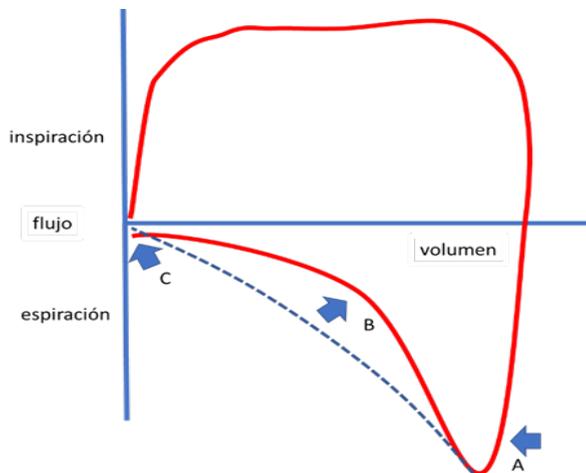
La obstrucción de la vía aérea puede ser ocasionada por varias causas (taponamiento de tubo orotraqueal, por secreciones) lo cual, afecta la vía aérea provocando cambios en los bucles F/V, estas alteraciones en la morfología de los bucles dependerán de la ubicación de la lesión y la gravedad.

En la ilustración 28, se observa la línea discontinua azul que representa el patrón de flujo espiratorio normal para un paciente, las flechas indican una posible desviación de este patrón normal debido a una obstrucción. La mayoría de los tipos de obstrucción de las vías respiratorias reducen el flujo espiratorio máximo. (flecha **a** en la ilustración).

La obstrucción de las vías respiratorias de mediano y pequeño calibre tiende a hacer que el segmento de la curva espiratoria adopte una forma curvilínea (flecha **b** en la Ilustración) que puede ser semejado a un socavón con pala.

Este cambio en la forma de la onda también puede ocurrir cuando existe atrapamiento de aire si, el tiempo espiratorio es insuficiente o si las vías aéreas pequeñas se colapsan prematuramente debido a cambios anatómicos anormales. el atrapamiento de aire se identifica en la ilustración 28. ( La flecha **c**). La parte espiratoria del bucle no vuelve a la línea de base (velocidad de flujo cero) antes del comienzo de la siguiente respiración.

**Ilustración 28.** Interpretación Bucle Flujo/volumen.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

## **Efecto de la Distensibilidad en el Bucle Flujo/Volumen con Presión Positiva**

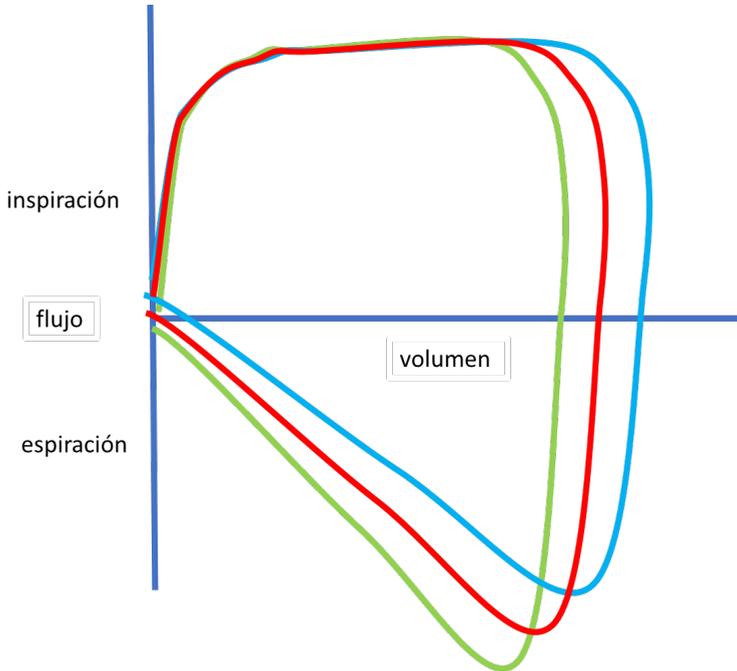
Los cambios que se producen en la distensibilidad pueden ser analizados mejor en los bucles P/V. Sin embargo, pueden ser observados en el bucle F/V. En la siguiente ilustración, se observa un flujo constante, para comprender los cambios de la distensibilidad, la línea roja representa una distensibilidad baja y el azul claro la distensibilidad alta.

El volumen corriente aumenta a medida que aumenta la distensibilidad. Sin embargo, los flujos inspiratorios máximos, permanecen similares pero las tasas de flujo máximo espiratorio disminuyen a medida que disminuye la distensibilidad.

Este patrón está relacionado con el concepto de WOB elástico el cual se trabaja durante la inspiración para extender el tejido elástico en el pulmón y el tórax. Posteriormente la fuerza almacenada se libera debido al retroceso elástico que se libera durante la expiración.

Un aumento en la distensibilidad está asociado con una disminución en el retroceso elástico debido a que existe, menos energía almacenada para ser liberada durante la exhalación por eso, el flujo espiratorio máximo es menor a medida que aumenta la distensibilidad. En la siguiente ilustración se observa los cambios de la compliance en la curva flujo volumen.

**Ilustración 29.** Cambios de Compliance en la Curva Flujo/ Volumen.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

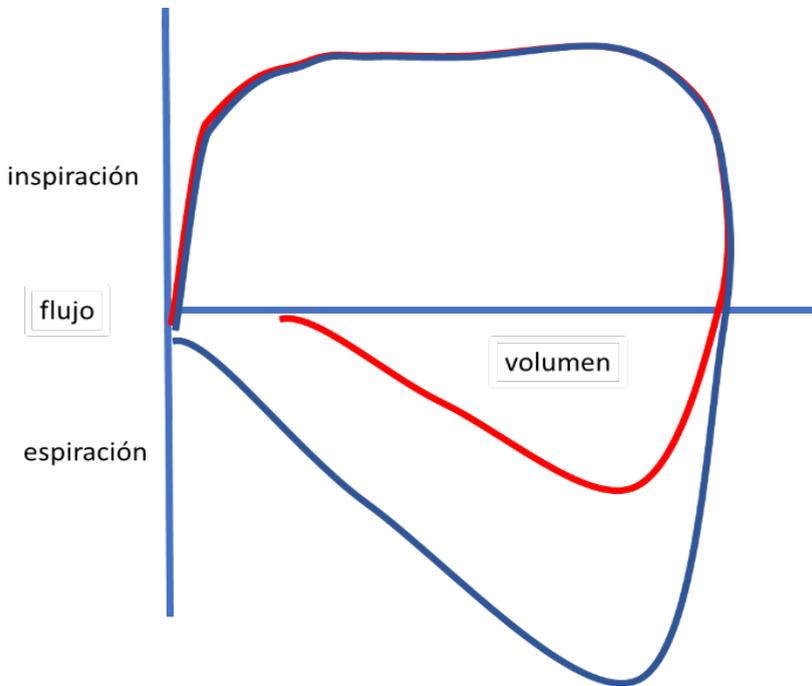
**Nota:** como la línea azul el flujo espiratorio es menor en comparación con la línea roja y verde debido a la mejoría de la compliance pulmonar.

### Valoración de la Resistencia en Flujo/Volumen

Puede ocurrir un aumento de la resistencia de las vías respiratorias durante la inspiración, o en la espiración o en ambas. En la siguiente ilustración se observa el bucle F/V donde se observan dos respiraciones de flujo constante, una con resistencia normal de las vías respiratorias (azul) y la otra con una resistencia aumentada de las vías respiratorias espiratorias (rojo).

Observe la disminución de la tasa de flujo espiratorio máximo. No se visualiza excavación, siendo compatible con la obstrucción de las vías respiratorias grandes. El retorno acortado del bucle indica una pequeña fuga.

**Ilustración 30.** Aumento de la Resistencia Bucle Flujo/Volumen.

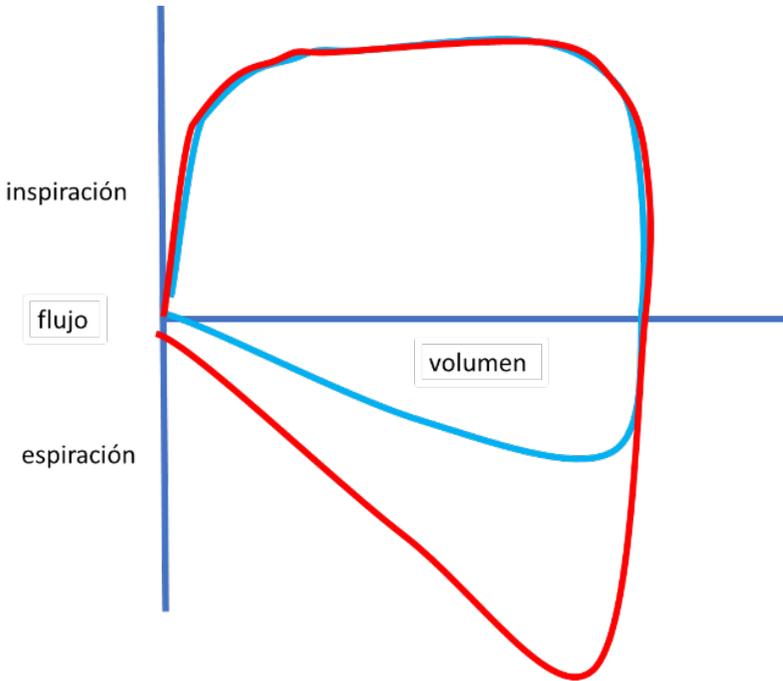


**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

Bucle F/V con mayor resistencia de las vías respiratorias inspiratorias y espiratorias.

La resistencia en la vía aérea tiene una relación con el  $V_t$ , para entender la valoración en la siguiente ilustración se muestran los efectos que se pueden observar, el bucle azul es el resultado de aumentos en la resistencia a lo largo de toda la respiración del ventilador acompañado de un patrón de flujo inspiratorio cuadrado, los únicos cambios con respecto al bucle roja (normal) se producen en la parte espiratoria.

**Ilustración 31.** Resistencia en Inspiración y Expiración.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

### Cambios de la Resistencia a una Compliance Fija

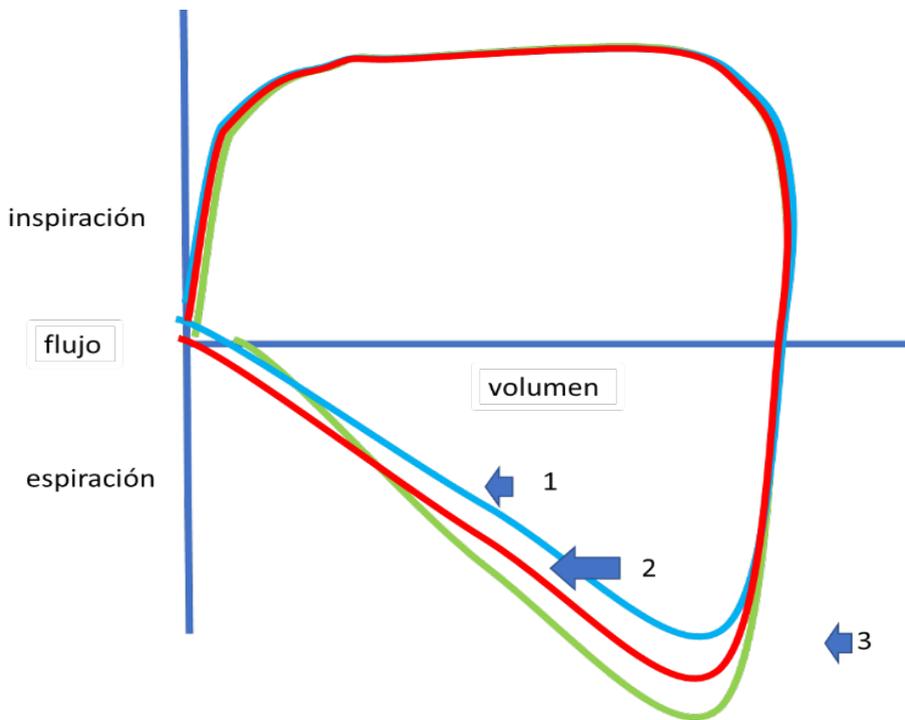
La resistencia en ventilación mecánica puede deberse a factores externos como el tamaño del tubo orotraqueal en el caso de pediatría, o deberse a broncoespasmo, acodamiento del tubo orotraqueal, lo que conlleva a una disminución de entrada de aire al pulmón afectando el volumen corriente y la presión de entrada PIM, consecuentemente, una inadecuada distribución de flujo y aumento de la presión en la vía aérea lo que puede ocasionar lesión pulmonar.

En la ilustración 31, se muestra el cambio de la resistencia de las vías respiratorias con una distensibilidad con rango normal. El bucle 1 representa la condición con la resistencia más alta, el bucle 2 o el 3 representarían lo normal, los tres bucles representan condiciones de resistencia en las vías respiratorias anormalmente alta, aunque el bucle 3 es solo medianamente anormal.

Aunque, a menudo se puede usar un solo bucle F/V para detectar obstrucción debido al aumento de la resistencia de las vías respiratorias, tiene mayor utilidad cuando los bucles se pueden comparar a lo largo del tiempo, o antes y después de un cambio en parámetros del ventilador mecánico o terapia broncodilatadora.

Observe en la ilustración a medida que disminuye el flujo espiratorio máximo, no se produce la exhalación. Esto sugiere que el sitio de obstrucción está en la vía aérea grande.

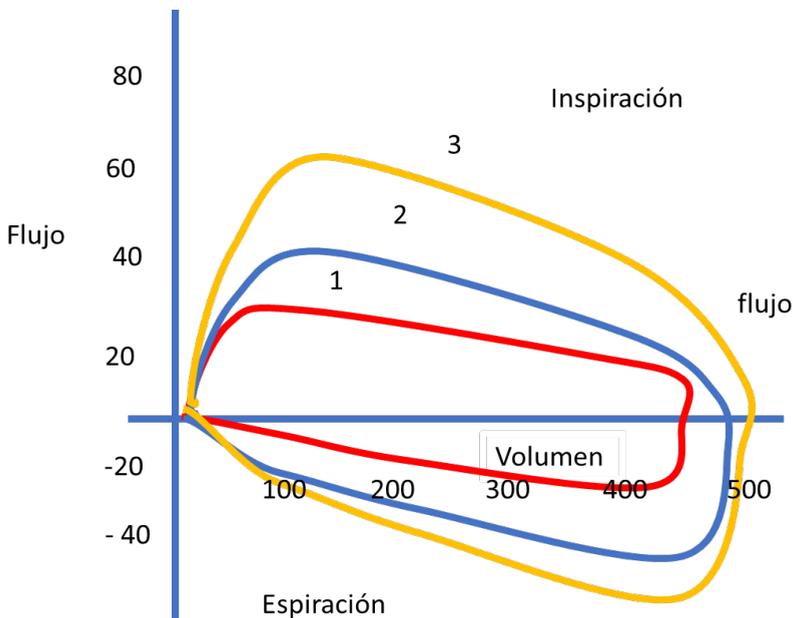
**Ilustración 32.** Resistencia de la Va Aérea.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007, p. 151.

En la siguiente ilustración se muestra los cambios en los bucles F/V como resultado de diferentes combinaciones de resistencia y distensibilidad, en estas ilustraciones, la distensibilidad es normal para cada respiración, la resistencia del circuito disminuye en bucle 1 al bucle 3. Observe el signo de atrapamiento de aire en el bucle 1. Los bucles F/V están restringidos a una forma casi rectangular ya que la presión establecida se alcanza rápidamente debido a la mayor resistencia establecida de las vías respiratorias a medida que la resistencia disminuye, los bucles adoptan el patrón típico de rampa de desaceleración

**Ilustración 33.** Cambios de la Resistencia en Modo Presión.



**Fuente:** propia basado en Waugh JB, editor. *Rapid interpretation of ventilator waveforms*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2007. p. 151.

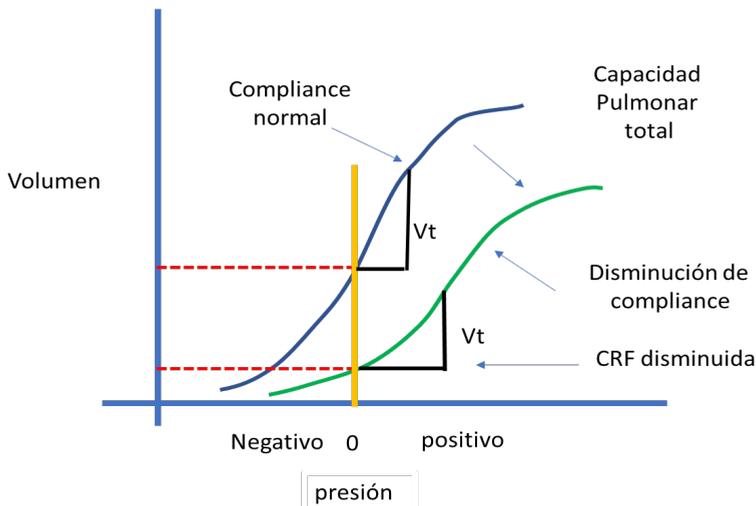
### **Interpretación Bucles Presión/Volumen Respecto al Trabajo Respiratorio (WOB)**

Durante la ventilación mecánica pueden existir alteraciones de la mecánica respiratoria las cuales, pueden ir desde los bronquios hasta vías aéreas terminales. Así mismo, puede haber alteraciones en la caja torácica o en el pulmón que consecuentemente llevan a aumentar el trabajo respiratorio.

En la ilustración 34 se muestran las curvas de distensibilidad con respecto al trabajo respiratorio las cuales varían de acuerdo con la mecánica pulmonar. Una disminución de la CRF altera la eficiencia ventilatoria, en el caso de disminución de la distensibilidad pulmonar y la capacidad residual funcional, la presión requerida para generar cambios en el volumen corriente es casi el doble.

El movilizar este volumen implica realizar mayor WOB durante cada ciclo respiratorio. En la ilustración se observa el trabajo respiratorio durante una respiración, en la curva de la derecha se requiere mayor presión debido a la disminución de la distensibilidad (pendiente de la curva) debido a la disminución de CRF (posición del punto de presión cero en la curva).

**Ilustración 34.** Relación de WOB en los Bucles Presión /Volumen.



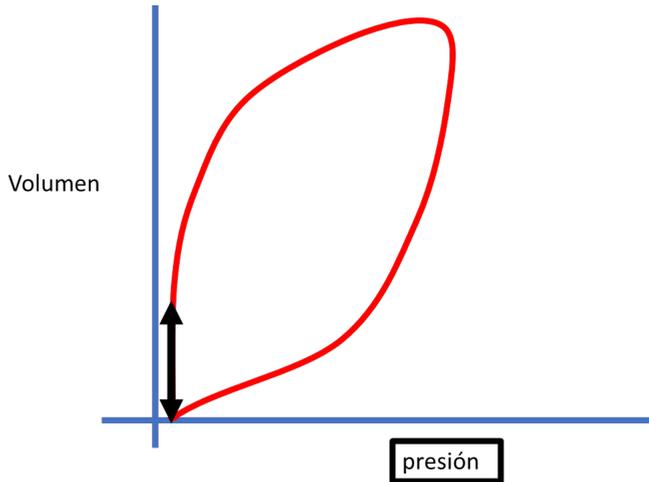
**Fuente:** Waugh JB, editor. Rapid interpretation of ventilator waveforms. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2007. p.151.

## Detección de Fugas en la Curva Presión/Volumen

La pérdida de volumen o fuga de aire durante un ciclo puede ser detectada en los bucles como en las curvas. La pérdida de volumen aparece en la fase espiratoria, es decir, volumen espiratorio. Cuando la fuga ocurre después del transductor de flujo aparecerá como parte del volumen inspiratorio.

En la ilustración 35 se observa como el volumen corriente perdido no se devuelve a través del transductor de flujo, el bucle no se cierra. El espacio indicado por la flecha roja en la ilustración indica una pérdida parcial de volumen durante la espiración, el cual debe ser corregido revisando circuito del respirador, neumotaponador del tubo orotraqueal, o fugas por fistula broncopleurales.

**Ilustración 35.** Fugas en Presión/Volumen.



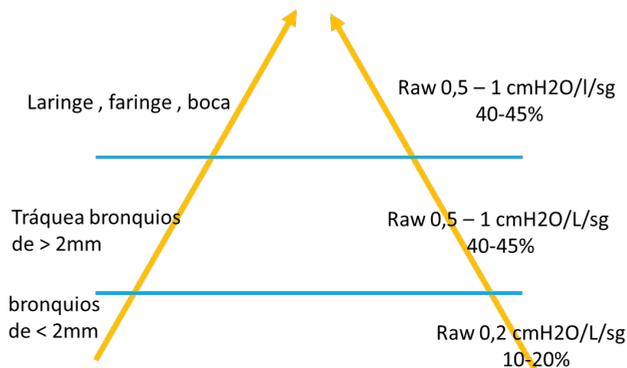
**Fuente:** Waugh JB, editor. *Rapid interpretation of ventilator waveforms*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2007. p. 151.

### Cambios en la Resistencia

La resistencia que ofrece el tubo orotraqueal al paso del gas se determina por la relación entre la presión (diferencia entre las presiones de entrada y salida del tubo orotraqueal) y la velocidad del flujo de gas. Este modelo puede aplicarse al sistema respiratorio el cual, está constituido por un número de tubos y ramificaciones que comprenden las vías aéreas, en el cual la presión motriz será la diferencia entre la presión alveolar y la presión en la boca; esta última es la presión atmosférica, que se considera igual a cero, la resistencia vendrá expresada por la relación entre la presión alveolar y el flujo. La fricción que se produce por el tubo orotraqueal está relacionada con la longitud del tubo, magnitud del flujo y propiedades físicas del gas. Por lo cual es importante identificar el sitio donde se genera el aumento de la presión, para determinar los cambios en el respirador. ver ilustración 37

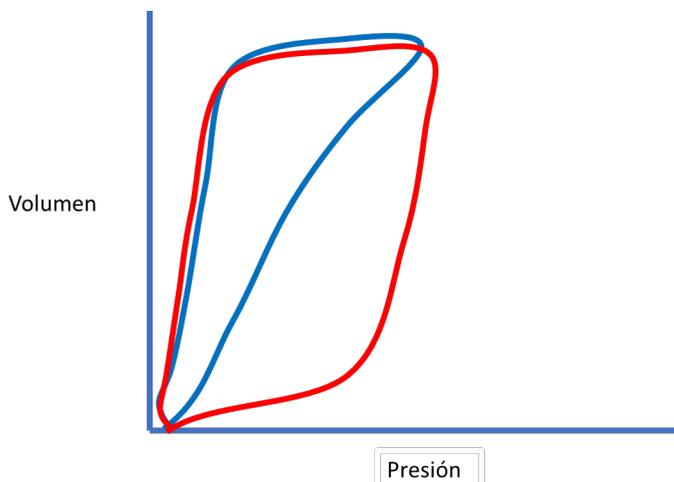
En la siguiente ilustración se presenta la distribución de la resistencia en la vía aérea (16). Un examen físico exhaustivo pulmonar a través de la auscultación del paciente nos orientara a identificar la causa y determinar las posibles soluciones.

**Ilustración 36.** Distribución de la Resistencia.



**Fuente:** Elaboración propia basado en Capote Gil, F., et al. “La resistencia de la vía aérea en las obstrucciones de las vías aéreas superiores.” Archivos de Bronconeumología, vol. 17, no. 6, 1981.

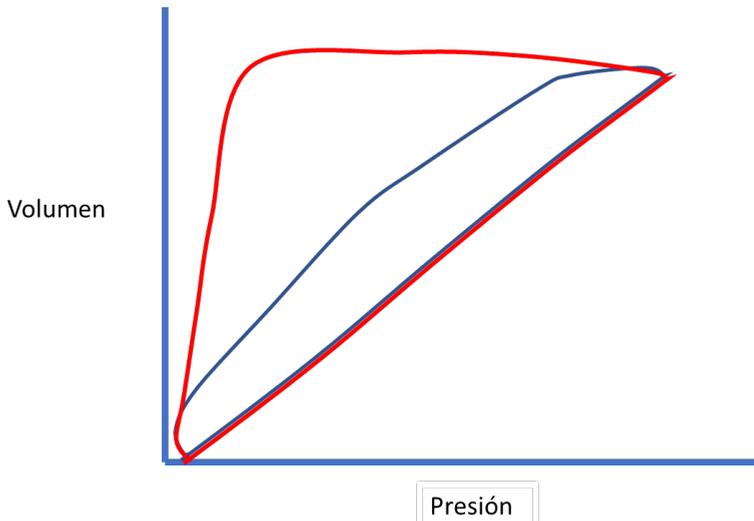
**Ilustración 37.** Valoración de la Resistencia en la Curva Presión /Volumen.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

En la siguiente ilustración se muestra un aumento de la resistencia en la fase espiratoria. Las causas pueden ser debido a enfermedades que lleven al colapso de las vías respiratorias pequeñas en el caso del enfisema, broncomalacia, asma, o la mordedura del tubo orotraqueal por el paciente.

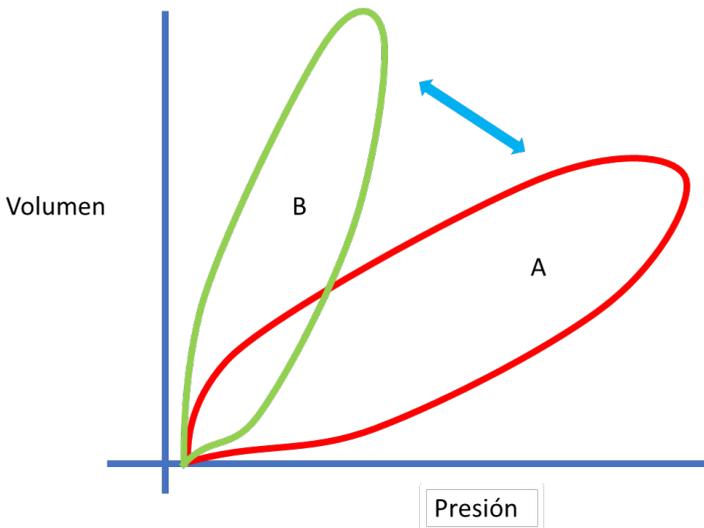
**Ilustración 38.** Aumento de la Resistencia.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

En la siguiente ilustración se evidencia los cambios de la compliance; en **A** se representa disminución de la compliance, donde se evidencia que se requiere mayor presión para mover un menor volumen pulmonar, **B** representa un aumento de la compliance pulmonar debido a una mejoría en la mecánica pulmonar, en el caso de recién nacidos con síndrome de dificultad respiratoria y colocación de surfactante exógeno se puede evidenciar este cambio de manera dramática.

**Ilustración 39.** Aumento y Disminución de la Compliance en Presión/Volumen.



**Fuente:** Waugh, J.B., editor. *Rapid Interpretation of Ventilator Waveforms*. 2nd ed., Pearson Prentice Hall, 2007.

## Bibliografía

1. Gentile MA. “Cycling of the Mechanical Ventilator Breath”. *Respir Care*. 1 de enero de 2011;56(1):52-60.
2. Balcells Ramírez J. “Monitorización de la función respiratoria: curvas de presión, volumen y flujo”. *An Pediatría*. 2003;59(3): 264-77.
3. Dexter AM, Clark K. “Ventilator Graphics: Scalars, Loops, & Secondary Measures”. *Respiratory Care*. Junio de 2020;65(6): 739-59.
4. Rittner F, Döring M. *Curves and Loops in Mechanical Ventilation*. Dräger Medical Incorporated, 2012
5. Chang DW. “Clinical application of mechanical ventilation “[Internet]. 4.a ed. Vol. 1. Delmar Cengage learning; 2014 [citado 18 de marzo de 2022]. 770 p. Disponible en: [https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan\\_c4o0](https://archive.org/details/clinicalapplicat0000chan_c4o0)
6. Emrath E. “The Basics of Ventilator Waveforms”. *Current Pediatrics Reports*. marzo de 2021;9(1): 11-9.

7. Mellema MS. “Ventilator Waveforms”. *Top Companion Anim Med*. agosto de 2013;28(3): 112-23.
8. Walter JM, Corbridge TC, Singer BD. “Invasive Mechanical Ventilation”. *South Med J*. diciembre de 2018;111(12): 746-53.
9. García-Prieto E, Amado-Rodríguez L, Albaiceta GM. “Monitorización de la mecánica respiratoria en el paciente ventilado”. *Med Intensiva*. enero de 2014;38(1): p. 49-55.
10. Pérez M, Mancebo J. “Monitorización de la mecánica ventilatoria”. *Med Intensiva*. diciembre de 2006;30(9): 440-8.
11. Correger E, Murias G, Chacon E, Estruga A, Sales B, Lopez-Aguilar J, et al. «Interpretación de las curvas del respirador en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda». *Med Intensiva*. mayo de 2012;36(4): p. 294-306.
12. Blanch L, Bernabe F, Lucangelo U. “Measurement of Air Trapping, Intrinsic Positive End-Expiratory Pressure, and Dynamic Hyperinflation in Mechanically Ventilated Patients”. *Respir CARE*. 2005;50(1): 15.
13. Bulleri E, Fusi C, Bambi S, Pisani L. *Patient-ventilator asynchronies: types, outcomes and nursing detection skills* [Internet]. Vol. 89. 2018 [citado 18 de febrero de 2022].: <https://doi.org/10.23750/abm.v89i7-S.7737>
14. Waugh JB, editor. *Rapid interpretation of ventilator waveforms*. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall; 2007. 151 p.
15. Leanne Temlett. «Ventilator-Graphics-Leanne-Temlett.pdf» [Internet]. [citado 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://q8c7r2f7.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2021/03/2021-26-March-Ventilator-Graphics-Leanne-Temlett.pdf>
16. Capote Gil F, Castillo Gomez J, Montemayor Rubio T. «La resistencia de la via aerea en las obstrucciones de las vías aéreas superiores». *Arch Bronconeumol*. noviembre de 1981;17(6): p. 277-86.





## CAPÍTULO 2

# Capnografía

### Capnografy

**Gloria Cecilia Silva Gordillo**

Clínica Imbanaco, Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-0019-6579>

✉ [glosilva2001@yahoo.com](mailto:glosilva2001@yahoo.com)

## Resumen

En el siguiente capítulo se abordará la fisiología del CO<sub>2</sub>, la historia de la capnografía, permitiéndonos ver los avances en este tipo de monitora a través del tiempo, así mismo, la definición entre capnografía y capnometría además, conocer los diferentes equipos que existen y las diferencias entre cada uno de ellos, de igual manera, reconocer el tipo de gráfica que produce en cada situación clínica del paciente, lo que permitirá identificar los problemas en el paciente ventilado mecánicamente permitiendo dar soluciones al evento en el paciente. Por otra parte, conocer sus indicaciones y finalmente se abordará estudios relacionados con este tipo de monitoría.

**Palabras claves:** capnografía, dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, EtCO<sub>2</sub>.

## Abstract

In the next chapter, the physiology of CO<sub>2</sub>, the history of capnography, will be addressed, allowing us to see the advances in this type of monitor over time, as well as the definition between capnography and capnometry, in addition, knowing the different equipment that exists and the differences between each of them, in the same way, recognize the type of graph that is produced in each clinical situation of the patient, which will allow identifying

*Cita este capítulo / Cite this chapter*

Silva Gordillo GC. Capnografía. En: Estupiñán Pérez VH, editor científico. Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2024. p. 57-122.

the problems in the mechanically ventilated patient, allowing solutions to the event in the patient. On the other hand, know its indications and finally studies related to this type of monitoring will be addressed.

**Keywords:** capnography, carbon dioxide, CO<sub>2</sub>, EtCO<sub>2</sub>.

## Introducción

La capnografía es una herramienta no invasiva de forma continua valiosa en la monitorización del paciente ventilado, esta se puede complementar con la pulsioximetría, y la monitoria grafica que se encuentra en ventilación mecánica, la capnografía en parte mide la ventilación del paciente a través de CO<sub>2</sub> exhalado, además, refleja el metabolismo del paciente. Aunque también, puede ser utilizada durante la reanimación cardiopulmonar, y durante la intubación orotraqueal permitiendo de manera rápida identificar si el tubo orotraqueal se encuentra en la tráquea. El objetivo de este capítulo es abordar el concepto de capnografía y conocer su utilidad.

### Fisiología del Dióxido de Carbono

La cinética del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tiene un comportamiento unidireccional, que comienza con la producción aeróbica o anaeróbica a nivel tisular, continúa con su transporte a través del flujo sanguíneo y finaliza con su eliminación, principalmente a través de la ventilación alveolar (1). El CO<sub>2</sub> deriva del producto del metabolismo celular y se acumula en el organismo en forma de depósitos. La producción de CO<sub>2</sub> en condiciones basales es de aproximadamente 250 ml/min (1).

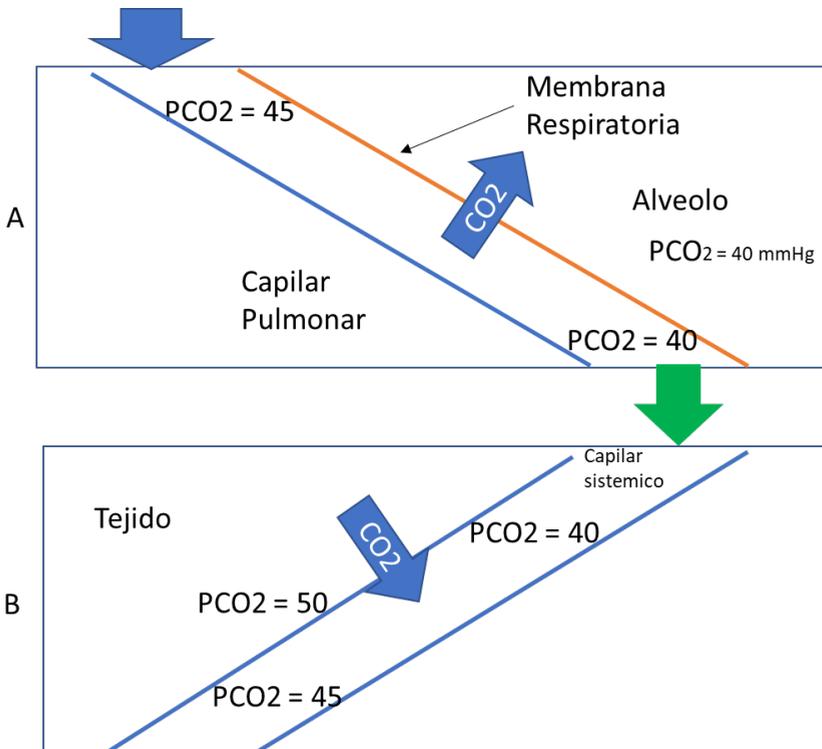
Se difunde de las células a la sangre y se transporta a los pulmones por retorno venoso (esencialmente igual al gasto cardíaco [QT]), y eliminado del pulmón por ventilación minuto (VE). En este modelo, el pulmón es una cámara de mezcla simple y el dióxido de carbono fraccional alveolar (FACO<sub>2</sub>) viene dado por  $FACO_2 = \frac{VCO_2}{\dot{V}A} + FICO_2$ , donde  $\dot{V}CO_2$  es la producción tisular de dióxido de carbono,  $\dot{V}A$  es la ventilación alveolar y FICO<sub>2</sub> es la FCO<sub>2</sub> inspirada.  $\dot{V}A$  es el producto de la frecuencia respiratoria y el volumen corriente espirado (VT). El VT espirado se compone de VT alveolar y espacio muerto fisiológico total (VD<sub>phy</sub>) (2).

La presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial (PaCO<sub>2</sub>) en condiciones normales de circulación y ventilación, es de alrededor de

50 mmHg en tejidos, 45 mmHg en sangre venosa ( $PvCO_2$ ) y 40 mmHg en sangre arterial ( $PaCO_2$ ). La difusión de  $CO_2$  en los alvéolos se produce debido a la diferencia entre  $PvCO_2$  y  $PCO_2$  alveolar ( $PACO_2$ ) como se muestra en la Ilustración 40.

El  $PACO_2$  está regulado por varios factores basados en la ecuación de ventilación alveolar  $PACO_2 = k \times V \cdot CO_2 \times V \cdot A = k \times Q/V \cdot A \times (CV \cdot CO_2 - CCCO_2)$ . Donde  $k$  es constante,  $V \cdot CO_2$  es la excreción de  $CO_2$  (= producción de  $CO_2$  en estado estacionario),  $Q$  es el flujo sanguíneo pulmonar,  $V \cdot A$  es el volumen de ventilación alveolar,  $CV \cdot CO_2$  es la concentración de dióxido de carbono total en la sangre venosa mixta, y  $CCCO_2$  es la concentración de dióxido de carbono total en la etapa final de los vasos capilares pulmonares (3).

**Ilustración 40.** Fisiología del dióxido de carbono.



**Fuente:** Tomado de Pantazopoulos, C., et al. "A Review of Carbon Dioxide Monitoring During Adult Cardiopulmonary Resuscitation." *Heart, Lung and Circulation*, vol. 24, no. 11, 2015, pp. 1053-1061.

Nota: a) Difusión de dióxido de carbono en la membrana respiratoria; b) Difusión de dióxido de carbono en los tejidos.

El dióxido de carbono al final de la espiración es la concentración de dióxido de carbono en el aire exhalado al final de la espiración que se expresa como presión parcial en mmHg ( $PEtCO_2$ ). Se mide mediante capnógrafos y está influenciado por la circulación, la ventilación y el metabolismo. Con un flujo sanguíneo pulmonar y ventilación normales, los niveles de  $EtCO_2$  se aproximan a los niveles de  $PaCO_2$ , es decir, 35-45 mmHg. Si la producción de  $CO_2$  y la ventilación alveolar son constantes,  $EtCO_2$  refleja la circulación sistémica y pulmonar, mientras que una disminución del gasto cardíaco conduce a una disminución de la perfusión pulmonar y  $EtCO_2$ . En el paciente anestesiado e intubado, el gradiente entre  $EtCO_2$  y  $PaCO_2$  es de hasta 6 mmHg; en el paciente despierto, no intubado, el gradiente es de 0-2 mmHg (3).

Durante el funcionamiento normal del cuerpo, el  $CO_2$  alto en los músculos y órganos ayuda a que la hemoglobina libere el oxígeno necesario, conocido como el efecto Bohr, sin embargo, los períodos prolongados de niveles elevados de  $CO_2$  y la acidosis asociada dificultan que la hemoglobina recoja y transporte oxígeno. Esto genera un desplazamiento de la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la derecha.

Por el contrario, si el paciente tiene niveles bajos de  $CO_2$ , debido a la hiperventilación, se aumentará la afinidad por el oxígeno, lo que permite que la hemoglobina tome oxígeno con mayor facilidad. Sin embargo, si el nivel bajo de  $CO_2$  se prolonga, es posible que la hemoglobina no libere el oxígeno a los órganos. Esto se denomina efecto Haldane y se ve como un desplazamiento de la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la izquierda.

En este caso, es posible que tenga una lectura de oximetría de pulso “normal” aunque los órganos no estén recibiendo el oxígeno porque la hemoglobina está saturada de oxígeno, pero este oxígeno permanece “bloqueado” en la hemoglobina. De esta forma la lectura de  $EtCO_2$  ayuda a interpretar mejor la validez y el significado de otros signos vitales como la oximetría de pulso, la presión arterial, entre otros (4).

En conclusión, el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), uno de los productos finales de la respiración, se transporta en el torrente sanguíneo a los pulmones, donde ingresa a los alvéolos y se expulsa de los pulmones durante la espiración. La medición del  $CO_2$  espirado proporciona información sobre el metabolismo, el gasto cardíaco y la ventilación (5).

## Generalidades Básicas de la Capnografía

La capnografía determina la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en los gases exhalados por el paciente mediante muestreo de gas de flujo lateral medido por tecnología infrarroja para detectar  $\text{CO}_2$  (6), esta medición no invasiva de los niveles de  $\text{CO}_2$  en sangre, proporciona información sobre la ventilación (eliminación efectiva del dióxido de carbono [ $\text{CO}_2$ ], la perfusión (transporte de  $\text{CO}_2$  en la vasculatura) y el metabolismo (producción de  $\text{CO}_2$  a través del metabolismo celular) en pacientes intubados y con respiración espontánea (7), aumento en los niveles de  $\text{CO}_2$  denota hipoventilación y son un signo de alerta temprana de hipoxemia posterior (8).

La capnografía es una herramienta no invasiva que es conocida por su versatilidad. Tradicionalmente ha sido utilizado por los médicos anestesiólogos y emergenciólogos para comprobar la colocación del tubo endotraqueal, monitorear la acidosis respiratoria y como medida preventiva para evitar la narcosis de  $\text{CO}_2$  (9). La evaluación continua de la adecuación de la ventilación por capnografía es un estándar para el monitoreo anestésico básico (Aprobado por la Cámara de delegados de la Sociedad Estadounidense de Anestesiólogos) (10), se utiliza para monitorear el flujo sanguíneo sistémico, pulmonar y coronario. Durante la monitorización con capnografía, el gasto cardíaco y el  $\text{CO}_2$  al final de la espiración ( $\text{EtCO}_2$ ) tienen una relación logarítmica. En consecuencia,  $\text{EtCO}_2$  es un indicador sensible del flujo sanguíneo pulmonar (6).

A lo largo de los años, el uso se expandió hacia el estudio del metabolismo, la circulación, la perfusión y difusión pulmonar, la calidad de la respiración espontánea y la permeabilidad de las vías respiratorias fuera de su utilización típica en el campo de la anestesia y la medicina de emergencia (9). En las últimas décadas, la capnografía se ha convertido en un componente esencial para la monitorización del paciente intubado y no intubado; además, la evaluación de la ventilación, la monitorización del  $\text{CO}_2$  exhalado puede proporcionar información valiosa sobre la seguridad del paciente, datos fisiológicos críticos con respecto a la ventilación y la perfusión pulmonar, el gasto cardíaco y la tasa metabólica e influencia y predicción de los resultados de la atención (11).

Clínicamente, capnografía se puede utilizar tanto en enfermedades pulmonares como no pulmonares (9). Los intereses de investigación radican en espectros broncoespásticos como el asma (12, 13), la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (14, 15), la fibrosis quística (16, 17) y la dis-

plasia broncopulmonar (DBP) (18, 19). También se ha usado la capnografía en el diagnóstico de embolia pulmonar (EP) (20, 21).

Para las enfermedades no pulmonares, la capnografía ha sido una herramienta confiable para monitorear varias afecciones (9). Un ejemplo destacado sería el retorno de la circulación espontánea (ROSC), durante una reanimación cardiopulmonar (RCP) eficaz, se ha demostrado que el  $\text{CO}_2$  al final de la espiración se correlaciona con el gasto cardíaco, la presión de perfusión coronaria, la eficacia de la compresión cardíaca, el ROSC e incluso la supervivencia (22). También hay otros usos emergentes de la capnografía como su valor pronóstico en pacientes con insuficiencia cardíaca (23).

La capnografía es una importante tecnología de seguridad del paciente que monitorea la adecuada ventilación en pacientes soportados con ventilación mecánica y en aquellos que reciben medicamentos de sedación o anestesia que pueden deprimir la respiración. La presencia y la cantidad de  $\text{EtCO}_2$  puede también puede ser usado para evaluar la efectividad de la reanimación (5).

## Historia

La capnografía es la monitorización continua y no invasiva de la ventilación que mide el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) exhalado por el paciente. Elam et al, en el año 1955 investigaron sobre la homeostasis del dióxido de carbono durante la anestesia, siendo entre los primeros en informar sobre la capnografía registrada simultáneamente y los perfiles de flujo de la respiración humana. Su trabajo fue publicado en una serie de 4 artículos (I. Instrumentación, II. Muestreo total para determinación de espacio muerto, ventilación alveolar y salida de dióxido de carbono, III. Ventilación y eliminación de dióxido de carbono y IV. Una evaluación del sistema de reinhalación parcial (24-27).

Esa investigación incluyó características normales y anormales del perfil capnográfico y mediciones del espacio muerto y la ventilación alveolar. En 1957, Smalhout, quien es considerado por muchos el padre de la capnografía clínica, comenzó a usar capnógrafos mientras trabajaba en el Hospital Militar Central de Utrecht, Países Bajos. Durante un período de 7 años previo a la publicación de su tesis doctoral en 1967, Smalhout recolectó aproximadamente 6000 capnogramas, que documentaron numerosas variaciones de forma (28).

En 1981, Smalhout y Kalenda publicaron un atlas que ilustraban muchas de las aplicaciones de la capnografía, siendo uno de los primeros estudios documentados  $\text{CO}_2$  exhalado, desde ese momento se ha venido empleando para

monitorizar a pacientes intubados en el entorno hospitalario, primero en Europa y posteriormente en los años 80 en Estados Unidos (29). Desde la década de 1990, la capnografía se ha utilizado para un número cada vez mayor de condiciones clínica, procedimientos y seguimiento.

La American Society of Anesthesiologists (ASA) desde 1991 considera que el estándar de atención en el quirófano es la monitorización conjunta de la capnografía y la pulsioximetría. El American College of Emergency Physicians (ACEP) desde 1995 indica el uso de rutina de la capnografía en el paciente intubado, tanto en el medio hospitalario como extrahospitalario(30).

La American Heart Association (AHA) recomienda su uso desde el año 2000 durante la parada cardiorrespiratoria y el tratamiento cardiovascular urgente, tanto intra como extrahospitalario. Desde el 2002, en Europa la Intensive Care Society considera que la capnografía es un estándar de atención en el transporte del paciente crítico adulto. Desde el 2005, el European Resuscitation Council (ERC) recomienda su uso para verificar la correcta colocación del tubo endotraqueal (TET) durante la parada cardiorrespiratoria (30).

Finalmente, el European Committee for Standardization en el año 2007 elaboró los estándares europeos para las ambulancias terrestres, incluyendo un capnómetro dentro del equipamiento necesario de las ambulancias tipo C (unidades móviles de emergencia o UVI móviles) (30).

Los cambios en la concentración de  $\text{CO}_2$  pueden ayudar a los médicos en una variedad de condiciones, incluida la evaluación de la gravedad de la enfermedad, calidad de la compresión, retorno de la circulación espontánea, colocación del tubo endotraqueal, pronóstico, sedación para procedimientos, enfermedad crítica, entre otros (7).

### **Capnometría Versus Capnografía**

Existe una confusión considerable debido a la terminología inconsistente que se aplica al análisis médico del  $\text{CO}_2$ . Con el fin de evitar errores, es necesario comprender en primer lugar la diferencia entre la capnografía y la capnometría. En un sentido muy general, la capnografía se refiere no solo al método de medición de  $\text{CO}_2$ , sino también a su visualización gráfica en función del tiempo o el volumen. Sin embargo, la capnometría se refiere a la medición y cuantificación de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  inhalado o exhalado en la apertura de las vías respiratorias (2). En conclusión, la capnografía produce una curva gráfica del  $\text{CO}_2$  al final de la espiración, mientras que la capnometría proporciona una representación numérica de esta concentración (31).

## Tipos de Capnografía

Se han desarrollado distintos métodos de medida del  $\text{CO}_2$  exhalado que difieren en la forma de medirlo. La medición de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  respecto al tiempo se conoce como “capnografía temporal” y La monitorización del volumen espirado conoce como “capnografía volumétrica (respectivamente, Ilustración 42 A y B) (30, 32).

La capnografía basada en volumen proporciona información similar a la capnografía de tiempo, pero traza presión espirada mixta de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{eCO}_2}$ ) contra el volumen corriente exhalado ( $V_T$ ), lo que permite un cálculo más preciso de la producción de medir el espacio muerto ( $V_D$ ) y  $\text{CO}_2$  (11,33), pero requiere medir el flujo instantáneamente; esto conlleva un mayor costo, un sensor convencional y más complejidad, lo que impide su uso generalizado en el monitoreo rutinario en la unidad de cuidados intensivos, aunque actualmente está disponible en algunos ventiladores comerciales y como monitores independientes (32, 33). El análisis de las fases del capnograma volumétrico, la forma y la morfología de la curva, y las mediciones basadas en cálculos del capnograma volumétrico pueden revelar información importante con respecto a la eficiencia de la ventilación y la perfusión, la fracción fisiológica del espacio muerto y la tasa metabólica del paciente (11).

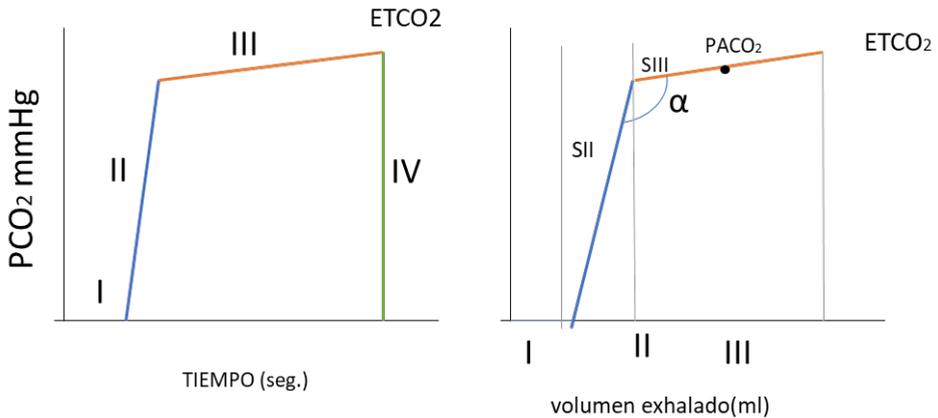
La capnografía volumétrica integra el  $\text{CO}_2$  al volumen del gas espirado, permitiendo así obtener el registro de diversas variables fisiológicas como las relacionadas a la ventilación y perfusión alveolar, que al ser incorporados a la práctica clínica en la atención de los pacientes con insuficiencia respiratoria permite un monitoreo sin precedentes mediante su uso en la programación personalizada del ventilador mecánico y en la estratificación de riesgos. Cuando se utiliza en todo su potencial, la capnografía volumétrica proporciona una gran cantidad de información sobre el metabolismo, fisiología respiratoria y cardiovascular (1).

Sin embargo, su uso adecuado exige que el personal disponga de conocimientos fisiológicos sobre la cinética del  $\text{CO}_2$ , especialmente en la relación  $V/Q$ , este familiarizado con los conceptos de espacio muerto fisiológico, alveolar y anatómico; ya que los resultados obtenidos, se encuentran influenciados por múltiples variables relacionados con el metabolismo celular y gasto cardíaco, evitando así interpretaciones erróneas de los resultados que conduzcan a estrategias ventilatorias potencialmente nefastas para los pacientes (1).

Por otro lado, la capnografía de tiempo está fácilmente disponible en la mayoría de las UCI, pero no tiene en cuenta los flujos espiratorios (32). La capnografía de tiempo se usa más comúnmente en la práctica clínica. Un capnograma de tiempo tiene dos segmentos importantes: inspiratorio (fase 0) y espiratorio. El segmento espiratorio se divide además en tres fases (I, II, III) y una fase IV ocasional (Ilustración 41, Tabla 6), basado en la fisiología de la evolución del dióxido de carbono de los pulmones y las vías respiratorias (34).

El capnograma de volumen presenta concentración de  $\text{CO}_2$  en relación con el volumen caducado y se divide en 3 fases similares (carente de una fase IV ya que no se traza la inspiración; Ilustración 42B). La Fase I se refiere al vaciado del espacio muerto anatómico. La fase II refleja la transición del espacio muerto de las vías respiratorias a los alvéolos proximales, mientras que la fase III se refiere al vaciado alveolar. La importancia de las formas de estas tres fases es similar a las de la capnografía temporal, pero la pendiente de la fase III es más pronunciada porque el flujo espiratorio cae exponencialmente a lo largo de la espiración (32).

**Ilustración 41.** Capnografía de Tiempo y Volumen.



**Fuente:** Tomado de Nassar, B. S., and Schmidt, G. A. “Capnography During Critical Illness.” *Chest*, vol. 149, no. 2, 2016, p. 576-585.

La principal diferencia entre la capnografía convencional y volumétrica, es que esta última permite medir el volumen de  $\text{CO}_2$  espirado por respiración ( $\text{VTCO}_2$  br) o por minuto ( $\text{VCO}_2$ ), conllevando así a una serie de cálculos matemáticos que permiten estimar el espacio muerto y la ventilación alveo-

lar en forma dinámica y no invasiva (1). El espacio muerto es un componente importante de las anomalías de ventilación-perfusión.

La medición del espacio muerto tiene aplicaciones diagnósticas, pronósticas y terapéuticas. En la unidad de cuidados intensivos, la medición del espacio muerto se puede utilizar para guiar el tratamiento de los pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA); en el servicio de urgencias puede orientar la terapia trombolítica para la embolia pulmonar; en pacientes perioperatorios puede indicar el éxito de las maniobras de reclutamiento (35).

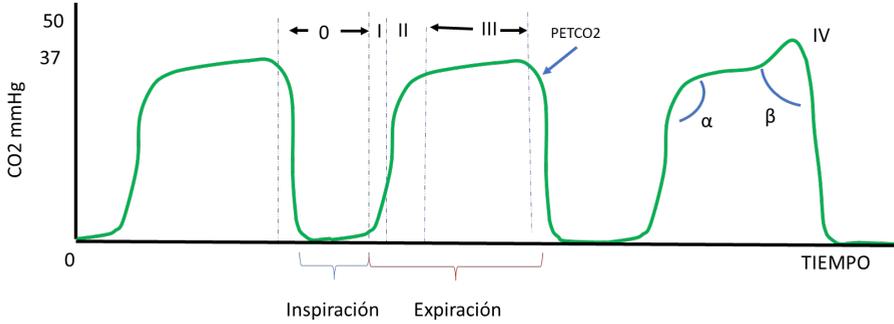
La medición del espacio muerto podría potencialmente proporcionar un parámetro para que los médicos sigan en las fases tempranas (dentro de las 24 horas) o intermedias (dentro de una semana) del SDRA. Su monitorización puede ayudar a determinar el mejor nivel de presión positiva al final de la espiración (PEEP) evaluando la sobredistensión y colapso alveolar (35).

### Capnograma

El capnómetro produce un capnograma que muestra la forma de onda gráfica continua de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  a lo largo del tiempo (36). El valor adicional de monitoreo clínico de la capnografía es la capacidad de interpretar visualmente la forma de onda y la morfología del capnograma (11). La Ilustración 42 muestra un perfil típico de concentración de  $\text{CO}_2$  para tres respiraciones en función del tiempo. El capnograma consta de dos componentes principales, inspiratorio y espiratorio, que se pueden dividir en cuatro fases diferentes (Tabla 6) (37).

La interpretación requiere la consideración de tres aspectos de la capnografía: el número máximo o meseta de  $\text{EtCO}_2$ , la forma del capnograma y la diferencia o gradiente entre  $\text{EtCO}_2$  y la presión arterial de  $\text{CO}_2$  (7). Los cambios en la forma del capnograma son diagnósticos de las condiciones de la enfermedad, mientras que los cambios en el  $\text{CO}_2$  espiratorio final ( $\text{EtCO}_2$ ) se pueden utilizar para evaluar la gravedad de la enfermedad y la respuesta al tratamiento (38).

**Ilustración 42.** Representación del Capnograma para Tres Respiraciones.



**Fuente:** Tomado de Kaczka, D.W., et al. “Respiratory Monitoring.” In: Gropper, M.A., editor. *Miller Anesthesia*, 9th ed., 2021, pp. 1298-1339.

**Nota:** El segmento espiratorio está dividido en fase I, II, III y IV. El segmento inspiratorio se refiere a la fase 0 en la ilustración 42 denota el ángulo entre la fase II y III, mientras denota el ángulo entre la fase III y el brazo descendente de la fase 0. La fase IV (la línea en rayitas en la 3 respiración) denota un ascenso observado al final de la fase III en algunos pacientes. PETCO<sub>2</sub>, Presión parcial end-tidal CO<sub>2</sub>.

Los factores que afectan la capnografía incluyen la producción de CO<sub>2</sub>, el transporte de CO<sub>2</sub>, la ventilación y los cambios en la relación ventilación-perfusión. La configuración y el mal funcionamiento del ventilador, las desconexiones y fugas, la obstrucción de los tubos, el método de muestreo y el sitio, la frecuencia de muestreo y el mal funcionamiento del monitor también pueden afectar las lecturas de capnografía (7). Las patologías pulmonares cambiarán la apariencia del capnógrafo debido a una serie de factores diferentes broncoconstricción y obstrucción del flujo de aire, destrucción de los alvéolos, un aumento en el rango de las constantes de tiempo alveolar (alvéolos que se vacían a diferentes velocidades) y un aumento en / spread (variación del contenido de CO<sub>2</sub> de cada alvéolo). Como resultado, la pendiente de la fase III a menudo aumenta notablemente en la enfermedad respiratoria (37).

Un capnograma normal (Ilustración 43) representa un patrón de onda cuadrada que consta de cuatro fases (Tabla 6), que revela la concentración de CO<sub>2</sub> durante el periodo de respiración (36). Los principales determinantes de EtCO<sub>2</sub> incluyen la ventilación alveolar, la perfusión pulmonar y la producción de CO<sub>2</sub> (39). La medición máxima al final de la fase III es la lectura de EtCO<sub>2</sub>, cuyo valor objetivo es de 35 a 45 mmHg, con una tasa típica de venti-

lación para un adulto que respira espontáneamente de 12 a 20 respiraciones por minuto (10). Las tendencias en el valor, la tasa y el patrón de forma de onda de EtCO<sub>2</sub> deben ser estables para los adultos sanos (36).

**Tabla 6.** Fases de la Capnografía.

Segmento	Fase	Explicación
Inspiración	0	Comienza la inspiración, con la eliminación de CO <sub>2</sub> .
	Ángulo β	Situado entre la fase III y la parte descendente de la inspiración, normalmente 90 grados.
Expiración	I Línea de base inspiratoria	Representa la inspiración y, por lo tanto, no se detecta CO <sub>2</sub> . Consiste en espacio muerto anatómico. No debe contener CO <sub>2</sub> . Debido a que los gases iniciales expirados se originan en el espacio muerto no ventilado, la traza de capnografía permanece en cero. El final de la fase I representa el comienzo de la expiración.
	II Ascenso espiratorio	Representa la expiración tanto del gas del espacio muerto como del gas alveolar de los bronquiolos respiratorios y los alvéolos. Rápido aumento de la concentración de CO <sub>2</sub> a medida que la respiración llega a las vías respiratorias superiores desde los alvéolos. Mezcla de espacio muerto anatómico y alveolar.
	III Meseta alveolar	Representa la expiración de los gases alveolares. La concentración de CO <sub>2</sub> alcanza niveles uniformes en las vías respiratorias - corresponde a la exhalación de CO <sub>2</sub> del aire procedente de los alveolos, observándose un ascenso lento y progresivo hasta alcanzar el punto donde la presión parcial de CO <sub>2</sub> es máxima. La altura y la pendiente de la línea ofrecen información importante sobre las relaciones de ventilación y perfusión en los pulmones. Altura relacionada con el gasto cardíaco. Al final de la fase III, el valor máximo de CO <sub>2</sub> medido es equivalente al EtCO <sub>2</sub> .
	Ángulo α	Situado entre la fase II y III, normalmente a 100 grados.

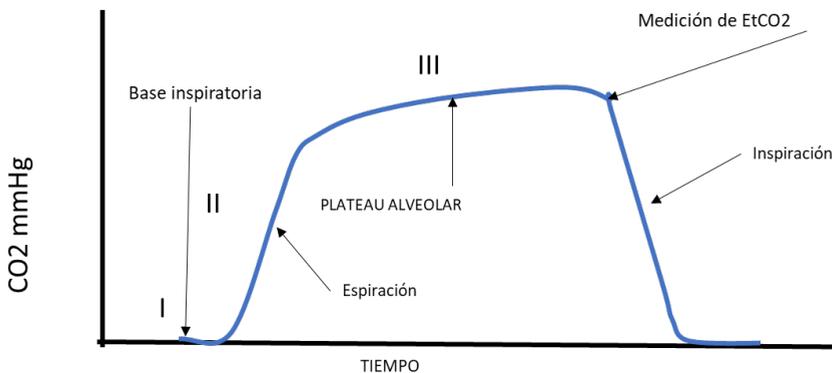
Segmento	Fase	Explicación
Expiración	IV Descenso espiratorio	Representa el comienzo de la siguiente respiración, con el contenido de CO <sub>2</sub> volviendo rápidamente a cero. En la que la presión parcial de CO <sub>2</sub> decrece rápidamente al inicio de la inspiración.

**Fuente:** elaboración propia basada en Long, B., Koyfman, A., & Vivirito, M. A. “Capnography in the Emergency Department: A Review of Uses, Waveforms, and Limitations.” *J Emerg Med*, vol. 53, no. 6, 2017, pp. 829-842; Kerslake, I., & Kelly, F. “Uses of Capnography in the Critical Care Unit.” *BJA Education*, vol. 17, no. 5, 2017, p. 178-183.

Un capnograma, ya sea basado en el tiempo o en el volumen, solo presenta una instantánea. Incluso un gráfico de tendencia de varios minutos no representa más que un breve episodio de una fase la enfermedad del paciente. A menudo se recurre a la capnografía para ayudar al diagnóstico y a la interpretación de un proceso agudo (intubación, embolia, broncoespasmo, ajuste de la ventilación, infusión de bicarbonato, etc.) (40).

El organismo dispone de innumerables mecanismos para compensar las alteraciones. Estos esfuerzos correctivos se superponen y se realizan a diferentes velocidades, algunos tardan unas pocas respiraciones y otros, días en alcanzar un nuevo equilibrio. Pueden afectar al gasto cardíaco, al flujo sanguíneo pulmonar, a la ventilación, al equilibrio ácido-base y a la fisiología renal (40).

**Ilustración 43.** Trazo de capnograma normal.



**Fuente:** Tomado de Huang, C. H., & Wei, K. H. “Applications of Capnography in Airway Management Outside the Operating Room.” *Signa Vitae*, vol. 17, no. 4, 2021, pp. 18-24.

**Nota:** La Fase I es la línea de base inspiratoria, con un bajo nivel de  $\text{CO}_2$  durante la inspiración. La fase II es el golpe ascendente espiratorio. La fase III es la meseta alveolar, que refleja el flujo espiratorio alveolar, que alcanza su punto máximo al final de la espiración corriente ( $\text{EtCO}_2$ ). La fase 0 es el descenso inspiratorio.

## Interpretación de Capnografía

En capnografía la información clínica se puede obtener de tres fuentes: valor numérico de  $\text{PEtCO}_2$ , forma de los capnogramas y la diferencia entre  $\text{PEtCO}_2$  y  $\text{PaCO}_2$ . Los valores numéricos deben utilizarse como herramienta en el diagnóstico diferencial (Tabla 7) y las formas de los capnogramas ofrecen pistas diagnósticas más específicas (34). El valor numérico y la forma del capnógrafo continuo proporcionan información importante sobre la producción de  $\text{CO}_2$ , la perfusión pulmonar, la ventilación alveolar y el mal funcionamiento del equipo, lo que permite un diagnóstico temprano y la intervención de anomalías inminentes. El valor numérico es una estimación de  $\text{PaCO}_2$ , el único indicador de adecuada ventilación. La curva de capnografía que se usa para supervisar la perfusión de órganos debido a la relación directamente proporcional entre  $\text{EtCO}_2$  y el gasto cardíaco (6). Solo la forma de capnografía normal tiene un patrón de onda cuadrada y, por lo tanto, cualquier variación debida a anomalías se puede descifrar al comprender cómo se forma cada componente de la traza (41).

Es difícil utilizar la capnografía como herramienta de diagnóstico por sí sola. Sin embargo, si los cambios en  $\text{PEtCO}_2$  y las formas de onda del dióxido de carbono se utilizan junto con los datos de frecuencia cardíaca, presión arterial, flujo respiratorio, presión de inflación pulmonar y volumen por minuto, se puede mejorar la precisión diagnóstica de la capnografía (34).

**Tabla 7.** Diagnostico Diferencial de Valores de  $PEtCO_2$   
Crecientes o Decrecientes.

<b>Causas de una <math>PEtCO_2</math> anormal</b>	<b>Aumento de la <math>PEtCO_2</math></b>	<b>Disminución de la <math>PEtCO_2</math></b>
Metabolismo	Recuperación de la anestesia (escalofríos) Hipertermia Neurolepticos Síndrome maligno Crisis tirotóxica Sepsis grave	Hipotermia Acidosis metabólica
Circulatorio	Liberación del torniquete Insuflación de dióxido de carbono Laparoscopia Tratamiento de la acidosis	Inducción de la anestesia Embolia pulmonar Hipovolemia profunda Shock cardiogénico Shock hemorrágico Derivación intracardiaca
Respiratorio	Hipoventilación Asma	Edema pulmonar Derivación intrapulmonar Hiperventilación
Técnica	Absorbedor de dióxido de carbono agotado Contaminación del monitor	Desconexión Obstrucción en tubos

**Fuente:** Kodali, Bhavani S. "Capnography Outside the Operating Rooms." *Anesthesiology*, vol. 118, no. 1, 2013, pp. 192-201.

La evaluación de la forma de onda y el valor de la capnografía puede ser sencilla. La evaluación de la forma de onda incluye la altura, la frecuencia, el ritmo, la línea base y la forma, las condiciones para tener en cuenta al disminuir o aumentar los niveles de  $EtCO_2$  se mencionaron en la Tabla 7 (7). Es recomendable usar un algoritmo o proceso sistemático para el análisis. Esto se puede dividir en varios pasos (39):

1. Buscar la presencia de CO<sub>2</sub> exhalado (¿Hay una forma de onda presente?).
2. Establecer la línea de base inspiratoria (¿Hay reinhalación?)
3. Identificar (¿Cuál es la forma, es decir, empinada, inclinada o prolongada?)
4. Meseta respiratoria/alveolar (¿Es inclinada, empinada o prolongada?)
5. El trazo inspiratorio (es inclinado, empinado o prolongado)

Los cambios dentro de los componentes se pueden utilizar para determinar la gestión adecuada, ya sea relacionada con el paciente o debido a un mal funcionamiento del equipo. Las anomalías que afectan los componentes de la capnografía se resumen en la Tabla 8. Un aumento en la línea de base durante la fase I, también mostrado como un aumento numérico en el CO<sub>2</sub> inspirado, implica reinhalación causada por un tiempo espiratorio insuficiente, un flujo inspiratorio inadecuado, una válvula espiratoria defectuosa o el agotamiento del absorbedor de CO<sub>2</sub>. Una reducción en la pendiente del golpe ascendente espiratorio demuestra una obstrucción al flujo espiratorio que puede deberse a obstrucción del tubo endotraqueal, torcedura o broncoespasmo. Un cambio en la tendencia de la altura del capnógrafo se correlaciona con la adecuación de la ventilación alveolar, la producción de CO<sub>2</sub> y los cambios de ventilación/perfusión relacionados con la anestesia.

Un aumento consecutivo de la altura es uno de los primeros indicadores de hipertermia maligna debido a la producción metabólica anormalmente alta de CO<sub>2</sub>. Un cambio en el ritmo refleja la insuficiencia de la relajación muscular a medida que regresa el movimiento diafragmático y, finalmente, múltiples cambios en el patrón de ventilación, la frecuencia y el volumen corriente pueden afectar la forma de la señal debido al cambio en el espacio muerto. A medida que aumenta la tasa respiratoria y disminuye el tamaño del volumen corriente, como se ve en los bebés pequeños y niños, los aumentos resultantes en el espacio muerto reducen la eficiencia de la eliminación de CO<sub>2</sub>. Esto se estima mejor utilizando capnografía volumétrica para luego impulsar la estrategia de ventilación, pero esta técnica no se utiliza en los entornos de anestesia actuales (41).

**Tabla 8.** Anomalías que Afectan a los Componentes de la Forma de Onda del Capnógrafo.

<b>Anomalía</b>	<b>Aumento de la línea de base</b>	<b>Altura de la meseta</b>	<b>Reducción de la pendiente ascendente de la fase II</b>	<b>Cambio de ritmo</b>
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinalación</li> <li>• Absorbedor de CO2 agotado</li> <li>• Válvula defectuosa</li> <li>• Flujo inspiratorio inadecuado</li> <li>• Tiempo espiratorio insuficiente</li> </ul>	<p>Ausente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tiempo de respuesta largo</li> <li>• tiempo de caducidad demasiado corto</li> </ul> <p>Irregular</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• relajante muscular que desaparece</li> </ul>	<p>Tubo orotraqueal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torcedura / Obstrucción</li> <li>• Extubación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconexión</li> <li>• Mal funcionamiento del ventilador</li> <li>• Extubación</li> </ul>
<b>Producción de CO2</b>		<p>Aumento de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipertermia maligna</li> </ul> <p>Disminución de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intubación esofágica</li> <li>• Hipotermia</li> <li>• Fuga del manguito</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sepsis</li> </ul>
<b>Ventilación alveolar</b>		<p>Aumento de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipoventilación</li> </ul> <p>Disminución de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hiperventilación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prematuridad</li> <li>• Síndrome de dificultad respiratoria</li> <li>• Broncoespasmo</li> </ul>	
<b>Perfusión pulmonar</b>		<p>Aumentar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ROSC tras la parada cardíaca</li> <li>• Hipertensión</li> </ul> <p>Disminuye</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipotensión</li> <li>• Embolia pulmonar</li> <li>• Reducción del gasto cardíaco</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidosis metabólica</li> </ul>

**Fuente:** Traducido de Humphreys, S., Schibler, A., & von Ungern-Sternberg, B. S. "Carbon Dioxide Monitoring in Children-A Narrative Review of Physiology, Value, and Pitfalls in Clinical Practice." *Paediatr Anaesth*, vol. 31, no. 8, 2021, p. 839-845.

El gradiente  $\text{PaCO}_2\text{-PEtCO}_2$ , un sustituto del espacio muerto fisiológico es valioso para evaluar la relación  $V/Q$ . Un gradiente cambiante denota hemodinámica circulatoria inestable o ventilación alveolar variable como resultado de cambios dinámicos en el cumplimiento o la resistencia en los pulmones. Si el gradiente se estabiliza en el transcurso del tratamiento clínico, se puede conjeturar que se ha logrado la estabilidad de la ventilación alveolar y la perfusión (34).

El valor de  $\text{EtCO}_2$  en pulmones normales es aproximadamente de 2 a 5 mm Hg menor que la  $\text{PaCO}_2$ . Si los pulmones están enfermos con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, esta diferencia puede ser mucho mayor, ya que hay un desajuste de perfusión de ventilación ( $V/Q$ ) en los pulmones. El capnograma normal para un paciente con pulmones normales es una forma de onda casi cuadrada que sigue la frecuencia respiratoria. Los pacientes con asma y los pacientes con bronquitis que tienen dificultad con la espiración mostrarán una onda ascendente aplanada (5).

La hipoventilación o la respiración superficial pueden causar una disminución de la  $\text{EtCO}_2$ , ya que tal vez solo haya ventilación del espacio muerto si es grave, pero cuando se produce una respiración profunda, se observará una  $\text{EtCO}_2$  alta. Otras causas de un  $\text{EtCO}_2$  alto son la hipoventilación, la fiebre y la liberación de un torniquete, mientras que un  $\text{EtCO}_2$  bajo puede reflejar hiperventilación, gasto cardíaco bajo, hipotensión, embolia pulmonar o paro cardíaco (5).

### **Limitaciones de la Capnografía**

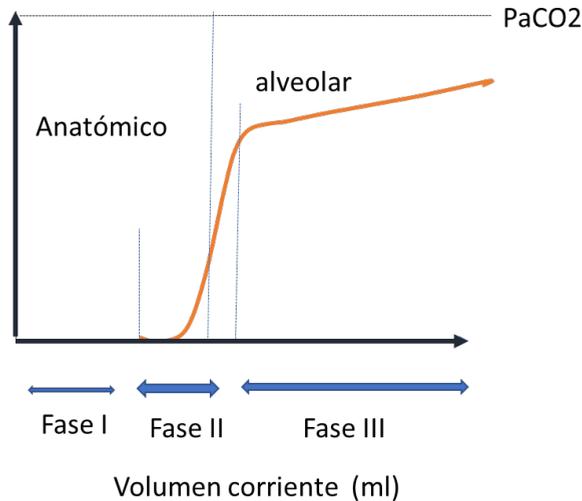
Los pacientes con fisiopatología mixta presentan desafíos para la interpretación. Por ejemplo, un déficit de perfusión puede reducir el  $\text{EtCO}_2$ , mientras que un déficit de ventilación puede elevar el valor. En pacientes pediátricos y recién nacidos la interpretación de  $\text{EtCO}_2$  puede verse afectado por volúmenes corrientes bajos, que pueden caer por debajo del caudal y disminuir el valor de  $\text{EtCO}_2$ . En el paro cardíaco, el  $\text{EtCO}_2$  no solo depende de las compresiones, sino que también puede verse afectado por la etiología del paro (cardíaco, embolia pulmonar, respiratorio, entre otros). La afectación de otros sistemas de órganos, incluida la hipotensión y la baja perfusión, puede afectar los niveles de  $\text{EtCO}_2$  (7).

Para el tratamiento de las anomalías pulmonares, donde el espacio muerto se convierte en un componente importante de la mala distribución de la ventilación/perfusión, la capnografía convencional puede ser insuficiente.

La capnografía volumétrica, a diferencia de la capnografía regular, evalúa la presión parcial de  $\text{CO}_2$  exhalado contra el volumen corriente exhalado, lo que permite la evaluación directa del volumen de los diferentes componentes del espacio muerto fisiológico, para informar la efectividad de las intervenciones diagnósticas y terapéuticas.

Las tres fases de la respiración exhalada en la capnografía volumétrica se muestran en la Ilustración 44. La fase I representa el volumen de gas libre de  $\text{CO}_2$  exhalado primero de las vías respiratorias, seguido de la fase II que muestra la mezcla de gas alveolar y espacio muerto y finalmente la fase III, gas alveolar (41).

**Ilustración 44.** Componentes del espacio Muerto en el capnógrafo Volumétrico.



**Fuente:** Tomado de Humphreys, S., Schibler, A., & von Ungern-Sternberg, B. S. “Carbon dioxide monitoring in children-A narrative review of physiology, value, and pitfalls in clinical practice.” *Paediatr Anaesth*, vol. 31, no. 8, 2021, p. 839-845.

### Forma de Onda de Capnografía

A pesar de las descripciones en la literatura de la forma de los capnogramas normales y obstructivos que se remontan a principios de la década de 1960, aún no existe una metodología estándar ampliamente aceptada o una biblioteca de formas de onda para diferenciar entre normales y anormales como existe por ejemplo con otras señales fisiológicas como el electrocardiograma (42).

Con el creciente uso clínico de la capnografía los investigadores han estudiado el valor del capnograma para la detección de enfermedades, la detección de afecciones anormales, la predicción de la mortalidad o los valores de parámetros determinados de forma invasiva y la clasificación de los pacientes en grupos, como la ICC, el EPOC, en función de las características del capnograma solo y en combinación con otras mediciones (42).

Esos estudios incluyeron el uso de valores únicos o promediados de los valores de  $PEtCO_2$  como sustituto del  $CO_2$  arterial y como predictor de supervivencia durante la RCP, así como cambios en el  $CO_2$  al final de la espiración para determinar los cambios en la condición clínica (por ejemplo, embolia pulmonar repentina). Se han definido métricas utilizando la forma o las propiedades estadísticas de la forma de onda para distinguir entre diferentes estados de enfermedad (42).

Actualmente, no existen métodos establecidos para digitalizar imágenes capnográficas para el análisis de datos, Vijayam, et al 2021 propusieron la digitalización y el análisis de la capnografía utilizando la técnica de procesamiento de imágenes como un medio para unir la conversión de señal analógica a digital para su utilización por médicos e investigadores por igual. Así mismo, como se mencionó hace unos años los valores normales de la mayoría de los parámetros e índices no se han establecido para el uso no invasivo (9).

Tanto las ondas del capnograma basado en el tiempo como el volumétrico se subdividen en tres fases (con una cuarta para la inspiración con el capnograma de tiempo) asociadas con la fuente de los gases espiratorios: (1) gas del espacio muerto; (2) gas de la transición entre el espacio muerto y el gas alveolar; y (3) gas del vaciado secuencial de los volúmenes alveolares(42).

A partir de estas formas de onda y las respectivas fases, se obtienen características basadas en el tiempo o el volumen, generalmente con una base fisiológica o clínica directa, como varios ángulos, pendientes, pendientes normalizadas, valores máximos, duraciones o volúmenes de cada fase, áreas y valores derivados. La terminología utilizada para las fases, las transiciones de fase, los ángulos y las pendientes es similar para el capnograma volumétrico y de tiempo; es importante tener cuidado con su uso, ya que no son equivalentes (42).

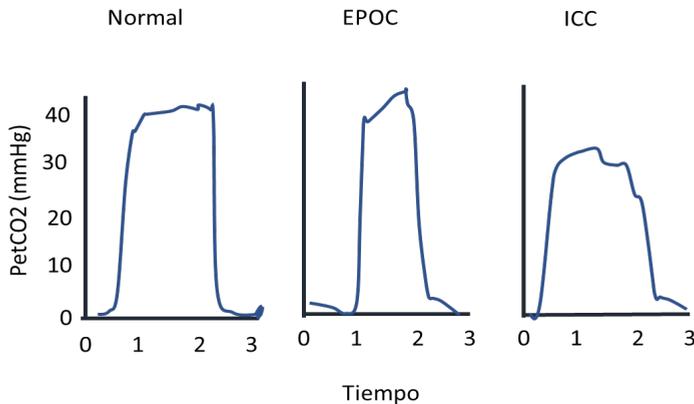
El uso de las características derivadas del capnograma permiten su clasificación en una de las clases predefinidas, esto puede consistir en (a) clasi-

ficación de formas de onda/detección de anomalías en tiempo real durante la monitorización (ej., anestesia) o (b) clasificación de un capnograma candidato en una de varias clases de enfermedades, como normal, EPOC o ICC. La eliminación de artefactos (ej., oscilaciones cardiogénicas) y/o la identificación de anomalías (ej., mal funcionamiento del equipo), son importantes identificarlas para reducir las falsas alarmas relacionadas con artefactos y la incidencia de registro de datos corruptos en el registro electrónico del paciente (42).

Los cambios en el capnograma sugieren cambios en la condición del paciente. La interpretación adecuada del capnograma puede alertar a un médico sobre cambios importantes y debe incluir al menos el examen de 3 características clave: línea de base a partir de cero; fuerte aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$ ; y meseta alveolar constante (28).

Los pacientes con función pulmonar normal tienen capnogramas trapezoidales característicos y gradientes estrechos entre su  $\text{CO}_2$  alveolar (es decir,  $\text{EtCO}_2$ ) y la concentración arterial de  $\text{CO}_2$  ( $\text{PaCO}_2$ ) de 0 a 5 mmHg. El gas en el espacio muerto fisiológico explica este gradiente normal (Ilustración 45) (38). Una elevación de la línea de base indica una respiración clínicamente importante del  $\text{CO}_2$ , que puede deberse a problemas mecánicos o al uso terapéutico del espacio muerto mecánico (28).

**Ilustración 45.** Ejemplos de Ondas de Capnogramas.

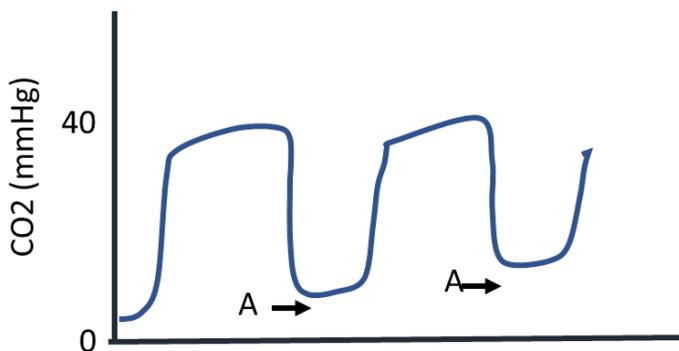


**Fuente:** Tomado de Krauss, Baruch, et al. “Carbon dioxide monitoring (capnography).” UpToDate. Retrieved from <http://www.UpToDate.com/contents/carbon-dioxide-monitoring-capnography> H14 (2016).

**Nota:** ejemplos de capnogramas recopilados durante un ciclo respiratorio de un sujeto normal, un paciente con EPOC y un paciente con ICC. Las variaciones evidentes en la morfología sugieren que las formas de onda se pueden utilizar con fines de diagnóstico.  $\text{CO}_2$ : dióxido de carbono;  $\text{PEtCO}_2$ : dióxido de carbono espiratorio final; EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; ICC: insuficiencia cardiaca congestiva.

Los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva tienen un flujo espiratorio alterado y un vaciado desigual de los alvéolos debido a un desajuste entre la ventilación y la perfusión, y muestran una fase ascendente más redondeada y una pendiente ascendente en la meseta alveolar (Ilustración 46). En pacientes con función pulmonar anormal y desajuste entre ventilación y perfusión, el gradiente de  $\text{EtCO}_2$ - $\text{PaCO}_2$  se amplía dependiendo de la gravedad de la enfermedad pulmonar. El  $\text{EtCO}_2$  en pacientes con enfermedad pulmonar solo es útil para evaluar las tendencias en el estado ventilatorio a lo largo del tiempo; los valores aislados de  $\text{EtCO}_2$  pueden o no correlacionarse con la  $\text{PaCO}_2$  (38).

**Ilustración 46.** Capnograma con línea de base ascendente.



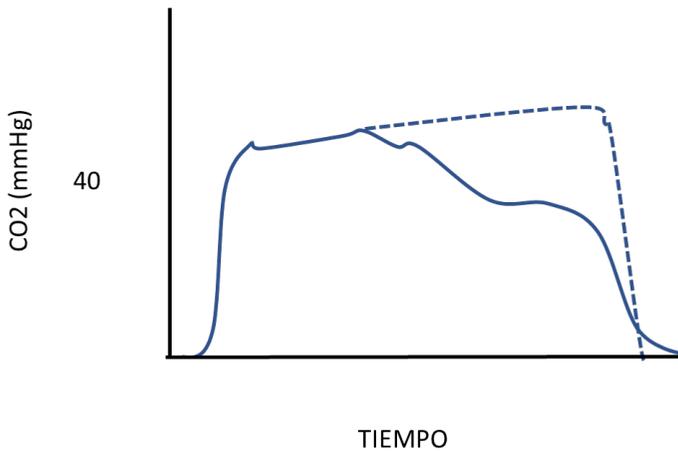
**Fuente:** Tomado de Thompson, John E., and Michael B. Jaffe. “Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient.” *Respiratory care* 50.1 (2005): p. 100-109.

La enfermedad crónica de los pulmones y las vías respiratorias prolonga la porción de transición del capnograma. Las unidades alveolares constantes de tiempo lento continúan mezclando gas alveolar con gas de espacio muerto. Prolongar la fase espiratoria permite que el  $\text{CO}_2$  espiratorio final ( $\text{PEtCO}_2$ ) refleje más el  $\text{PaCO}_2$ . La disminución en la diferencia de  $\text{PEtCO}_2$  a  $\text{PaCO}_2$  representa una disminución en el espacio muerto, siendo útil cuando se contrasta una respiración espontánea con la de una respiración administrada por un ventilador (28). El extremo anterior de la porción espiratoria de los

capnogramas de tiempo de sujetos con enfermedad obstructiva aumenta más lentamente que en sujetos normales con una forma descrita como aleta de tiburón y un contenido de frecuencia significativamente diferente al de un capnograma normal (42).

La incapacidad para mantener una fase de meseta puede ser indicativa de un neumotórax. La Ilustración 47 ilustra el “desvanecimiento” de la meseta alveolar (es decir, un cambio dramático en la concentración media de  $\text{CO}_2$  alveolar) (28).

**Ilustración 47.** Capnograma que Sugiere Neumotórax.

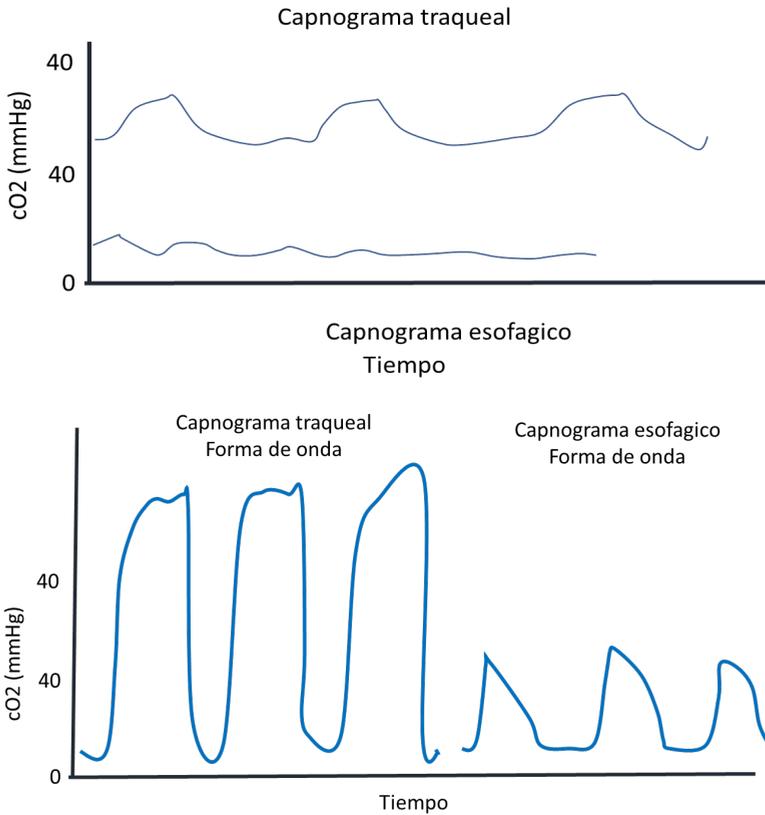


**Fuente:** Tomado de Thompson, John E., and Michael B. Jaffe. “Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient.” *Respiratory care* 50.1 (2005): p. 100-109.

**Nota:** Un capnograma con pérdida de la fase alveolar durante la espiración sugiere neumotórax. El área sombreada representa un capnograma normal.

Un capnograma de un tubo endotraqueal colocado esofágicamente suele tener una forma y un tamaño diferente a los de un capnograma traqueal normal. Además, las formas de onda capnográficas del esófago generalmente estarán presentes solo durante unas pocas respiraciones. La diferencia de forma entre la colocación traqueal y esofágica es claramente visible en adultos (Ilustración 48A) y neonatos (Ilustración 48B), con raras excepciones. El  $\text{CO}_2$  en el esófago, que generalmente está presente a partir del  $\text{CO}_2$  en el estómago debido al gas exhalado, se elimina en segundos. En neonatos con baja perfusión pulmonar y derivación intracardiaca, la forma de onda del capnograma puede estar disminuida en amplitud (28).

**Ilustración 48.** Capnogramas de Adultos y Neonatos con Intubación.

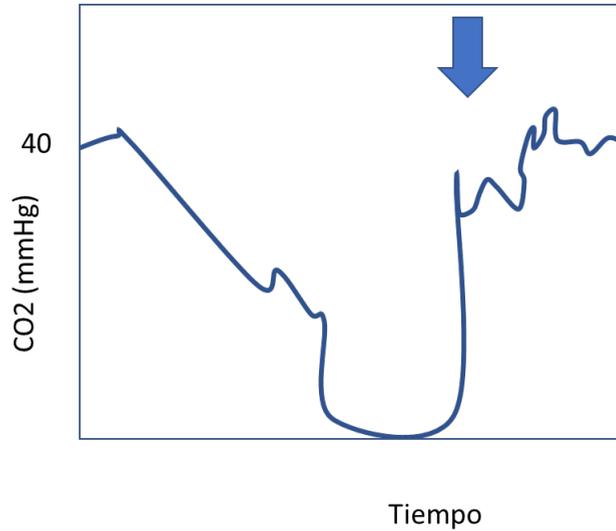


**Fuente:** Tomado de Thompson, John E., and Michael B. Jaffe. "Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient." *Respiratory care* 50.1 (2005): p. 100-109.

**Nota:** A. Capnogramas de adultos de intubación traqueal (arriba) y capnograma esofágico (abajo). B. Capnogramas neonatales de intubación traqueal (izquierda) e intubación esofágica (derecha).

Un problema mecánico durante la reanimación cardiopulmonar se puede reconocer rápidamente con la ayuda de un capnograma. La Ilustración 49 ilustra una situación clínica en la que el flujo a una bolsa de reanimación no autoinflable se estableció demasiado bajo, por lo que el CO<sub>2</sub> no se estaba lavando adecuadamente de la bolsa y hubo una respiración excesiva de CO<sub>2</sub>, que se identificó a través del capnograma. El flujo aumentó y el CO<sub>2</sub> volvió a la línea de base (28).

**Ilustración 49.** Capnograma Durante Parada Cardíaca con Reinhalación.

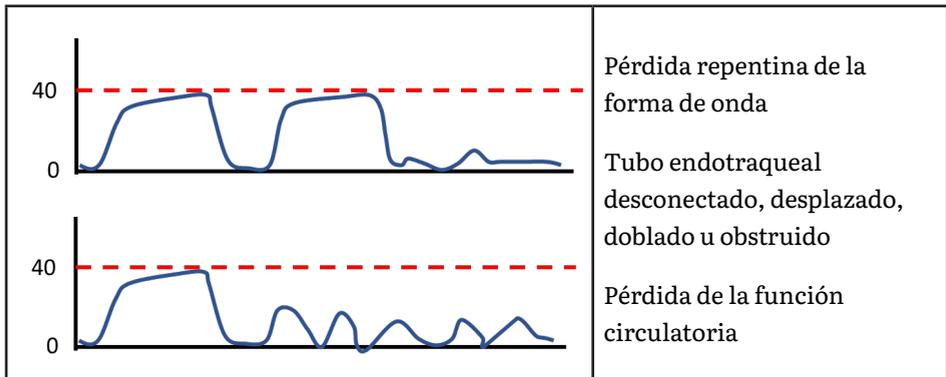


**Fuente:** Tomado de Thompson, John E., and Michael B. Jaffe. “Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient.” *Respiratory care* 50.1 (2005): 100-109.

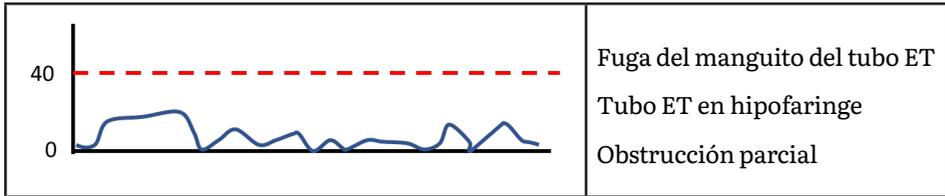
### Otras Formas de Onda

En las siguientes ilustraciones se muestra las graficas que se pueden presentar acorde a diferentes situaciones clínicas.

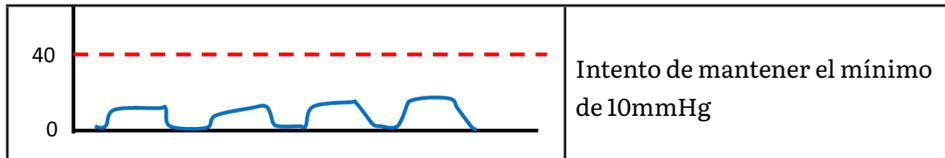
**Ilustración 50.** Formas de Onda Paciente Intubado.



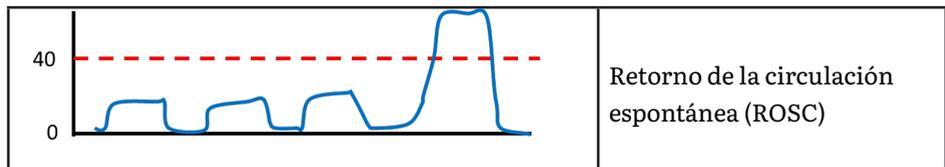
**Ilustración 51.** Onda con Disminución de EtCO<sub>2</sub>.



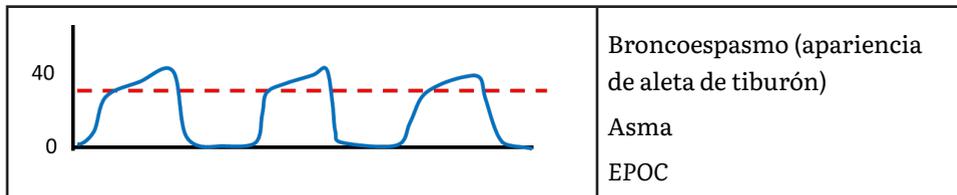
**Ilustración 52.** Evaluación de RCP.



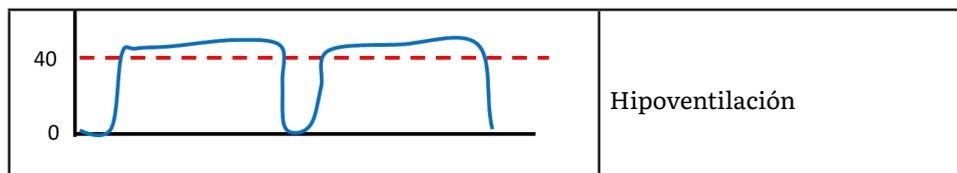
**Ilustración 53.** Aumento Repentino De EtCO<sub>2</sub>.



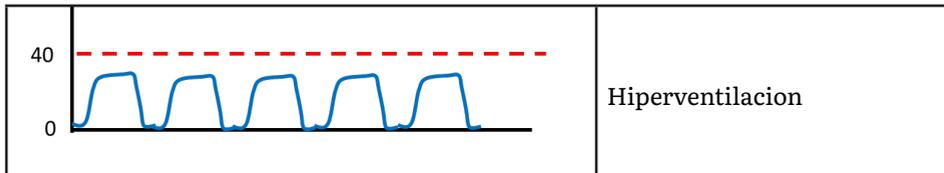
**Ilustración 54.** Capnografía en Paciente No Intubado.



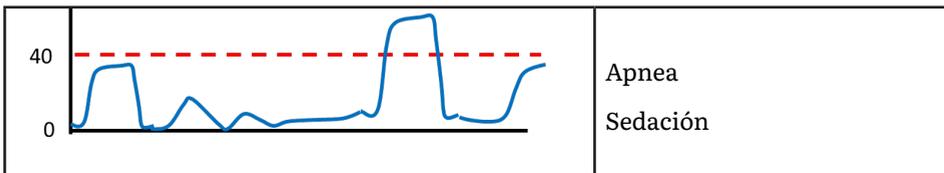
**Ilustración 55.** Hipoventilación.



**Ilustración 56.** Hiperventilación.



**Ilustración 57.** Decece EtCO<sub>2</sub>.



**Fuente:** Traducido de Long, B. “Interpreting Waveform Capnography: Pearls and Pitfalls.” EMDocs, 2016. Retrieved 09 September 2022, from <http://www.emdocs.net/interpreting-waveform-capnography-pearls-and-pitfalls/>

## Clasificación y Tipos de Monitoreo de CO<sub>2</sub> Exhalado

Un capnógrafo es un monitor que mide las concentraciones de CO<sub>2</sub> en gases respirados a lo largo del tiempo y muestra valores numéricos para P<sub>ET</sub>-CO<sub>2</sub>, frecuencia respiratoria y, a veces, la concentración de CO<sub>2</sub> inspirada o la presión parcial (11). Los monitores de CO<sub>2</sub> son cuantitativos o cualitativos. Los dispositivos cuantitativos miden el CO<sub>2</sub> espiratorio final preciso (EtCO<sub>2</sub>), ya sea como un número (capnometría) o como un número y una forma de onda (capnografía) (38). Un capnógrafo tiene 2 velocidades de grabación. La velocidad rápida es de aproximadamente 12,5 mm/s, lo que permite la interpretación de los cambios a corto plazo. La velocidad lenta es de aproximadamente 25 mm/min, lo que permite identificar tendencias a largo plazo (28).

Existen dos tipos de capnógrafos según la forma que emplean para medir el CO<sub>2</sub>: de flujo principal “Corriente principal” (mainstream en inglés) y de flujo lateral “Corriente lateral” (sidestream o microstream) (43) dependiendo de si el sensor se coloca directamente en la vía de flujo de gas en las vías respiratorias o si se aspira una muestra de gas del circuito de respiración. Los dispositivos de flujo lateral utilizan un monitor de infrarrojos ubicado lejos del paciente, mientras que los dispositivos principales están limitados

a pacientes intubados, ya que el dispositivo de práctica de infrarrojos está ubicado en el conector del tubo endotraqueal (5).

En la técnica de “corriente principal”, la ventana de muestreo está en el circuito del ventilador y mide el  $\text{CO}_2$ , mientras que en la “corriente lateral”, el analizador de gases se encuentra fuera del circuito del ventilador. En ambos tipos, el analizador de gases utiliza radiación infrarroja, espectros de masas o Raman y una tecnología de espectros fotoacústicos (44).

La capnografía utiliza radiación infrarroja (IR) para realizar mediciones. Las moléculas de  $\text{CO}_2$  absorben la radiación IR a una longitud de onda muy específica (4,26  $\mu\text{m}$ ), y la cantidad de radiación absorbida tiene una relación casi exponencial con la concentración de  $\text{CO}_2$  presente en la muestra de aliento. La detección de estos cambios en los niveles de radiación IR, utilizando fotodetectores adecuados sensibles en esta región espectral, permite calcular la concentración de  $\text{CO}_2$  en la muestra de gas (38).

El capnógrafo mainstream (corriente principal) tiene un sensor incluido en el circuito ventilatorio en pacientes intubados o bien se fija a un adaptador aéreo o naso-oral en el caso de pacientes con ventilación espontánea. Dicho sensor se conecta a un monitor. En este tipo de capnógrafos, la fuente de infrarrojos y los fotodetectores están en línea, en lados opuestos del circuito principal, a través del cual pasan los rayos, o bien debajo de la nariz en pacientes no intubados. Tienen una respuesta más rápida y no precisan retirar una muestra de gas de la vía aérea (45).

Esta ubicación de medición da como resultado valores de  $\text{CO}_2$  en tiempo real dentro de las vías respiratorias y una representación gráfica en tiempo real de la forma de onda de  $\text{CO}_2$  trazada a lo largo del tiempo o por el volumen exhalado (11).

Las desventajas del monitoreo de  $\text{CO}_2$  convencional incluyen el costo del sensor; posibilidad de daños en el sensor y el cable de conexión durante la manipulación y el monitoreo del paciente; aumento del espacio muerto mecánico del circuito; potencial de ensuciamiento con secreciones tosidadas y condensado del circuito, requiriendo calibraciones de forma frecuente (11). Los sistemas convencionales están contraindicados para pacientes intubados (38).

En los capnógrafos sidestream (corriente lateral), el sensor se encuentra dentro del monitor y miden el gas respiratorio a través de una cánula nasal o nasal-oral aspirando una pequeña muestra del aliento exhalado a través

de una longitud de tubo de pequeño diámetro de pequeñas muestras de gas exhalado que son trasladadas a una cámara de medida (38).

Esto hace que exista un ligero retraso en el análisis como consecuencia del tiempo requerido para el transporte del gas (45). Los dispositivos convencionales miden  $\text{CO}_2$  directamente de las vías respiratorias, más comúnmente con el sensor alojado directamente en el circuito respiratorio, y estos dispositivos se utilizan para pacientes intubados y con respiración espontánea (7).

Los diferentes diseños de interfaz para su uso en pacientes no intubados incorporan puntos de muestreo nasales y orales para mejorar la precisión de la medición. Varios diseños de interfaz incluyen la capacidad de administrar oxígeno simultáneamente a través de un dispositivo de canal dividido (11).

Los sistemas de flujo lateral utilizan caudales altos (alrededor de 150 cc/min) o caudales bajos (alrededor de 50 cc/min). Los caudales varían según la cantidad de  $\text{CO}_2$  necesaria en la muestra de aliento para obtener una lectura precisa. Los sistemas de flujo bajo tienen una tasa de oclusión más baja (por la humedad o las secreciones del paciente) y son precisos en pacientes con volúmenes corrientes bajos (ej., recién nacidos, lactantes y pacientes adultos con hipoventilación y respiración con volumen corriente bajo). Los sistemas de flujo bajo también son resistentes a la dilución del oxígeno suplementario. Se ha demostrado que el muestreo de sistemas de alto flujo a  $\geq 100$  cc/min es impreciso en recién nacidos, lactantes, niños pequeños y en pacientes adultos con hipoventilación (38).

Un problema fundamental que presentan los capnógrafos sidestream es la condensación del agua, acumulándose el vapor de agua en la muestra del tubo y provocando ello errores en la detección correcta del  $\text{CO}_2$ . Para ello, algunas unidades contienen un adaptador especial con trampa de agua con el fin de minimizar este problema (45).

Dado que el muestreo de flujo lateral requiere un caudal de muestra aspirado continuo desde el circuito del ventilador, puede haber interferencias con la medición de los parámetros de ventilación y el mecanismo de activación. Además, cuando los sistemas sidestream se utilizan intraoperatoriamente con agentes anestésicos inhalados, se requiere un sistema de barrido para prevenir la contaminación ambiental y la exposición a los proveedores de atención médica (46).

La monitorización de  $\text{CO}_2$  lateral basada en el tiempo es el tipo más comúnmente utilizado en el entorno de la sala de operaciones, durante la moni-

torización del paciente no intubado y durante la reanimación cardiopulmonar (11).

Los dispositivos cualitativos utilizados para detectar y controlar el  $\text{CO}_2$  incluyen detectores colorimétricos, siendo la forma más simple de monitoreo. Son dispositivos en forma de discos que son sensibles al pH y la cantidad de cambio de color refleja la concentración de  $\text{CO}_2$  en el gas espirado (5). Son dispositivos portátiles, desechables, económicos y de un solo uso (11). Informan el rango en el que cae el  $\text{EtCO}_2$  (ej., 0 a 10 mmHg o  $>35$  mmHg) en oposición a un valor preciso (ej., 38 mmHg) (38).

Estos son útiles para confirmar la intubación traqueal en una situación de emergencia, estimar la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el gas exhalado o confirmar la idoneidad de la reanimación cardiopulmonar (RCP) (5, 11). Las limitaciones de los detectores colorimétricos de  $\text{CO}_2$  incluyen lecturas de falsos positivos cuando el medio de detección está contaminado con ácido gástrico o soluciones ácidas instiladas a través de un tubo endotraqueal (11).

### **Aplicaciones Clínicas de la Capnografía**

El intercambio gaseoso es una función primordial de los pulmones, la evaluación respiratoria es de gran importancia. Los clínicos evalúan esta función por observación visual de la expansión torácica, la profundidad y la frecuencia respiratoria, el uso de músculos respiratorios accesorios y la auscultación de la calidad y cantidad de ruidos respiratorios. Información cuantitativa es obtenida determinando la distensibilidad torácica/pulmonar (cambio de volumen relacionado con el cambio de presión) y la resistencia de la vía aérea. (40)

Otras técnicas más complejas involucran la medición de volúmenes pulmonares y la capacidad con espirometría las cuales también evalúan la permeabilidad de la vía aérea y la expansión torácica, viéndose afectadas por factores como el dolor, la fatiga y el pobre entendimiento por parte del paciente y el clínico de cómo debe ser la medición real (40).

En consecuencia, la evaluación de la obstrucción de las vías respiratorias o de restricción pulmonar solo es fiable en la medida en que el paciente tenga capacidad para realizar estas pruebas de manera óptima. Quizá la prueba definitiva para determinar la ventilación adecuada es la determinación invasiva de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  ( $\text{PaCO}_2$ ), para revisar aumentos considerables y bajos de esto como el verdadero reflejo de la eficacia ventilatoria, pero está lejos de ser ideal, ya que es invasiva e intermitente (40).

La utilidad de la capnografía depende de la comprensión de la relación entre el dióxido de carbono arterial, el dióxido de carbono alveolar y el dióxido de carbono al final de la espiración (10). La capnografía durante más de 30 años ha sido un método rutinario de monitorización de la anestesia en el quirófano, se está convirtiendo en el estándar internacional para la práctica segura de la anestesia (36), así mismo para se ha utilizado en pacientes quirúrgicos para confirmar intubación traqueal y evaluar ventilación (43).

Se ha descrito el uso de la capnografía para medir el grado de desajuste ventilación/perfusión, para medir el espacio muerto (VD), para cuantificar la obstrucción del flujo de aire en el asma y el EPOC, para diagnosticar la embolia pulmonar y distinguirla de las exacerbaciones de la EPOC, para juzgar la adecuación de las compresiones torácicas en el paro cardíaco y detectar el retorno de la circulación espontánea, para estimar los cambios en el gasto cardíaco, para predecir la capacidad de respuesta a los líquidos y para ayudar en la evaluación metabólica y las necesidades nutricionales (32).

Para su uso en reanimación cardiopulmonar, intubación para confirmar la colocación del tubo endotraqueal (ETT), reanimación de pacientes críticos con sepsis, seguimiento de la respuesta al tratamiento en pacientes con dificultad respiratoria (específicamente enfermedad pulmonar obstructiva crónica, insuficiencia cardíaca congestiva -ICC- y asma), embolia pulmonar y sedación para procedimientos (39).

El uso de capnografía y el cambio resultante en  $\text{EtCO}_2$  se han descrito como indicadores de oclusión durante el aislamiento de las venas pulmonares (PV) y de eficacia a largo plazo de éste (47). Los usos de la capnografía son muy variados y no se limitan a la monitorización de las vías respiratorias (37).

### **Capnografía como Monitoreo de la Ventilación**

La importancia clínica de la frecuencia respiratoria se encuentra bien documentada en la evidencia. Como signo vital es un detector temprano de enfermedades graves, como infección, depresión respiratoria, especialmente causada por opioides o sedantes, e insuficiencia respiratoria; existe evidencia sustancial de que una frecuencia respiratoria anormal es un predictor de eventos clínicos potencialmente graves. Sin embargo, se ha informado como el “signo vital descuidado”, probablemente porque en muchas situaciones tiene que ser monitoreado manualmente (48).

Ahora la tecnología permite el monitoreo continuo de la ventilación de forma no invasiva. A medida que esto se vuelve más disponible, la detección temprana

na del deterioro en los pacientes se vuelve posible para que se puedan realizar intervenciones tempranas, evitando eventos de “falla en el rescate” (5).

La capnometría cuantitativa tiene un gran potencial para guiar la ventilación en el ámbito prehospitalario. En teoría, la monitorización de los datos de EtCO<sub>2</sub> debería conducir a una baja incidencia de hiperventilación, independientemente de si se utiliza ventilación manual o mecánica (49). La visualización gráfica de la concentración de dióxido de carbono exhalado e inhalado en función del tiempo se utiliza para controlar la ventilación (50). Los pacientes con ventilación mecánica deben ser monitoreados con capnografía para garantizar la idoneidad de la ventilación y un seguimiento continuo (5).

La ventilación guiada por el EtCO<sub>2</sub> tiene un impacto directo al evitar la vasoconstricción cerebral refleja en respuesta a la hipocapnia, es posible también que EtCO<sub>2</sub> bajos sean un marcador sustituto de patrones de ventilación perjudiciales en los resultados del paciente. La ventilación con presión positiva provoca un aumento de la presión intratorácica media, que puede disminuir la perfusión cerebral al disminuir el retorno venoso y reducir el gasto cardíaco (49).

Además, una presión intratorácica media elevada puede transmitirse de forma retrograda a través del sistema venoso yugular, provocando un aumento paradójico de la presión Intracerebral. Además, de sus efectos sobre la hemodinámica cerebral y sistémica, la ventilación excesivamente agresiva puede ser perjudicial para el paciente crítico por la liberación de citoquinas proinflamatorias y la apoptosis de las células endoteliales pulmonares (49).

La capnografía aún carece de la sensibilidad para demostrar una disminución de la ventilación, esta tecnología es insuficiente para identificar signos tempranos de compromiso respiratorio en pacientes no intubados, no se ha utilizado universalmente para pacientes no intubados por múltiples razones, incluida la incapacidad de relacionar de manera confiable el EtCO<sub>2</sub> con el nivel de compromiso respiratorio inminente y la falta de cumplimiento del paciente, incluso cuando el paciente tolera el equipo de capnografía, proporciona un indicador rezagado del rendimiento respiratorio, en lugar de una medida directa de los cambios en los volúmenes respiratorios (51).

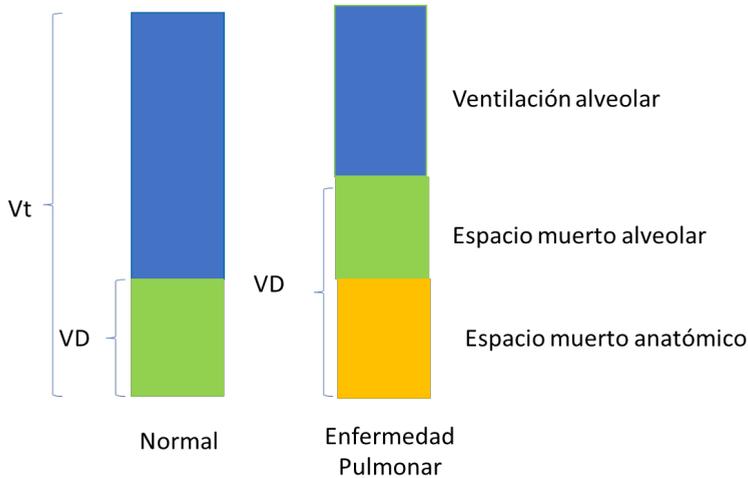
La evidencia limitada que está disponible para apoyar el uso de la capnografía proviene del entorno periprocedimental (33). Una revisión sistemática y metanálisis concluyó que la capnografía proporciona una advertencia

temprana de depresión respiratoria posoperatoria (PORD) antes de la desaturación de oxígeno, especialmente cuando se administra oxígeno suplementario, en comparación con la oximetría de pulso; las probabilidades de reconocer PORD fueron casi 6 veces mayores en el grupo de capnografía que en el de pulsioximetría (*odds ratio*: 5,83, IC 95%, 3,54-9,63;  $p < 0,00001$ ). No se examinó el impacto de la capnografía en la reducción de la activación del equipo de rescate, las transferencias a la UCI o la mortalidad (52).

El uso de la capnografía puede proporcionar mediciones precisas de  $PECO_2$  que son estimaciones aceptables de  $PCO_2$  alveolar ( $PaCO_2$ ) en sujetos normales; sin embargo, la diferencia entre el  $PECO_2$  y el  $PaCO_2$  puede ser bastante grande en pacientes con enfermedad pulmonar. Esta diferencia es un reflejo de la fracción VD de ventilación:  $VD/VT = (PaCO_2 - PECO_2) / PaCO_2$ . La VD pulmonar fisiológica es la fracción de la VT que nunca se encuentra con un alvéolo funcional. Se compone de la VD anatómica, que representa las vías respiratorias conductoras, y la VD alveolar. (33)

Las enfermedades que afectan el parénquima pulmonar o la vasculatura pulmonar pueden aumentar significativamente la cantidad de VD alveolar, ya sea reduciendo el número de alvéolos que reciben flujo sanguíneo capilar o disminuyendo el área de superficie de los alvéolos o por alguna combinación de estos mecanismos. A medida que aumenta la fracción de VD, el paciente debe aumentar concomitantemente su ventilación para compensar la reducción de la ventilación alveolar. En este escenario, el  $CO_2$  alveolar exhalado se diluye cuando se mezcla con la muy baja concentración de  $VDCO_2$ . Las fracciones más altas de VD conducen a una mayor diferencia entre  $PaCO_2$  y  $PECO_2$ . La Ilustración 58 muestra una representación de la magnitud del impacto de la fracción VD (baja  $PCO_2$ ) en pacientes hospitalizados con pulmones normales versus enfermos (33). ver ilustración 58:

**Ilustración 58.** Impacto de la fracción VD normal Versus enfermedad pulmonar.



**Fuente:** tomado de Rackley, Craig R. “Monitoring during mechanical ventilation.” *Respiratory care* 65.6 (2020): p. 832-846.

**Nota:** en un paciente normal, el volumen de espacio muerto ( $VD$ ) constituye aproximadamente el 25% del volumen corriente normal ( $VT$ ). En un paciente con enfermedad pulmonar donde la interfaz capilar alveolar está comprometida (por ejemplo, enfisema, embolia pulmonar, SDRA o neumonía), la fracción de  $VD$  puede ser superior al 50%.

El uso de la capnografía de tiempo puede parecer una alternativa atractiva al análisis de gases en sangre arterial para ajustar la ventilación mecánica porque es una herramienta de seguimiento continua y no invasiva, sin embargo, se pueden observar diferencias significativas entre  $PaCO_2$  y  $PEtCO_2$  en paciente con enfermedad pulmonar. En pacientes ventilados mecánicamente, puede asegurar la colocación adecuada del TET y proporcionar una aproximación de  $VD$  (es decir,  $VD/VT$ ). La capnografía volumétrica es una herramienta prometedora que se basa en conceptos fisiológicos, pero se necesita más investigación para definir su valor diagnóstico y su utilidad potencial para guiar las intervenciones terapéuticas, puede permitir la evaluación de la fracción  $VD$  y cambios en la ventilación (33).

Mediante el control de la concentración de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) exhalado en el transcurso de un ciclo respiratorio la capnografía volumétrica se puede utilizar para evaluar con precisión el espacio muerto de las vías respiratorias. El  $CO_2$  exhalado se representa frente al volumen exhalado y, a par-

tir de las formas de onda resultantes, pueden calcularse la presión parcial alveolar de dióxido de carbono ( $PaCO_2$ ) y la presión parcial media exhalada de dióxido de carbono y así utilizarse para determinar el espacio muerto de las vías respiratorias. En comparación con los métodos que requieren el uso de una bolsa de Douglas o calorimetría, la capnografía volumétrica es más rápida, menos engorrosa y más fácil de aplicar clínicamente (53).

### **Capnografía Durante la Intubación Traqueal**

La monitorización de  $EtCO_2$  es el método estándar de oro para la confirmación de la colocación del tubo endotraqueal (TET) y debe usarse de forma rutinaria para detectar la intubación traqueal correcta, y tiene alta sensibilidad y especificidad (54).

Sin embargo, puede no ser confiable bajo ciertas condiciones, por ejemplo, intubación endobronquial, perfusión circulatoria deficiente como en un paro cardíaco, hipotensión severa, embolia pulmonar, broncoespasmo grave, reserva pulmonar deficiente como derrame pleural, neumotórax y malignidad pulmonar (55).

La capnografía se puede utilizar para detectar tubos traqueales y tubos de traqueotomía desplazados y para diagnosticar la intubación esofágica inadvertida (37).

Un estudio multicéntrico encontró que el dispositivo colorimétrico  $EtCO_2$  es altamente preciso para confirmar la posición del tubo endotraqueal en pacientes sin paro cardiopulmonar. En pacientes con paro cardíaco, una lectura que signifique más del 0,5% de  $EtCO_2$  confirma la colocación correcta del tubo endotraqueal, mientras que un valor que signifique menos del 0,5% de  $EtCO_2$  durante la reanimación sugiere que algo anda mal (ej., intubación esofágica, flujo circulatorio inadecuado, intervalo prolongado de tiempo de inactividad), hipotermia o desajuste significativo de ventilación/perfusión) (56).

Después de la intubación, un trazo capnográfico plano indica problemas adicionales en las vías respiratorias, como que el circuito de respiración está desconectado, las vías respiratorias están torcidas o bloqueadas con secreciones, o el paciente ha mordido y ocluido el tubo (36).

El  $EtCO_2$  colorimétrico es una herramienta segura, confiable, simple y portátil para determinar la correcta colocación del tubo endotraqueal en pacientes con hemodinámica estable y es muy útil cuando no se dispone de un capnógrafo. Sin embargo, cuando los pacientes tienen una bolsa o máscara

de ventilación o consumen bebidas carbonatadas o antiácidos puede causar un resultado falso positivo, pero generalmente indica el resultado verdadero después de 6 respiraciones (44).

La capnografía es el estándar de oro para confirmar la colocación del tubo endotraqueal en condiciones de emergencia en el ámbito prehospitalario, con alta sensibilidad y especificidad (57). Sin embargo, puede no ser confiable bajo ciertas condiciones, por ejemplo, intubación endobronquial, perfusión circulatoria deficiente como en un paro cardíaco, hipotensión severa, embolia pulmonar, broncoespasmo grave, reserva pulmonar deficiente como derrame pleural, neumotórax y malignidad pulmonar (55).

Debe realizarse una monitorización capnográfica ininterrumpida durante la inducción de la anestesia, la inserción de las vías respiratorias, el mantenimiento de la anestesia, durante cualquier transferencia y durante la salida de la anestesia. Esto incluye hasta que se extraiga un tubo traqueal o una vía aérea supraglótica (54).

Las pautas de los miembros de la Difficult Airway Society basados en opinión de expertos brindan una estrategia para manejar la dificultad imprevisible con la intubación traqueal, la capnografía se puede usar para confirmar la ventilación del dispositivo de la vía aérea, como la colocación de un TET o una cricotiroidotomía, traqueotomía o un dispositivo supraglótico para la vía aérea (58).

La capnografía también puede evaluar la eficacia de la ventilación con mascarilla. Por lo tanto, puede ayudar al personal médico de primera línea a identificar a los pacientes con alto riesgo de ventilación difícil con máscara para que puedan consultar a un especialista de inmediato. La capnografía mejora la seguridad de la traqueotomía percutánea al confirmar la colocación (36).

Después de establecer la vía aérea quirúrgica, valores anormales de EtCO<sub>2</sub> durante el transporte pueden indicar qué circuito está desconectado u obstruido o si un tubo está desplazado. En pacientes con vía aérea difícil la detección temprana del desprendimiento de la vía aérea es vital (36).

### **Capnografía Durante la Sedación para Procedimientos**

La sedación de procedimiento es un método establecido para mantener la comodidad del paciente durante las intervenciones de atención médica que no requieren anestesia general. La sedación pone a los pacientes en mayor

riesgo de problemas de ventilación, lo que puede resultar en un compromiso respiratorio. Los procedimientos más comunes que utilizan sedación de procedimiento son los de gastroenterología. Cambridge University Hospitals NHS Foundation Trust (CUH) identificó como un punto de acción para la calidad de la atención la reducción de los eventos adversos relacionados con la sedación; la evidencia ha indicado que la capnografía se ha asociado con una incidencia reducida de eventos relacionados con el compromiso respiratorio durante la sedación para procedimientos (59).

Por ejemplo, en la evaluación prospectiva realizada en un hospital docente del Reino Unido en el que se evaluó el impacto de la capnografía en la seguridad del paciente dentro de cuatro servicios especializados: broncoscopia, endoscopia, cardiología y radiología intervencionistas; después de la implementación de la capnografía se observó una reducción significativa (43,2 %,  $p \leq 0,05$ ) de los eventos adversos: 147 eventos adversos ocurrieron durante 666 procedimientos sin capnografía en comparación con 93 eventos adversos que ocurrieron durante 735 procedimientos con capnografía. Concluyéndose que estos resultados sugieren una mayor seguridad del paciente después de la implementación de la capnografía (59).

Un ensayo controlado y aleatorizado en adultos que se sometieron a sedación con propofol en el servicio de urgencias con monitorización estándar (pulsioximetría, presión arterial y cardíaca) y capnografía detectó entre los 132 sujetos evaluados que la capnografía identificó todos los casos de hipoxia antes del inicio (sensibilidad 100%; especificidad 64%), concluyéndose que la adición de capnografía al monitoreo estándar para la sedación con propofol en la atención de emergencia de adultos redujo y mejoró la detección temprana de eventos hipóxicos (60).

Otro estudio aleatorizado en el que inscribieron un total de 760 pacientes el análisis por intención de tratar reveló una reducción significativa de la incidencia de desaturación de oxígeno en el brazo de capnografía en comparación con el brazo estándar (38,9% frente a 53,2%;  $P < 0,001$ ), concluyéndose que la monitorización capnográfica adicional de la actividad ventilatoria reduce la incidencia de desaturación de oxígeno e hipoxemia durante la sedación con propofol (61).

Una revisión sistemática de la literatura y metanálisis de efectos aleatorios de ensayos controlados aleatorios (ECA) informaron que la adición de capnografía a la evaluación visual y la oximetría de pulso se asoció con una reducción significativa de la desaturación leve (riesgo relativo [RR] 0,77, IC del

95 %: 0,67 a 0,89) y grave (RR 0,59, IC del 95 %: 0,43 a 0,81), así como en el uso de ventilación asistida (OR 0,47, IC 95% 0,23 a 0,95). Concluyendo que el uso de capnografía se asoció con una desaturación de oxígeno menos leve y severa, lo que puede haber ayudado a evitar la necesidad de ventilación asistida, el metanálisis mostró una reducción del compromiso respiratorio (de insuficiencia respiratoria a falla) durante la sedación y analgesia de procedimiento con la inclusión de la monitorización con capnografía (62).

La Sociedad Estadounidense de Anestesiólogos (ASA, por sus siglas en inglés) modificó sus Estándares para el control anestésico básico incluyendo el control obligatorio del dióxido de carbono ( $\text{EtCO}_2$ ) espirado al final de la espiración durante la sedación tanto moderada como profunda (63).

La Sociedad Europea de Anestesiología (ESA) y el Consejo Europeo de Anestesiología recomienda con un nivel de evidencia A y grado de recomendación fuerte utilizar en todos los pacientes sometidos a sedación procedural la capnografía para facilitar la detección temprana de problemas ventilatorios (64).

La Asociación de Anestesiólogos de Gran Bretaña e Irlanda recomienda que para la sedación de procedimiento se requiere un control mínimo de electrocardiograma,  $\text{SpO}_2$  y presión arterial no invasiva. La capnografía se debe usar durante la sedación para procedimientos siempre que haya pérdida de respuesta al contacto verbal (54).

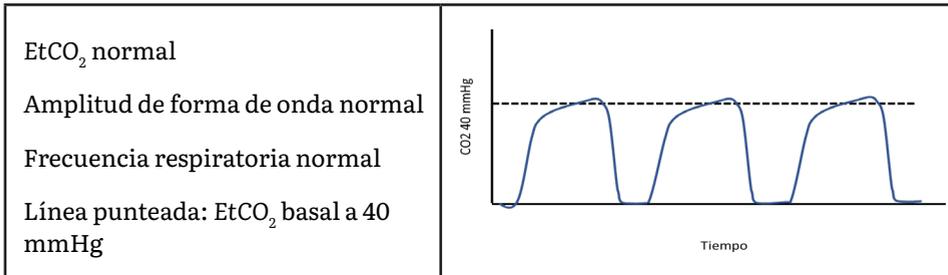
Además de la monitorización continua mediante observación visual, presión arterial no invasiva, electrocardiograma y oximetría de pulso se debe utilizar la capnografía para la evaluación continua de la ventilación, dado que monitoriza la concentración de dióxido de carbono al final de la espiración, que en teoría es más sensible a la hipoventilación alveolar que la  $\text{SpO}_2$ , (64). Sin embargo, si el paciente tiene una hipoventilación severa, el capnograma puede mostrar un número bajo durante varias respiraciones, ya que solo se puede exhalar aire del “espacio muerto” hasta que se produzca una respiración profunda y muestre un valor alto (5).

La evidencia ha demostrado que la capnografía proporciona indicaciones más tempranas de apnea que la oximetría de pulso (65, 66). Un metanálisis realizado en 2011 con el objetivo de determinar si la capnografía, además del monitoreo estándar, identifica más complicaciones respiratorias que el monitoreo estándar solo, determinó que durante la sedación y analgesia de procedimiento (PSA) los casos de depresión respiratoria tenían 17,6 veces más

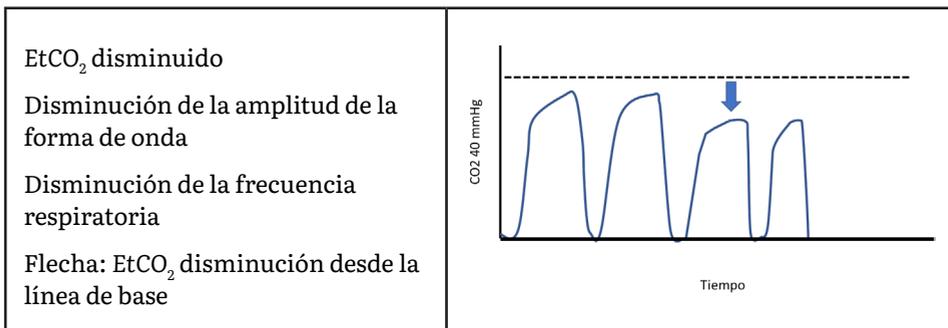
probabilidades de ser detectados si se controlaban con capnografía en comparación con la monitorización estándar (IC del 95 %, 2,5-122,1;  $P < 0,004$ ), concluyéndose que la monitorización del dióxido de carbono al final de la espiración es una adición importante para detectar la depresión respiratoria durante el PSA (67).

La capnografía en los pacientes que se espera que reciban una sedación moderada o profunda proporciona la forma de onda de ventilación, la frecuencia respiratoria y el  $\text{EtCO}_2$ , que se utilizan para predecir la hiperventilación por analgesia inadecuada, así como la hipoventilación por exceso de sedación (Ilustración 59). La capnografía ayuda al especialista a valorar los medicamentos para los pacientes, especialmente los adultos mayores, brinda señales de advertencia tempranas de eventos respiratorios adversos durante los procedimientos y mejora la atención al paciente (36). También se recomienda para ayudar a monitorear la permeabilidad de las vías respiratorias, la frecuencia y el patrón respiratorio (54). Ver ilustraciones 59 a 63.

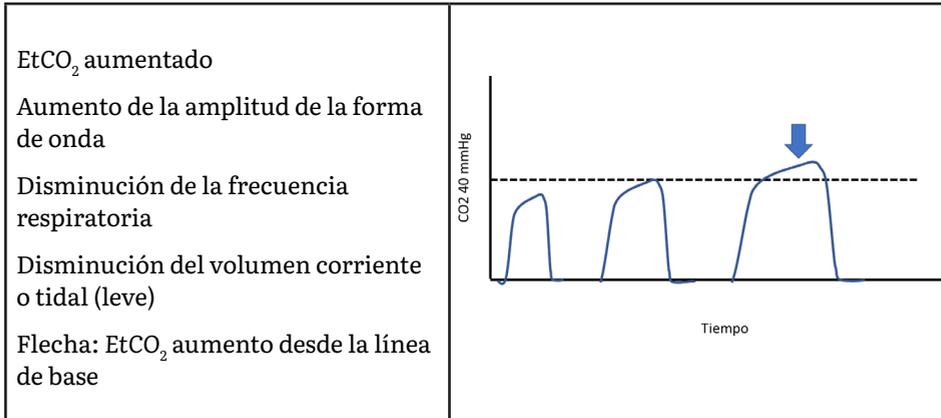
**Ilustración 59.**  $\text{EtCO}_2$  Normal Durante La Sedación Procedimental Normal.



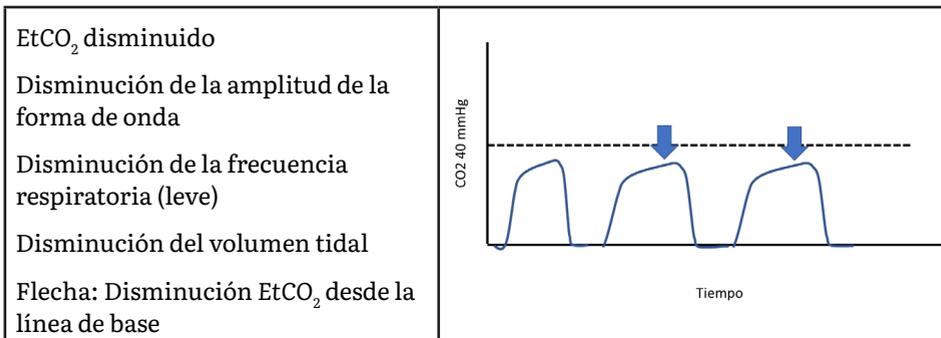
**Ilustración 60.** Hiperventilación.



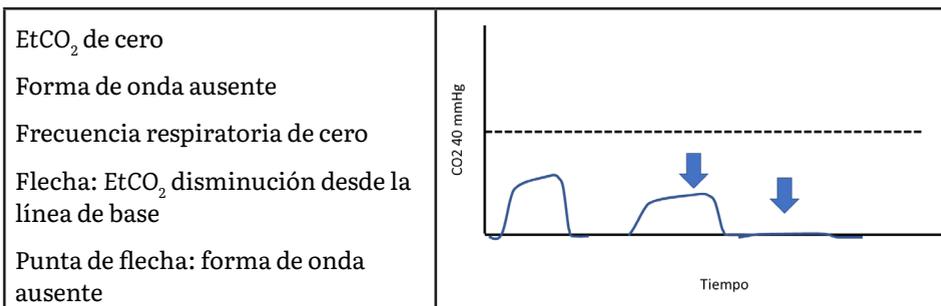
**Ilustración 61.** Hipoventilación bradipneica.



**Ilustración 62.** Hipoventilación hipoapneica.



**Ilustración 63.** Hipoventilación y apnea.



**Fuente:** Traducido de Huang, C. H., & Wei, K. H. “Applications of Capnography in Airway Management Outside the Operating Room.” *Signa Vitae*, vol. 17, no. 4, 2021, p. 18-24.

## Capnografía Durante la Reanimación Cardiopulmonar

El dióxido de carbono al final de la espiración ( $\text{EtCO}_2$ ) es la presión parcial de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en los gases respiratorios al finalizar una respiración exhalada. Este valor refleja tanto el gasto cardíaco (GC) como el flujo sanguíneo pulmonar, y es un indicador indirecto de la presión de perfusión coronaria, ya que el  $\text{CO}_2$  es transportado por el sistema venoso hacia el lado derecho del corazón antes de ser bombeado hacia los pulmones por el ventrículo derecho. Los niveles bajos de  $\text{EtCO}_2$  se observan comúnmente durante un paro cardíaco, lo que refleja el gasto cardíaco comparativamente bajo proporcionado por la reanimación cardiopulmonar (RCP) (68).

La calidad de la reanimación cardiopulmonar (RCP) depende de muchos componentes, como el manejo de las vías respiratorias, la profundidad de compresión y el retroceso torácico, el tiempo de no intervención y la desfibrilación temprana. La forma más común de controlar los esfuerzos de reanimación es el monitoreo del dióxido de carbono al final de la de la espiración. El dióxido de carbono al final de la espiración se correlaciona altamente con el gasto cardíaco, el flujo sanguíneo miocárdico, la presión diastólica aórtica, la presión de perfusión coronaria, el índice cardíaco y la presión de perfusión cerebral (3).

Los datos sobre la oxigenación y la ventilación durante el manejo de las vías respiratorias mediante RCP han revelado resultados nocivos en pacientes con hiperoxia o hipoxia e hipercapnia o hipocapnia. La capnografía podría ser una forma eficaz de controlar la tasa de ventilación durante la RCP previniendo la hiperventilación y, por tanto, la tendencia a la hipocapnia o hiperoxia (69).

El manejo de las vías respiratorias y la ventilación son componentes esenciales de la reanimación cardiopulmonar para lograr el suministro de oxígeno a fin de prevenir lesiones hipóxicas y aumentar las posibilidades de supervivencia (70).

En la reanimación prehospitalaria la capnografía de forma de onda tiene un papel importante en varios aspectos. En primer lugar, representa el estándar de oro para confirmar la posición correcta del tubo y en segundo lugar, se puede utilizar para controlar la calidad de las compresiones torácicas, la detección de retorno de la circulación espontánea (ROSC), el control de la frecuencia de ventilación y el pronóstico. Además, dado que algunas causas de paro cardíaco conducen a un  $\text{CO}_2$  al final de la espiración más bajo o

alto de lo esperado, puede usarse para el diagnóstico diferencial. Después de ROSC la ventilación se puede ajustar de acuerdo con el CO<sub>2</sub> al final de la espiración (70).

Las Directrices de la American Heart Association (AHA) del 2020 para reanimación cardiopulmonar (RCP) y atención cardiovascular de emergencia (ACE) mencionan que puede ser razonable utilizar parámetros fisiológicos como el ETCO<sub>2</sub> y la onda de capnografía, cuando sea posible, para monitorear y optimizar la calidad de RCP, guiar el tratamiento con vasopresores y detectar el retorno de la circulación espontánea (RCE) (71).

La revisión sistemática realizada por Cereceda-Sánchez, et al (2019) ha demostrado que la capnografía facilita la práctica clínica avanzada de la ventilación con mascarilla en la reanimación cardiopulmonar, tras el análisis de la evidencia recolectada (cuatro ensayos clínicos aleatorizados y trece estudios observacionales) recomiendan un nivel capnográfico de C en adultos y B en recién nacidos (72).

Algunos resultados de los estudios publicados indican que la capnografía tiene el potencial de facilitar la práctica clínica avanzada de ventilación con dispositivos de vía aérea supraglótica durante la reanimación cardiopulmonar, sin embargo, la evidencia hasta el momento es escasa, en su mayoría de estudios observacionales con alto riesgo de sesgo, no se ha publicado ninguna revisión específica sobre el uso de dispositivos supraglóticos con monitorización capnográfica durante la RCP; conllevando a no establecer un grado de recomendación (69).

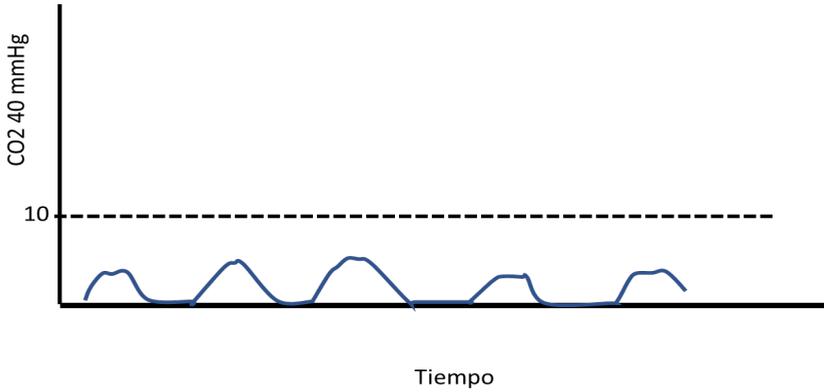
EtCO<sub>2</sub> se convierte en un indicador en tiempo real para evaluar la efectividad de las compresiones cardíacas al reflejar el flujo sanguíneo pulmonar. Se logran compresiones torácicas de alta calidad cuando EtCO<sub>2</sub> es de 10 a 20 mmHg. Además, un aumento abrupto de EtCO<sub>2</sub> (35–45 mmHg) puede indicar el retorno de la circulación espontánea (Ilustración 64) (36).

Las Directrices del Consejo Europeo de Reanimación 2021 recomiendan la capnografía de forma de onda durante el soporte vital avanzado en las siguientes circunstancias: **i)** para confirmar la colocación correcta del tubo traqueal durante la RCP. **ii)** para controlar la calidad de la RCP. **iii)** Un aumento de EtCO<sub>2</sub> durante la RCP puede indicar que se ha producido retorno de la circulación espontánea (ROSC). Sin embargo, la compresión torácica no debe interrumpirse basándose solo en este signo. Aunque los valores altos y crecientes de EtCO<sub>2</sub> se asocian con mayores tasas de ROSC y supervivencia

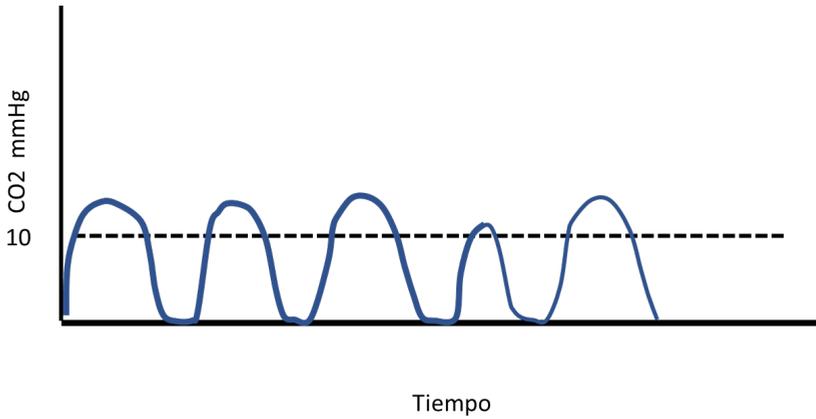
después de la RCP, no usar el valor bajo de EtCO<sub>2</sub> solo para decidir si se debe detener un intento de reanimación (73).

**Ilustración 64.** Valoración Capnográfica Durante la Reanimación Cardiopulmonar.

Compresión torácica EtCO<sub>2</sub> ineficaz <10 mmHg durante la RCP - Línea punteada:  
EtCO<sub>2</sub> basal a 10 mmHg

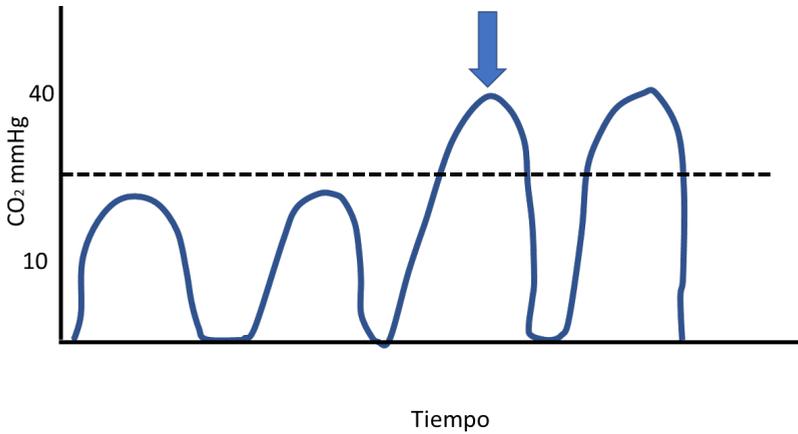


Compresión torácica efectiva EtCO<sub>2</sub> >10 mmHg durante la RCP



Un incremento abrupto de EtCO<sub>2</sub> puede indicar un retorno de la circulación espontánea.

Flecha: un aumento abrupto de EtCO<sub>2</sub> superior a 10–15 mmHg



**Fuente:** Traducido de Huang, C. H., & Wei, K. H. “Applications of Capnography in Airway Management Outside the Operating Room.” *Signa Vitae*, vol. 17, no. 4, 2021, pp. 18-24.

## Capnografía Durante el Paro Cardíaco

El paro cardíaco extrahospitalario continúa siendo una condición devastadora a pesar de los avances en el cuidado de la reanimación. Asegurar un intercambio de gases eficaz debe sopesarse frente al impacto negativo que la hiperventilación puede tener en la fisiología cardíaca y la supervivencia (74).

La ventilación puede desempeñar un papel crucial en la reanimación de un paro cardíaco al permitir la administración adecuada de oxígeno y la eliminación significativa de dióxido de carbono, mejorando así el metabolismo celular. Los factores modificables que afectan la ventilación extrahospitalaria incluyen la frecuencia, el volumen tidal, el tiempo de administración de la ventilación, la presión en las vías respiratorias y el momento de las compresiones torácicas (74).

En parada cardíaca extrahospitalaria prolongada, los niveles de EtCO<sub>2</sub> <10 mmHg se asocian consistentemente con un mal resultado, mientras que los niveles por encima de este umbral se han sugerido como un criterio para considerar a los pacientes para reanimación extracorpórea de rescate. Los

niveles iniciales de  $\text{EtCO}_2 >10 \text{ mmHg}$  se correlacionan con un aumento de ROSC y supervivencia al ingreso hospitalario, estudios han demostrado que la supervivencia de un paro cardíaco depende de la provisión de una perfusión adecuada a los órganos vitales (75).

Las directrices de la American Heart Association para la reanimación cardiopulmonar y la atención cardiovascular de emergencia de 2010 sugirió 1) un monitor de  $\text{CO}_2$  exhalado sin forma de onda, además de la evaluación clínica, como el método inicial para confirmar la colocación correcta del tubo en un paciente con paro cardíaco si la capnografía de forma de onda no está disponible. 2) Se sugiere la capnografía cuantitativa en forma de onda en pacientes intubados para monitorear la calidad cardiopulmonar, optimizar las compresiones torácicas y detectar el retorno de la circulación espontánea durante las compresiones torácicas o cuando la verificación del ritmo revela un ritmo organizado (76).

La capnografía tiene muchas aplicaciones diferentes en el manejo de la reanimación por paro cardíaco fuera del hospital, incluida la confirmación del tubo endotraqueal, la evaluación del desalojo del tubo endotraqueal, la garantía de la calidad de las compresiones torácicas, la detección del retorno de la circulación espontánea, la ayuda en la terminación de las decisiones de reanimación y la optimización ventilación (74). Al identificar a la capnografía como herramienta de monitorización útil durante la reanimación, las directrices actuales para el soporte vital avanzado recomiendan no utilizar los valores de  $\text{EtCO}_2$  de forma aislada para la toma de decisiones en el manejo de un paro cardíaco (75).

La capnografía de forma de onda permite monitorear la tasa de ventilación durante la RCP; sin embargo, la interferencia de los artefactos de compresión torácica puede degradar la detección de ventilación y causar falsas alarmas de hiperventilación (75). Las lecturas de  $\text{EtCO}_2$  también se ven afectadas por los cambios en la ventilación por minuto, las compresiones torácicas, la etiología del paro cardíaco (ej., paro no presenciado, embolia pulmonar, paro precipitado por asfixia), la duración del paro cardíaco y la administración de medicamentos en bolo (ej., bicarbonato de sodio y epinefrina) (74). El uso del análisis automatizado del capnograma puede reducir el error de medición de la tasa de ventilación a  $1,8 \text{ respiraciones} \cdot \text{min}^{-1}$  y la precisión de las alarmas de ventilación a  $>99\%$  (75).

Los volúmenes corrientes generados por la compresión torácica (que dependen de la permeabilidad de las vías respiratorias intratorácicas, la fisiología

del paciente y el error del equipo) pueden causar artefactos (es decir, oscilaciones) en las formas de onda de EtCO<sub>2</sub> lo que puede dificultar la interpretación precisa de la calidad de la RCP y la ventilación. Una estrategia para ayudar con la interpretación de las formas de onda de EtCO<sub>2</sub> con oscilaciones es usar el EtCO<sub>2</sub> máximo registrado entre ventilaciones ininterrumpidas, ya que esto probablemente refleja el CO<sub>2</sub> alveolar preciso (74).

Dado que se espera que EtCO<sub>2</sub> refleje la perfusión de los órganos durante la RCP, no solo puede representar un objetivo de reanimación, sino también un predictor que indica cuándo la RCP prolongada es inútil. Se ha investigado como predictor de ROSC en etapas más tempranas de la reanimación, cuando podría ser incluso clínicamente más útil, pero la evidencia muestra que en este caso su precisión es generalmente menor (75).

En general, los valores de EtCO<sub>2</sub> tienden a disminuir durante la RCP en pacientes en los que la reanimación no tiene éxito, mientras que tienden a aumentar en aquellos que logran ROSC, lo que probablemente refleja una mejora progresiva en la perfusión tisular y el retorno venoso. Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre el valor predictivo de EtCO<sub>2</sub> tienen limitaciones importantes, que incluyen la falta de análisis de potencia, cegamiento, ventilación no controlada durante la RCP y tiempos inconsistentes o indefinidos de medición de EtCO<sub>2</sub>, se necesitan estudios bien diseñados para identificar mejor los tiempos de medición óptimos y los valores de corte para el pronóstico usando este indicador (75).

El síndrome posparada cardiaca es un tema complejo y crítico en pacientes reanimados que han sufrido una parada cardiaca. La lesión por isquemia-reperfusión ocurre en múltiples órganos debido al retorno de la circulación espontánea. Se requiere un conjunto de prácticas de gestión para la atención posterior a un paro cardiaco. Los monitoreos incluyen electrocardiograma, oximetría, capnografía y electroencefalografía (EEG) junto con la presión arterial, la temperatura y los signos vitales (77).

### **Monitorización continua durante el transporte de pacientes**

La capnografía proporciona al menos dos ventajas durante el transporte intrahospitalario (TIH) de pacientes en estado crítico. Primero, la extubación no planificada de un tubo endotraqueal (TET) puede ocurrir durante el TIH, y la ayuda en la detección temprana del desalojo del TET. La monitorización del CO<sub>2</sub> es el método más fiable para detectar el desprendimiento de un TET o tubo de traqueotomía durante la anestesia. Segundo, la capnografía

puede ser una estimación no invasiva del gasto cardíaco. Una disminución repentina de  $\text{EtCO}_2$  que retiene una forma de onda cuadrada puede sugerir una disminución repentina en la perfusión pulmonar causada por una obstrucción del flujo sanguíneo pulmonar, como un trombo, aire o grasa, o por un gasto cardíaco reducido. La capnografía proporciona información adicional en condiciones hemodinámicas tan inestables como el THI (36).

### **Capnografía en la Unidad de Cuidados Intensivos**

Las mediciones y cálculos derivados en la capnografía están influenciados por los cambios tanto en la ventilación como en la perfusión y, por lo tanto, son útiles para evaluar la función respiratoria y cardiovascular (78).

La capnografía tiene amplias aplicaciones en el manejo respiratorio en la unidad de cuidados intensivos, como la exhalación de  $\text{CO}_2$  requiere perfusión a los alvéolos, la capnografía se puede utilizar como una medición indirecta del flujo sanguíneo pulmonar (QP), y en pacientes con fisiología cardíaca normal, puede ser una evaluación indirecta del gasto cardíaco (GC). El volumen de eliminación de  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) es el volumen de dióxido de carbono eliminado por cada respiración. Se obtiene mediante el análisis de la capnografía volumétrica y se mide en ml/min. Por lo tanto, el  $\text{VCO}_2$  depende de la producción de  $\text{CO}_2$  del paciente, el flujo sanguíneo pulmonar y la ventilación por minuto. Con una ventilación minuto y un estado metabólico estables, el  $\text{VCO}_2$  se convierte en un indicador indirecto del QP y, por extensión, del GC en pacientes con fisiología cardíaca normal (79).

Se ha utilizado para monitorear la ventilación fisiológica del espacio muerto y sirve como guía para optimizar el intercambio de gases durante la ventilación mecánica (79). La ventilación mecánica es un modo de apoyo comúnmente requerido durante la anestesia general o en la UCI. Desafortunadamente,  $\text{SpO}_2$  no proporciona la información necesaria sobre la ventilación y la eliminación de  $\text{CO}_2$ . Esto es importante porque la mala ventilación y la hipercarbia pueden conducir a acidosis respiratoria y colapso cardiovascular que puede no detectarse con oximetría de pulso hasta muy tarde en la oxigenoterapia suplementaria (33).

El estudio prospectivo realizado por el Royal College of Anesthetists y la Difficult Airway Society, investigó las principales complicaciones del manejo de las vías respiratorias en el Reino Unido bajo el cual recomendó la monitorización continua con capnografía en todos los pacientes con una vía aérea artificial (37).

Los estudios realizados durante las últimas décadas han demostrado con claridad que la capnografía puede proporcionar información pronóstica importante en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda y que la  $PtCO_2$  al final de la espiración no debe utilizarse para estimar o incluso para controlar la dirección del cambio en la  $PaCO_2$  en pacientes de la unidad de cuidados intensivos con ventilación mecánica. La evidencia más prometedora se relaciona con su uso en la medición no invasiva del gasto cardíaco y la optimización del reclutamiento alveolar en pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda con ventilación mecánica (78).

Durante muchos años, la reanimación con volumen intravascular en pacientes con signos de perfusión inadecuada de órganos y tejidos se basó, en una buena parte en las mediciones de la presión venosa central o la presión de enclavamiento de la arteria pulmonar. Más recientemente, ha quedado claro que estas mediciones dicen poco sobre la “capacidad de respuesta al volumen”. La respuesta al volumen se evalúa con mayor precisión midiendo el gasto cardíaco antes y después de una prueba de volumen o una maniobra de elevación pasiva de la pierna (PLR), esto se puede hacer con un catéter en la arteria pulmonar o, más comúnmente, usando una de varias técnicas cuantitativas mínimamente invasivas o no invasivas, incluida la capnografía (78).

Se ha utilizado el método de Fick diferencial en el desarrollo de técnicas de nueva generación para la monitorización continua no invasiva del gasto cardíaco a partir de la medición de la eliminación de dióxido de carbono en pacientes ventilados (80).

En Fick diferencial, las estimaciones concurrentes no invasivas de contenido de oxígeno en el extremo capilar pulmonar ( $CcCO_2$ ) y  $VCO_2$  se realizan en dos puntos de tiempo independientes, que se diferencian por una pequeña variación en la ventilación alveolar. La primera medición se realiza en una fase de estado estable, después de lo cual se introduce un cambio repentino en el  $CO_2$  alveolar y se realiza un segundo registro. Siempre que la variación transitoria en la eliminación de  $CO_2$  sea de magnitud óptima,  $CvCO_2$  se puede considerar como constante durante el cambio en la ventilación (81).

Esto permite la estimación del flujo sanguíneo pulmonar que participa en el intercambio de gases, conocido como flujo sanguíneo pulmonar efectivo (EPBF), sin necesidad de un análisis invasivo de gases en sangre. La mayoría de los métodos de monitorización del gasto cardíaco basados en  $CO_2$  se basan en este principio, la diferencia entre los enfoques radica principalmente

en cómo se induce el cambio en la ventilación. En el método capnodinámico actual, el cambio es generado por variaciones rítmicas en la relación de inspiración a espiración (I:E). Las variaciones en esta inducen cambios en la concentración y eliminación de  $\text{CO}_2$  alveolar, relacionados con el flujo sanguíneo alveolar (81).

La extensa validación preclínica en modelos animales de inestabilidad hemodinámica, con sondas de flujo ultrasónico implantadas para mediciones de referencia estándar de oro, muestra que este enfoque ofrece una medición confiable y continua del gasto cardíaco en tiempo real. El progreso en el desarrollo de estas tecnologías sugiere que un método sólido, automatizado, confiable de monitoreo no invasivo del gasto cardíaco y está al alcance de la mano para su uso en cuidados intensivos. La gran ventaja de este enfoque es que puede integrarse completamente la máquina de anestesia y el ventilador, utilizando componentes que ya son estándar en las unidades de cuidados intensivos y debe ser prácticamente automático (80).

Las ventajas de la técnica de respiración parcial de  $\text{CO}_2$  son que no es invasiva y puede proporcionar mediciones casi continuas del gasto cardíaco. Las desventajas son que solo se puede usar en pacientes intubados y con ventilación mecánica y que se basa en muchas suposiciones. Específicamente, la precisión de la técnica depende de 1) qué tan cerca  $P_{\text{etCO}_2}$  se aproxima a  $P_{\text{aCO}_2}$ , 2) qué tan cerca  $\text{SpO}_2$  se aproxima a la verdadera saturación de hemoglobina arterial, 3) si  $\text{CaCO}_2$  y  $\text{PaO}_2$  se pueden calcular con precisión a partir del  $\text{CO}_2$  predicho y las curvas de disociación  $\text{O}_2$ , y 4) si  $\text{Q}'\text{S}/\text{Q}'\text{T}$  puede determinarse con precisión únicamente sobre la base de  $\text{FiO}_2$  y  $\text{PaO}_2$  (78).

Desde la descripción inicial del síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) en 1967, la presión de final de espiración positiva (PEEP) ha sido una parte esencial del manejo. Al aumentar el volumen pulmonar al final de la espiración, la PEEP permite que los alvéolos reclutados durante una respiración con presión positiva permanezcan abiertos durante todo el ciclo respiratorio, lo que reduce el cortocircuito intrapulmonar y aumenta la presión parcial y el contenido de oxígeno arterial. Sin embargo, también se ha reconocido que la PEEP podría reducir significativamente el retorno venoso, el gasto cardíaco y la presión arterial (78).

La capnografía de volumen se ha utilizado en la búsqueda de PEEP ideal. El reclutamiento alveolar reduce el espacio muerto alveolar y fisiológico al desviar el gas de los alvéolos previamente sobre ventilados y aumenta transitoriamente la excreción de  $\text{CO}_2$  al aumentar el área de superficie de la

interfaz gas-sangre. La sobredistensión alveolar, sin embargo, aumenta el espacio muerto y reduce la excreción de  $\text{CO}_2$ , ya que la ventilación alveolar excesiva y la compresión de los capilares pulmonares aumentan el número de alvéolos  $V/Q$  altos. El uso de la capnografía de volumen para optimizar el reclutamiento alveolar es particularmente atractivo porque las mediciones se pueden repetir fácilmente de forma regular o según lo dictado por los cambios en la condición clínica del paciente (78).

### **Capnografía para la Extubación Rápida o Durante el Destete de la Ventilación Mecánica**

La extubación rápida (FTE) es un método aceptado para desconectar a los pacientes de la ventilación mecánica (VM). La VM a largo plazo puede desencadenar ciertas complicaciones, como infección, atelectasia y aumento de la mortalidad. Con un manejo adecuado y retiro temprano del tubo endotraqueal se reducirían las complicaciones y costos. Utilizando una técnica de anestesia adecuada durante la cirugía y el manejo posquirúrgico, la FTE se puede aplicar sin complicaciones específicas (82).

La preparación de los pacientes para el destete generalmente se evalúa mediante el muestreo de gases en sangre arterial. Los gases en sangre arterial (ABG) se consideran el estándar de oro para evaluar los niveles de oxigenación y la ventilación durante la VM postoperatoria, sin embargo, este proceso presenta numerosos inconvenientes. Por lo tanto, para minimizar las complicaciones reportadas por la evidencia y tener un acceso más fácil, se debe considerar la monitorización continua de  $\text{CO}_2$  mediante un método no invasivo (82, 83).

La capnografía se ha convertido en el estándar de atención para la monitorización respiratoria básica de pacientes intubados en la unidad de cuidados intensivos. Además, se ha utilizado para ajustar los parámetros ventilatorios durante la ventilación mecánica (VM) (84). Sin embargo, sigue existiendo un debate sustancial sobre si la capnografía es útil durante el proceso de destete y extubación de la VM durante el período posoperatorio, pues su uso es controvertido, dado que existen numerosas diferencias entre los datos existentes y no hay recomendaciones similares (82, 84).

En un estudio observacional en el que se analizaron 82 mediciones, concluyó que las mediciones y el análisis de las características extraídas de un capnograma pueden diferenciar los resultados de la extubación en pacientes lactantes con VM, lo que reduce la inestabilidad fisiológica causada por la falla

en este proceso (84). En un estudio prospectivo observacional de pacientes con traumatismos intubados en el servicio de urgencias la correlación  $\text{EtCO}_2$   $\text{PaCO}_2$  fue pobre en  $R^2 = 0,277$ , por lo tanto, no debe usarse para guiar la ventilación en este tipo de pacientes (85).

En la retirada de la ventilación mecánica la capnografía puede servir para (31):

- Detectar respiraciones ineficaces y esfuerzos inspiratorios. En modalidades espontáneas, puede detectar movimientos respiratorios que movilizan únicamente el aire contenido en el espacio muerto. La curva del capnograma tendrá un ascenso pequeño o nulo y valores bajos de  $\text{PEtCO}_2$ , sin alcanzar la meseta característica de la fase III. También puede identificar esfuerzos respiratorios que no consiguen abrir la válvula inspiratoria, y distinguir las ventilaciones proporcionadas por el ventilador de las realizadas por el paciente.
- Valorar la frecuencia respiratoria y el patrón ventilatorio. Siguiendo la curva del capnograma se puede evaluar la frecuencia respiratoria y el patrón ventilatorio. En ventilación espontánea sirve para detectar la presencia de pausas espiratorias prolongadas y/o alteraciones del ritmo que pueden ser signos de la posibilidad de fracaso en la extubación.
- Detectar situaciones de ventilación de espacio muerto o cortocircuito pulmonar, mediante la valoración del gradiente  $\text{PEtCO}_2$ - $\text{PaCO}_2$ .

### **Capnografía en la Medicina del Sueño**

El polisomnograma es el método de diagnóstico “estándar de oro” para evaluar el sueño y las anomalías ventilatorias relacionadas. Con la evolución del interés clínico significativo en los trastornos respiratorios relacionados con el sueño, el uso de la polisomnografía se ha ampliado para incluir una evaluación más detallada de la respiración durante el sueño. El sueño cumple múltiples funciones en los seres humanos, incluidas las bioquímicas (secreción de hormonas anabólicas, síntesis de proteínas, conservación de energía), fisiológicas y neurológicas (86).

El sueño modifica los procesos químicos ( $\text{pH}$ ,  $\text{PaO}_2$  y  $\text{PaCO}_2$ ) y mecánicos (volumen pulmonar y tono muscular de las vías respiratorias superiores), modulando la ventilación además de eliminar el control consciente de la misma. El sueño se asocia a una disminución de la ventilación que se acentúa durante la progresión de las dos fases del sueño (movimiento ocular no rápido (NREM) a movimiento ocular rápido (REM), caracterizándose por una

disminución progresiva del volumen minuto, con un aumento de la  $\text{PaCO}_2$ , y una capacidad de respuesta embotada a este aumento (86).

La apnea obstructiva del sueño (AOS) se caracteriza por el cierre repetitivo de la vía aérea superior durante el sueño, lo que lleva a la excitación fuera del sueño y a la desaturación repetitiva durante y después de estos eventos, es decir una reducción sustancial (hipopnea) o un cese completo (apnea) del flujo de aire a pesar de los esfuerzos respiratorios continuos. Se trata de una enfermedad que no se caracteriza simplemente por su presencia o ausencia, sino, más bien, por su desarrollo a lo largo de un espectro de gravedad. El trastorno se asocia con importantes comorbilidades, incluida la somnolencia diurna excesiva y un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular e implicaciones en la calidad de vida y salud mental (87, 88).

La capnografía puede añadir información significativa a la definición de los episodios obstructivos francos, ya que la señal de  $\text{CO}_2$  al final de la espiración se pierde por completo durante los episodios obstructivos y regresa con la recuperación de la permeabilidad de la vía aérea superior. Los cambios en la  $\text{PEtCO}_2$  secundarios a la obstrucción parcial de las vías respiratorias y las elevaciones de la  $\text{PEtCO}_2$  en el contexto de la hipoventilación obstructiva o las alteraciones persistentes de la resistencia de las vías respiratorias superiores también pueden definirse mediante la capnografía (86).

Además de proporcionar una importante herramienta complementaria en el ámbito clínico, la capnografía se aplica en el ámbito de la investigación como medio para evaluar los mecanismos de control ventilatorio en pacientes con apnea del sueño y comprender los efectos del tratamiento con presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) sobre el control ventilatorio en la AOS (86).

Por último, esta tiene aplicaciones prácticas como herramienta de diagnóstico en pacientes con ictus y otros trastornos relacionados que pueden presentar un mayor riesgo de AOS, pero que probablemente tolerarían mal la polisomnografía (89).

La incorporación integral en la práctica clínica tiene un gran potencial para mejorar la evaluación del sueño en muchos pacientes (86). Un índice de apnea-hipopnea (IAH) basado en capnografía, calculado a partir de las ondas de dióxido de carbono espirado, se correlaciona significativamente con el IAH medido por polisomnografía (PSG). Sin embargo, la clasificación de las apneas e hipopneas no está bien validada. Para evaluar la hipoventilación

tilación durante la PSG de rutina, con frecuencia, el dióxido de carbono transcutáneo y el dióxido de carbono al final de la espiración son utilizados como marcadores sustitutos de la tensión arterial de dióxido de carbono ( $\text{PaCO}_2$ ). Además, el esfuerzo respiratorio podría evaluarse mediante bandas toracoabdominales, tiempo de tránsito del pulso (PTT) y electromiografía (EMG) del músculo diafragmático (90).

### **Capnografía en Ventilación Presión Positiva no Invasiva (VPPN)**

La ventilación con presión positiva no invasiva (NPPV, por sus siglas en inglés) es la administración de ventilación mecánica asistida sin necesidad de una vía aérea artificial invasiva. Es un medio seguro y eficaz para mejorar el intercambio gaseoso en pacientes con muchas formas de enfermedad respiratoria aguda (91).

La NPPV ha sido eficaz en el tratamiento de varias enfermedades respiratorias crónicas, estas enfermedades incluyen EPOC crónica estable con hiper-capnia, síndrome de hipoventilación por obesidad, apnea obstructiva del sueño, insuficiencia respiratoria secundaria a enfermedad neuromuscular y trastornos torácicos restrictivos (92).

Sin embargo, es posible que los ajustes de VNI determinados empíricamente no logren un apoyo ventilatorio óptimo. Por lo tanto, la eficacia de la VNI debe controlarse sistemáticamente. Los pacientes deben ser monitoreados de cerca en busca de signos de falla de ventilación e intubados de inmediato antes de que se desarrolle una crisis (93).

Las mejoras tecnológicas observadas en la monitorización volumétrica y basada en el tiempo del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) han aumentado la adopción de la capnografía en el monitoreo de la ventilación con presión positiva no invasiva. El carácter no invasivo tanto de la VPN como de la capnografía hace que la combinación sea atractiva para el manejo clínico de la insuficiencia respiratoria aguda y crónica (94).

La guía de práctica clínica de la American Association for Respiratory Care 2011 resume las indicaciones para el uso de la monitorización de  $\text{CO}_2$  durante la ventilación mecánica, incluye las relacionadas con terapia de ventilación con presión positiva no invasiva (NPPV) (76). Sin embargo, durante la ventilación no invasiva, medir el  $\text{CO}_2$  en el gas exhalado es difícil porque los ventiladores diluyen activamente el gas exhalado. Para obtener una medi-

ción precisa del  $\text{CO}_2$  al final de la espiración, es necesario llenar una celda de medición de  $\text{CO}_2$  con una cantidad adecuada de gas espirado antes de que el gas del ventilador llegue a la celda (94).

El principal problema de la medición de  $\text{CO}_2$  durante la ventilación no invasiva es que la elección de la ubicación del sitio de medición de  $\text{CO}_2$  está limitada al tamaño y peso del sensor. Durante la ventilación no invasiva, si el puerto de exhalación está ubicado cerca del sitio de medición de  $\text{CO}_2$ , sería difícil monitorear el  $\text{CO}_2$  con precisión ya que el puerto de exhalación generalmente elimina el gas de  $\text{CO}_2$  exhalado antes de alcanzar el sitio de medición  $\text{CO}_2$  (95).

### Capnografía en Pacientes Pediátricos

La capnografía ha demostrado ser un útil monitor perioperatorio no invasivo de la fisiología y seguridad del niño. En particular, la capnografía se usa durante la anestesia pediátrica de rutina para evaluar la ventilación y como medida sustituta de la presión de dióxido de carbono arterial ( $\text{PaCO}_2$ ) (41). Un artículo de revisión reveló una lista 44 aplicaciones clínicas diferentes o interpretaciones de la capnografía en niños, clasificadas en seis categorías: suministro de anestesia, vía aérea, respiración, circulación, homeostasis y no perioperatorio (96).

La capnografía tiene aplicaciones específicas de diagnóstico para pacientes pediátricos con cardiopatía congénita, enfermedad reactiva de las vías respiratorias, emergencias neurológicas y trastornos metabólicos. Esta modalidad permite la monitorización no invasiva y se ha convertido en el estándar de atención continua en las UCI (97). La guía de la ERC recomienda utilizar la capnografía en todos los niños intubados para detectar precozmente la obstrucción, la mala posición o el desplazamiento (73). Puede utilizarse tanto para la comprobación de la colocación como la monitorización de la colocación del tubo endotraqueal (98).

En recién nacidos el monitoreo de los niveles de dióxido de carbono, particularmente aquellos que requieren ventilación mecánica invasiva, es esencial para guiar las estrategias de soporte respiratorio. El mantenimiento de la normocapnia en los recién nacidos es vital debido al impacto adverso que los niveles extremos de presiones parciales de dióxido de carbono ( $\text{PCO}_2$ ) pueden tener sobre los resultados neurológicos, especialmente los nacidos extremadamente prematuros. Valores altos de  $\text{PCO}_2$  durante la primera 72 h después del nacimiento son un predictor dependiente de la dosis

de hemorragia intraventricular (HIV) en prematuros y partos bajos recién nacidos de peso (99).

La duración de los niveles bajos de  $PCO_2$  durante la primera semana después del nacimiento se ha relacionado con un riesgo posterior de desarrollar leucomalacia periventricular (PVL) (100) con niveles de  $PCO_2$  inferior a 30 mmHg en las primeras 48 horas, lo que pone a los lactantes en mayor riesgo (101).

Las fluctuaciones de  $PCO_2$  en bebés de muy bajo peso al nacer también se han relacionado con malos resultados del desarrollo neurológico a los 18 meses de edad en aquellos expuestos tanto a hipercapnia como a grandes fluctuaciones en valores de dióxido de carbono (102). La monitorización del dióxido de carbono ( $CO_2$ ) es vital durante la ventilación mecánica de los recién nacidos, ya que la morbilidad aumenta cuando los niveles de  $CO_2$  son inadecuados (103).

En los lactantes con ventilación mecánica, es útil para monitorear la integridad del circuito del ventilador para la detección temprana de percances, como la extubación traqueal accidental y la desconexión del circuito de respiración, antes de que se produzca un daño irreversible por hipoxia prolongada (104).

La capnografía al final de la espiración puede proporcionar a los médicos valores cuantitativos de  $CO_2$  al final de la espiración ( $EtCO_2$ ) y un seguimiento continuo de la forma de onda del capnograma en tiempo real. Estos dispositivos son cada vez más aceptados para su uso en la población neonatal, ya que los nuevos dispositivos son livianos y tienen un espacio muerto adicional mínimo. Sin embargo, se ha informado que tienen una precisión variable en comparación con las mediciones de  $CO_2$  arterial; no obstante, la divergencia de los resultados puede estar relacionada con la gravedad de la enfermedad más que con las limitaciones tecnológicas (103).

Durante la reanimación, el  $EtCO_2$  se puede detectar mediante capnografía más rápidamente que mediante colorimetría. Además, la capnografía se puede utilizar actualmente en entornos de investigación neonatal para determinar el espacio muerto fisiológico y la falta de homogeneidad de la ventilación y, por lo tanto, tiene potencial para ser beneficiosa para la atención clínica. En conclusión, los modos novedosos de monitoreo de dióxido de carbono no invasivo se pueden utilizar de manera segura y confiable en recién nacidos durante la ventilación mecánica (103).

Como un factor medible durante el soporte vital avanzado en pediatría la guía de la ERC recomienda que la capnografía sea obligatoria para controlar

la posición del tubo traqueal. Sin embargo, no permite identificar la intubación bronquial selectiva. Cuando se realiza durante la RCP, puede ayudar a detectar rápidamente la RCE. Los valores de EtCO<sub>2</sub> no deben utilizarse como indicador de calidad u objetivo durante el soporte vital avanzado pediátrico, ni como indicación a favor o en contra de la continuación de la RCP (73).

La capnografía puede proporcionar información sobre la efectividad de las compresiones torácicas, pero no se han establecido valores específicos en niños. No existen estudios en niños que indiquen cuales son los datos clínicos para valorar la eficacia de la RCP. Son necesarios estudios experimentales y clínicos que valoren si la tensión arterial y la capnografía pueden ser indicadores adecuados de la eficacia de la RCP y si se correlacionan con la recuperación de la circulación espontánea (98).

## Referencias

1. Albanese MHB, Barrera FP, Valenzuela CC, Gil D, Riquelme C, Olive F, et al. “Capnografía volumétrica y su aplicación en la monitorización de la ventilación mecánica.” *Revista Chilena de Medicina Intensiva*, vol. 34, no. 3, 2019, pp. 1-10.
2. Anderson CT, Breen PH. “Carbon dioxide kinetics and capnography during critical care.” *Critical Care (London, England)*,. 2000;4(4):207-15. doi:10.1186/cc696
3. Pantazopoulos C, Xanthos T, Pantazopoulos I, Papalois A, Kouskouni E, Iacovidou N. A Review of Carbon Dioxide Monitoring During Adult Cardiopulmonary Resuscitation.” *Heart, Lung and Circulation*, 2015;24(11):1053-61. doi:10.1016/j.hlc.2015.05.013
4. Duckworth RL. How to read and interpret end-tidal capnography waveforms. *JEMS*. 2017;42(8).
5. Ramsay M. “Ventilation Monitoring”. *Anesthesiology Clinics*. 2021;39(3):403-14. doi:10.1016/j.anclin.2021.03.006
6. Agudelo-Uribe JF, Ramirez-Barrera JD, Espinal-Montoya JA, Miranda-Arboleda AF, Saenz-Jaramillo G, Tobon-Upegui MP, et al. “Accuracy of Delta Capnography for the Prediction of Pulmonary Vein Occlusion During Cryoablation for Atrial Fibrillation”. *The Journal of in-*

- novations in cardiac rhythm management. 2022;13(3):4921–8. doi:10.19102/icrm.2022.130302
7. Long B, Koyfman A, Vivirito MA. “Capnography in the emergency department: a review of uses, waveforms, and limitations”. *The Journal of emergency medicine*. 2017;53(6):829–42. doi:https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.08.026
  8. Suchanek S, Grega T, Zavoral M. “The role of equipment in endoscopic complications”. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2016;30(5):667–78. doi:10.1016/j.bpg.2016.09.007
  9. Vijayam B, Supriyanto E, Malarvili MB. “Digitization and Analysis of Capnography Using Image Processing Technique”. *Front Digit Health*. 2021;3:723204. doi:10.3389/fdgth.2021.723204
  10. Saha C. “Capnography, Second Edition”. *Anesthesiology*. 2012;116(3):744–5. doi:10.1097/ALN.0b013e3182423593
  11. Siobal MS. “Monitoring Exhaled Carbon Dioxide”. *Respiratory care*. 2016;61(10):1397. doi:10.4187/respcare.04919
  12. Sun X, Yang W, Gong S, Liang S, Gu S, Lu H, et al. “Diagnostic value of volumetric capnography in patients with chronic cough variant asthma”. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*. 2020;75:e1662. doi:10.6061/clinics/2020/e1662
  13. Pertzov B, Ronen M, Rosengarten D, Shitenberg D, Heching M, Shostak Y, et al. “Use of capnography for prediction of obstruction severity in non-intubated COPD and asthma patients”. *Respir Res*. 2021;22(1):154. doi:10.1186/s12931-021-01747-3
  14. Brown RH, Brooker A, Wise RA, Reynolds C, Loccioni C, Russo A, et al. “Forced expiratory capnography and chronic obstructive pulmonary disease (COPD)”. *J Breath Res*. 2013;7(1):017108. doi:10.1088/1752-7155/7/1/017108
  15. Abid A, Mieloszyk RJ, Verghese GC, Krauss BS, Heldt T. Model-Based “Estimation of Respiratory Parameters from Capnography, With Application to Diagnosing Obstructive Lung Disease”. *IEEE transactions on bio-medical engineering*. 2017;64(12):2957–67. doi:10.1109/tbme.2017.2699972
  16. Veronez L, Moreira MM, Soares ST, Pereira MC, Ribeiro MA, Ribeiro JD, et al. “Volumetric capnography for the evaluation of pulmonary disease

- in adult patients with cystic fibrosis and noncystic fibrosis bronchiectasis”. *Lung*. 2010;188(3):263-8. doi:10.1007/s00408-009-9213-z
17. Fouzas S, Kentgens AC, Lagiou O, Frauchiger BS, Wyler F, Theodorakopoulos I, et al. “Novel volumetric capnography indices measure ventilation inhomogeneity in cystic fibrosis”. *ERJ Open Res*. 2022;8(1). doi:10.1183/23120541.00440-2021
  18. Lopez E, Mathlouthi J, Lescure S, Krauss B, Jarreau PH, Moriette G. “Capnography in spontaneously breathing preterm infants with bronchopulmonary dysplasia”. *Pediatr Pulmonol*. 2011;46(9):896-902. doi:10.1002/ppul.21445
  19. Fouzas S, Häcki C, Latzin P, Proietti E, Schulzke S, Frey U, et al. “Volumetric capnography in infants with bronchopulmonary dysplasia”. *The Journal of pediatrics*. 2014;164(2):283-8.e1-3. doi:10.1016/j.jpeds.2013.09.034
  20. Prentice D, Deroche CB, Wipke-Tevis DD. “Excluding Pulmonary Embolism with End-tidal Carbon Dioxide: Accuracy, Cost, and Harm Avoidance”. *Western journal of nursing research*. 2020;42(12):1022-30. doi:10.1177/0193945920914492
  21. Songur Yücel Z, Metin Aksu N, Akkaş M. “The combined use of end-tidal carbon dioxide and alveolar dead space fraction values in the diagnosis of pulmonary embolism”. *Pulmonology*. 2020;26(4):192-7. doi:10.1016/j.pulmoe.2019.11.008
  22. Hatlestad D. “Capnography as a predictor of the return of spontaneous circulation”. *Emergency medical services*. 2004;33(8):75-80; quiz 115.
  23. Arena R, Guazzi M, Myers J, Chase P, Bensimhon D, Cahalin LP, et al. “Prognostic value of capnography during rest and exercise in patients with heart failure”. *Congestive heart failure (Greenwich, Conn)*. 2012;18(6):302-7. doi:10.1111/j.1751-7133.2012.00296.x
  24. Elam JO, Brown ES, Ten Pas RH. “Carbon dioxide homeostasis during anesthesia. I. Instrumentation”. *Anesthesiology*. 1955;16(6):876-85. doi:10.1097/00000542-195511000-00006
  25. Elam JO, Brown ES. “Carbon dioxide homeostasis during anesthesia. II. Total sampling for determination of dead space, alveolar ventilation, and carbon dioxide output”. *Anesthesiology*. 1955;16(6):886-902. doi:10.1097/00000542-195511000-00007

26. Elam JO, Brown ES. "Carbon dioxide homeostasis during anesthesia. III. Ventilation and carbon dioxide elimination". *Anesthesiology*. 1956;17(1):115-27.
27. Elam JO, Brown ES. "Carbon dioxide homeostasis during anesthesia. IV. An evaluation of the partial rebreathing system". *Anesthesiology*. 1956;17(1):128-34. doi:10.1097/00000542-195601000-00018
28. Thompson JE, Jaffe MB. "Capnographic waveforms in the mechanically ventilated patient". *Respiratory care*. 2005;50(1):100-8; discussion 8-9.
29. Smalhout B, Z. K. *An atlas of capnography*. Utrecht: Institute of Anaesthesiology, University Hospital Utrecht; 1981.
30. Díez-Picazo LD, Barrado-Muñoz L, Blanco-Hermo P, Barroso-Matilla S, Espinosa Ramírez S. "La capnografía en los servicios de emergencia médica". *Medicina de Familia Semergen*. 2009;35(3):138-43. doi:10.1016/S1138-3593(09)70721-X
31. Lasaosa, FJ Cambra, and M. Pons Ódena. "Pulsioximetría y capnografía." *Anales de Pediatría*. Vol. 59. No. 3. Elsevier Doyma, 2003. doi:10.1016/s1695-4033(03)78176-4
32. Nassar BS, Schmidt GA. "Capnography During Critical Illness". *Chest*. 2016;149(2):576-85. doi:10.1378/chest.15-1369
33. Rackley CR. "Monitoring During Mechanical Ventilation". *Respiratory care*. 2020;65(6):832-46. doi:10.4187/respcare.07812
34. Kodali Bhavani S. "Capnography Outside the Operating Rooms". *Anesthesiology*. 2013;118(1):192-201. doi:10.1097/ALN.0b013e318278c8b6
35. Verscheure S, Massion PB, Verschuren F, Damas P, Magder S. "Volumetric capnography: lessons from the past and current clinical applications". *Critical Care*. 2016;20(1). doi:10.1186/s13054-016-1377-3
36. Huang CH, Wei KH. "Applications of capnography in airway management outside the operating room". *Signa Vitae*. 2021;17(4):18-24. doi:10.22514/sv.2021.061
37. Kerslake I, Kelly F. "Uses of capnography in the critical care unit". *BJA Education*. 2017;17(5):178-83. doi:10.1093/bjaed/mkw062

38. Krauss B, Falk JL, Ladde JG. “Carbon dioxide monitoring (capnography)”. *UpToDate* [Internet]. 2020. Available from: <https://www.medilib.ir/uptodate/show/273>.
39. Long B. “Interpreting Waveform Capnography: Pearls and Pitfalls” *Signa Vitae* 17.4. 18 August 2022. Available from: <http://www.emdocs.net/interpreting-waveform-capnography-pearls-and-pitfalls/>.
40. Gravenstein JS, Jaffe MB, Gravenstein N, Paulus DA, eds. Ventilation. In: *Capnography*. Cambridge University Press; 2011:10-460.
41. Humphreys S, Schibler A, von Ungern-Sternberg BS. “Carbon dioxide monitoring in children-A narrative review of physiology, value, and pitfalls in clinical practice”. *Paediatric anaesthesia*. 2021;31(8):839-45. doi:<https://doi.org/10.1111/pan.14208>
42. Jaffe MB. “Using the features of the time and volumetric capnogram for classification and prediction”. *Journal of clinical monitoring and computing*. 2017;31(1):19-41. doi:10.1007/s10877-016-9830-z
43. Paulus DA, Gravenstein JS, Jaffe MB, Gravenstein N. *Capnography*. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2011.
44. Aminiahidashti H, Shafiee S, Kiasari AZ, Sazgar M. “Applications of end-tidal carbon dioxide (ETCO<sub>2</sub>) monitoring in emergency department; a narrative review”. *Emergency*. 2018;6(1).
45. Pérez de Mendiguren Monreal P. *Guía rápida y póster sobre capnografía* [Trabajo fin de grado]: Universidad Pública de Navarra; 2017.
46. Jaffe MB, editor *Mainstream or Sidestream Capnography?* 2002.
47. Pickett RA, Owens K, Landis P, Sara R, Lim HW. “Cryoballoon-to-Pulmonary Vein Occlusion Assessment via Capnography Technique: Where Does Occlusion Testing by End-Tidal CO<sub>2</sub> Measurement ‘Fit’ as a Predictor of Long-Term Efficacy?” *Journal of atrial fibrillation*. 2018;11(1):2055. doi:10.4022/jafib.2055
48. Cretikos MA, Bellomo R, Hillman K, Chen J, Finfer S, Flabouris A. “Respiratory rate: the neglected vital sign”. *Medical Journal of Australia*. 2008;188(11):657-9. doi:<https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2008.tb01825.x>
49. Davis DP. “Capnography as a guide to ventilation in the field”. In: “*Capnography*. 2 ed”. editado por Paulus DA, Gravenstein JS, Jaffe MB, Gravenstein N. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. p. 72-9.

50. Ortega R, Connor C, Kim S, Djang R, Patel K. “Monitoring ventilation with capnography”. *N Engl J Med*. 2012;367(19):e27. doi:10.1056/NEJMvcm1105237
51. Williams GW, 2nd, George CA, Harvey BC, Freeman JE. “A Comparison of Measurements of Change in Respiratory Status in Spontaneously Breathing Volunteers by the ExSpirom Noninvasive Respiratory Volume Monitor Versus the Capnostream Capnometer”. *Anesth Analg*. 2017;124(1):120-6. doi:10.1213/ane.0000000000001395
52. Lam T, Nagappa M, Wong J, Singh M, Wong D, Chung F. “Continuous Pulse Oximetry and Capnography Monitoring for Postoperative Respiratory Depression and Adverse Events: A Systematic Review and Meta-analysis”. *Anesthesia and Analgesia*. 2017;125(6):2019-29. doi:10.1213/ANE.0000000000002557
53. Goenaga-Diaz EJ, Smith LD, Pecorella SH, Smith TE, Russell GB, Johnson KN, et al. “A comparison of the breathing apparatus deadspace associated with a supraglottic airway and endotracheal tube using volumetric capnography in young children”. *Korean journal of anesthesiology*. 2021;74(3):218-25. doi:10.4097/kja.20518
54. Klein AA, Meek T, Allcock E, Cook TM, Mincher N, Morris C, et al. “Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021”. *Anaesthesia*. 2021;76(9):1212-23. doi:https://doi.org/10.1111/anae.15501
55. Sethi AK, Salhotra R, Chandra M, Mohta M, Bhatt S, Kayina CA. “Confirmation of placement of endotracheal tube - A comparative observational pilot study of three ultrasound methods”. *Journal of anaesthesiology, clinical pharmacology*. 2019;35(3):353-8. doi:10.4103/joacp.JOACP\_317\_18
56. Ornato JP, Shipley JB, Racht EM, Slovis CM, Wrenn KD, Pepe PE, et al. “Multicenter study of a portable, hand-size, colorimetric end-tidal carbon dioxide detection device”. *Ann Emerg Med*. 1992;21(5):518-23. doi:10.1016/s0196-0644(05)82517-x
57. Grmec S. “Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation”. *Intensive Care Med*. 2002;28(6):701-4. doi:10.1007/s00134-002-1290-x
58. Frerk C, Mitchell VS, McNarry AF, Mendonca C, Bhagrath R, Patel A, et al. “Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults”. *Br J Anaesth*. 2015;115(6):827-48.

59. Corbett G, Pugh P, Herre J, See TC, de Monteverde-Robb D, Torrejon Torres R, et al. "Service Evaluation of the Impact of Capnography on the Safety of Procedural Sedation". *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:867536. doi:10.3389/fmed.2022.867536
60. Deitch K, Miner J, Chudnofsky CR, Dominici P, Latta D. "Does end tidal CO<sub>2</sub> monitoring during emergency department procedural sedation and analgesia with propofol decrease the incidence of hypoxic events? A randomized, controlled trial". *Ann Emerg Med*. 2010;55(3):258-64. doi:10.1016/j.annemergmed.2009.07.030
61. Beitz A, Riphaut A, Meining A, Kronshage T, Geist C, Wagenpfeil S, et al. "Capnographic monitoring reduces the incidence of arterial oxygen desaturation and hypoxemia during propofol sedation for colonoscopy: a randomized, controlled study (ColoCap Study)". *The American journal of gastroenterology*. 2012;107(8):1205-12. doi:10.1038/ajg.2012.136
62. Saunders R, Struys M, Pollock RF, Mestek M, Lightdale JR. "Patient safety during procedural sedation using capnography monitoring: a systematic review and meta-analysis". *BMJ open*. 2017;7(6):e013402. doi:10.1136/bmjopen-2016-013402
63. Weaver J. "The latest ASA mandate: CO<sub>2</sub> monitoring for moderate and deep sedation". *Anesthesia progress*. 2011;58(3):111-2. doi:10.2344/0003-3006-58.3.111
64. Hinkelbein J, Lamperti M, Akeson J, Santos J, Costa J, De Robertis E, et al. "European Society of Anaesthesiology and European Board of Anaesthesiology guidelines for procedural sedation and analgesia in adults". *Eur J Anaesthesiol*. 2018;35(1):6-24. doi:10.1097/eja.0000000000000683
65. Vargo JJ, Zuccaro G, Jr., Dumot JA, Conwell DL, Morrow JB, Shay SS. "Automated graphic assessment of respiratory activity is superior to pulse oximetry and visual assessment for the detection of early respiratory depression during therapeutic upper endoscopy". *Gastrointestinal endoscopy*. 2002;55(7):826-31. doi:10.1067/mge.2002.124208
66. Arakawa H, Kaise M, Sumiyama K, Saito S, Suzuki T, Tajiri H. "Does pulse oximetry accurately monitor a patient's ventilation during sedated endoscopy under oxygen supplementation?" *Singapore medical journal*. 2013;54(4):212-5. doi:10.11622/smedj.2013075

67. Waugh JB, Epps CA, Khodneva YA. “Capnography enhances surveillance of respiratory events during procedural sedation: a meta-analysis”. *Journal of clinical anesthesia*. 2011;23(3):189-96. doi:10.1016/j.jclinane.2010.08.012
68. Paiva EF, Paxton JH, O’Neil BJ. “The use of end-tidal carbon dioxide (ETCO<sub>2</sub>) measurement to guide management of cardiac arrest: A systematic review”. *Resuscitation*. 2018;123:1-7. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.12.003
69. Cereceda-Sánchez FJ, Molina-Mula J. “Use of supraglottic airway devices under capnography monitoring during cardiopulmonary resuscitation: A systematic review”. *Australian Critical Care*. 2021;34(3):287-95. doi:10.1016/j.aucc.2020.07.005
70. van Schuppen H, Boomars R, Kooij FO, den Tex P, Koster RW, Hollmann MW. “Optimizing airway management and ventilation during prehospital advanced life support in out-of-hospital cardiac arrest: A narrative review”. *Best Practice & Research-Clinical Anaesthesiology*. 2021;35(1):67-82. doi:10.1016/j.bpa.2020.11.003
71. American Heart Association. *Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care*. *Circulation*. 2020;142(suppl 2):S337-S57. doi:10.1161/CIR.0000000000000918
72. Cereceda-Sánchez FJ, Molina-Mula J. “Systematic Review of Capnography with Mask Ventilation during Cardiopulmonary Resuscitation Maneuvers”. *Journal of clinical medicine*. 2019;8(3). doi:10.3390/jcm8030358
73. Perkins GD, Graesner JT, Semeraro F, Olasveengen T, Soar J, Lott C, et al. “European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary”. *Resuscitation*. 2021;161:1-60. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.003
74. Neth MR, Idris A, McMullan J, Benoit JL, Daya MR. “A review of ventilation in adult out-of-hospital cardiac arrest”. *Journal of the American College of Emergency Physicians Open*. 2020;1(3):190-201. doi:10.1002/emp2.12065
75. Sandroni C, De Santis P, D’Arrigo S. “Capnography during cardiac arrest”. *Resuscitation*. 2018;132:73-7. doi:10.1016/j.resuscitation.2018.08.018
76. Walsh BK, Crotwell DN, Restrepo RD. “Capnography/Capnometry during mechanical ventilation: 2011”. *Respiratory care*. 2011;56(4):503-9. doi:10.4187/respcare.01175

77. Kang Y. "Management of post-cardiac arrest syndrome". *Acute and critical care*. 2019;34(3):173-8. doi:10.4266/acc.2019.00654
78. Kreit JW. "Volume Capnography in the Intensive Care Unit: Potential Clinical Applications". *Ann Am Thorac Soc*. 2019;16(4):409-20. doi:10.1513/AnnalsATS.201807-502CME
79. Al-Subu A, Jooste E, Hornik CP, Fleming GA, Cheifetz IM, Ofori-Amanfo G. "Correlation between minute carbon dioxide elimination and pulmonary blood flow in single-ventricle patients after stage 1 palliation and 2-ventricle patients with intracardiac shunts: A pilot study". *Paediatr Anaesth*. 2018;28(7):618-24. doi:10.1111/pan.13423
80. Peyton PJ, Wallin M, Hallbäck M. "New generation continuous cardiac output monitoring from carbon dioxide elimination". *BMC anesthesiology*. 2019;19(1):28-. doi:10.1186/s12871-019-0699-5
81. Karlsson J, Lonnqvist PA. "Capnodynamics-Measuring cardiac output via ventilation". *Paediatric anaesthesia*. 2022;32(2):255-61. doi:10.1111/pan.14329
82. Moradian ST, Beitollahi F, Ghiasi MS, Vahedian-Azimi A. "Capnography and Pulse Oximetry Improve Fast Track Extubation in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft Surgery: A Randomized Clinical Trial". *Front Surg*. 2022;9:826761. doi:10.3389/fsurg.2022.826761
83. Gerdung CA, Adeleye A Fau - Kirk VG, Kirk VG. "Noninvasive monitoring of CO<sub>2</sub> during polysomnography: a review of the recent literature". *Current opinion in pulmonary medicine*. 2016;22(6):527-34. doi:https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000320
84. Rasera CC, Gewehr PM, Domingues AM. "PET(CO<sub>2</sub>) measurement and feature extraction of capnogram signals for extubation outcomes from mechanical ventilation". *Physiological measurement*. 2015;36(2):231-42. doi:10.1088/0967-3334/36/2/231
85. Warner KJ, Cuschieri J, Garland B, Carlbom D, Baker D, Copass MK, et al. *The utility of early end-tidal capnography in monitoring ventilation status after severe injury*. *J Trauma*. 2009;66(1):26-31. doi:10.1097/TA.0b013e3181957a25
86. Troy P, Gilmartin G. "Capnography in sleep medicine". In: *Capnography*. 2 ed Editors Paulus DA, Gravenstein JS, Jaffe MB, Gravenstein N. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. p. 96-101.

87. Slowik JM, Sankari A, Collen JF. “Obstructive Sleep Apnea. StatPearls”. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2022, StatPearls Publishing LLC.; 2022.*
88. Rundo JV. “Obstructive sleep apnea basics”. *Cleveland Clinic journal of medicine.* 2019;86(9 Suppl 1):2-9. doi:10.3949/ccjm.86.s1.02
89. Dziewas R HB, Humpert M, Böntert M, Dittrich R, Lüdemann P, Young P, Ringelstein EB, Nabavi DG. “Capnography screening for sleep apnea in patients with acute stroke”. *Neurol Res.* 2005;27(1):83-7. doi:10.1179/016164105X18359
90. Randerath W, Verbraecken J, Andreas S, Arzt M, Bloch KE, Brack T, et al. “Definition, discrimination, diagnosis and treatment of central breathing disturbances during sleep”. *European Respiratory Journal.* 2017;49(1):1600959. doi:10.1183/13993003.00959-2016
91. Antonelli M, Conti G. “Noninvasive positive pressure ventilation as treatment for acute respiratory failure in critically ill patients”. *Critical care (London, England).* 2000;4(1):15-22. doi:10.1186/cc645
92. Gong Y, Sankari A. “Noninvasive Ventilation”. *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2022, StatPearls Publishing LLC.; 2022.*
93. Georges M, Rabec C, Monin E, Aho S, Beltramo G, Janssens JP, et al. “Monitoring of noninvasive ventilation: comparative analysis of different strategies”. *Respir Res.* 2020;21(1):324. doi:10.1186/s12931-020-01586-8
94. Orr JA, Jaffe MB, Seiver A. Capnography in non-invasive positive pressure ventilation. In: *Capnography.* 2 ed. editors Paulus DA, Gravenstein JS, Jaffe MB, Gravenstein N,. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. p. 135-44.
95. Baba Y, Takatori F, Inoue M, Matsubara I, editors. *A Novel Mainstream Capnometer System for Non-invasive Positive Pressure Ventilation.* 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC); 2020 20-24 July 2020.
96. Eipe N, Doherty DR. “A review of pediatric capnography”. *Journal of clinical monitoring and computing.* 2010;24(4):261-8. doi:10.1007/s10877-010-9243-3

97. Riley CM. “Continuous Capnography in Pediatric Intensive Care”. *Crit Care Nurs Clin North Am.* 2017;29(2):251-8. doi:10.1016/j.cnc.2017.01.010
98. López-Herce J, Yunge M, Campos-Miño S, Raúl N, López-Herce J, Cyunel M, et al. Consenso Latinoamericano RCP SLACIP. 2021;29. doi:10.47464/10.47464/MetroCiencia/vol29/supple1
99. Kaiser JR, Gauss CH, Pont MM, Williams DK. “Hypercapnia during the first 3 days of life is associated with severe intraventricular hemorrhage in very low birth weight infants”. *J Perinatol.* 2006;26(5):279-85. doi:10.1038/sj.jp.7211492
100. Shankaran S, Langer JC, Kazzi SN, Lupton AR, Walsh M. “Cumulative index of exposure to hypocarbia and hyperoxia as risk factors for periventricular leukomalacia in low birth weight infants”. *Pediatrics.* 2006;118(4):1654-9. doi:10.1542/peds.2005-2463
101. Erickson SJ, Grauaug A, Gurrin L, Swaminathan M. “Hypocarbia in the ventilated preterm infant and its effect on intraventricular haemorrhage and bronchopulmonary dysplasia”. *J Paediatr Child Health.* 2002;38(6):560-2. doi:10.1046/j.1440-1754.2002.00041.x
102. McKee LA, Fabres J, Howard G, Peralta-Carcelen M, Carlo WA, Ambalavanan N. “PaCO<sub>2</sub> and neurodevelopment in extremely low birth weight infants”. *J Pediatr.* 2009;155(2):217-21 e1. doi:10.1016/j.jpeds.2009.02.024
103. Williams E, Dassios T, Greenough A. “Carbon dioxide monitoring in the newborn infant”. *Pediatr Pulmonol.* 2021;56(10):3148-56. doi:10.1002/ppul.25605
104. Schmalisch G. “Current methodological and technical limitations of time and volumetric capnography in newborns”. *BioMedical Engineering OnLine.* 2016;15(1):104. doi:10.1186/s12938-016-0228-4



## CAPÍTULO 3

# Analgesia y sedación en el paciente en estado crítico

*Analgesia and Sedation in the Patient in Critical Condition*

**René Alberto Espinosa Marsiglia**

Universidad del Valle, Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-6459-857X>

✉ [espinosamarsiglia@gmail.com](mailto:espinosamarsiglia@gmail.com)

**Andrés Fabricio Caballero Lozada**

Universidad del Valle, Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-4161-4805>

✉ [andres.caballero@correounivalle.edu.co](mailto:andres.caballero@correounivalle.edu.co)

## Resumen

Los pacientes que ingresan a las unidades de urgencias o unidades de cuidados intensivos que requieren soporte respiratorio deben estar acoplados al soporte respiratorio invasivo, evitar las asincronías con el ventilador mecánico se convierte en un punto crucial en el manejo de estos tipos de pacientes. Un acople del paciente-ventilador permitirá una mejor evolución y control sobre la oxigenación y ventilación, situación que puede lograrse con el uso de medicamentos. En este capítulo se abordará los objetivos y metas que se debe lograr con la sedación, de igual manera se conocerá las diferentes escalas de valoración, y los diferentes medicamentos con su dosis que pueden ser utilizados para tal fin. proporcionando de esta manera el conocimiento para las personas que laboran con este tipo de pacientes.

**Palabras claves:** sedación, analgesia, cuidado crítico.

## Abstract

Patients admitted to emergency units or intensive care units who require respiratory support must be coupled to invasive respiratory support; avoiding asynchronies with the mechanical ventilator becomes a crucial point in the

*Cita este capítulo / Cite this chapter*

Espinosa Marsiglia RA, Caballero Lozada AF. Analgesia y sedación en el paciente en estado crítico. En: Estupiñán Pérez VH, editor científico. Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2024. p. 123-145.

management of these types of patients. A patient-ventilator coupling will allow better evolution and control over oxygenation and ventilation, a situation that can be achieved with the use of medications. This chapter will address the objectives and goals that must be achieved with sedation, in the same way you will learn about the different assessment scales, and the different medications with their doses that can be used for this purpose. thus, providing knowledge for people who work with this type of patients.

**Keywords** sedation, analgesia, critical care.

## Introducción

El paciente adulto en estado crítico durante su estadía en la Unidades de Cuidado Intensivo, Unidades de Cuidado Intermedio, recuperación de Sala de Operaciones y en el servicio de Urgencias experimenta situaciones que provocan estados de ansiedad, disconfort, desasosiego, agitación y dolor que pueden conducir a fatiga, desorientación, estrés, taquicardia, aumento del consumo de oxígeno miocárdico, sueño inadecuado, hipercoagulabilidad, inmunosupresión y un incremento de su tasa metabólica.

Todo lo anterior asociado a diversos datos han indicado una asociación consistente y fuerte entre la sedación profunda temprana y los malos resultados a largo plazo, incluida la mortalidad, el deterioro cognitivo y las complicaciones psicológicas por lo que se han establecido intervenciones para abordar este problema, y se recomendó firmemente un cambio hacia guías de manejo adecuado de la analgesia, la sedación y la prevención del delirium y del síndrome de abstinencia.

La administración correcta de la analgesia y sedación en el paciente adulto en estado crítico debe estar orientado por una guía institucional de tal forma que con su uso juicioso se logre mantener los pacientes cómodos con seguridad cuando estén en ausencia de una sedación profunda de tal forma que se maximice el cuidado humanitario con alivio efectivo del dolor, sedación óptima, permitiendo una mejor comunicación del paciente con sus cuidadores y su familia, favoreciendo estrategias de movilización temprana, respiraciones espontaneas y promocionando el sueño natural además de prevenir la aparición del delirium y del síndrome de abstinencia.

## **Metas de Manejo**

Las metas de manejo de analgesia y sedación se deben establecer cada día en la revista del servicio estableciendo si se requiere de una sedación profunda o si se requiere de una sedación óptima.

La sedación óptima debe permitir al paciente el mejor confort posible ofreciéndole desde su ingreso el máximo cuidado humanitario con control del dolor y con la prevención del delirium y del síndrome de abstinencia y para lograr estas metas se recomienda el uso de estrategias que permitan la apropiada evaluación adherencia a protocolos de manejo del dolor y la sedación en todos los pacientes críticos.

## **Objetivos**

El primer objetivo que debemos lograr con una analgesia y sedación óptima es lograr tener el paciente cómodo cuando se logre retirar la necesidad de tener una sedación profunda para posteriormente maximizar su cuidado humanitario con el fin de lograr una mejor comunicación del paciente con sus cuidadores y su familia, favoreciendo estrategias de movilización temprana, respiraciones espontáneas y sueño natural además de tener un alivio efectivo del dolor siendo esta una prioridad con analgesia multimodal flexible diseñada para minimizar el uso de opioides utilizando adecuadamente las escalas de dolor. Esta estrategia debe propender por la prevención del delirium desde el principio y si se presenta manejarlo adecuadamente al igual que prevenir el síndrome de abstinencia desde el principio y si se presenta manejarlo adecuadamente.(1)

## **Principios Generales**

Se entiende como Sedación Óptima el centrarse en lograr el objetivo de sedación propuesto en la revista del servicio mediante el uso juicioso de escalas de sedación validadas lo que evita los extremos de sobredación o subdación y centra al paciente en una zona de comodidad.

Estos modos de sedación pueden ser la sedación consciente la cual es un estado de conciencia que permite su valoración periódica y permite el seguimiento de procedimientos como es el acoplamiento a la ventilación mecánica no invasiva, la adaptación a las modalidades espontáneas de ventilación mecánica invasiva, o durante el proceso de retirada del tubo endotraqueal, la sedación mínima es un estado inducido por fármacos durante el cual los pacientes responden normalmente a órdenes verbales respetando

los reflejos de las vías respiratorias y su función y la función cardiovascular aunque la función cognitiva y la coordinación física pueden verse afectados y en general es equivalente a una escala de sedación de Richmond Agitation Sedation Scale (RASS) de 0 a -1, la sedación moderada es una depresión de la conciencia inducida por fármacos durante la cual los pacientes responden intencionalmente a órdenes verbales, ya sea solas o acompañadas de una estimulación táctil ligera y no se requieren intervenciones para mantener una vía aérea permeable y la ventilación espontánea es adecuada, en general equivalente a una escala de sedación de RASS de -2 a -3 y la sedación profunda es una depresión de la conciencia inducida por fármacos durante la cual los pacientes no pueden despertarse fácilmente, pero responden con determinación después de una estimulación repetida o dolorosa, la capacidad de mantener de forma independiente la función ventilatoria puede verse afectada y los pacientes pueden necesitar asistencia para mantener permeables las vías respiratorias y la ventilación espontánea puede ser inadecuada.

Para lograr el cumplimiento de las metas establecidas se utiliza los cuidados humanitarios y los componentes de la atención centrada en el paciente (tabla 11) y la aplicación del protocolo ABCDEF (tabla 9,10) con el cual se aumentan los días libres de delirium, disminuye el tiempo de soporte ventilatorio, la estancia en cuidados y la mortalidad. (1-3)

**Tabla 9.** Protocolo ABCDEF.

- A:** (Awakening) Despertar para evaluar, prevenir y tratar dolor.
- B:** (Breathing) Disminución de la sedación para pruebas de ventilación espontánea.
- C:** (Coordination) Coordinar el despertar y prueba de ventilación espontánea con la elección de sedante y analgésico.
- D:** (Delirium) Evaluar, prevenir y tratar el Delirium.
- E:** (Early) Movilización precoz.
- F:** (Family) Inclusión, compromiso y empoderamiento de la familia.

**Fuente:** Olmos M, Varela D, Klein F. enfoque actual de la analgesia, sedación y el delirium en cuidados críticos. Rev Médica Clínica Las Condes. marzo de 2019;30(2): p. 126-39.

**Tabla 10.** Cuidados Humanitarios y los Componentes de la Atención Centrada en el Paciente.

- Evaluar las causas que afecten el confort.
- Información adecuada con comunicación frecuente y apropiada
- Explicaciones de los componentes de cuidado.
- Orientación de persona, tiempo y espacio
- Estimulación mental.
- Terapia ocupacional incluyendo entrenamiento cognitivo
- Evitar o reducir el ruido
- El manejo del dolor.
- Estrategias para lograr sueño
- Utilización de restricción física solo cuando sea necesario natural en la noche, movilización temprana y respiraciones espontáneas
- Apoyo familiar.

**Fuente:** Olmos M, Varela D, Klein F. enfoque actual de la analgesia, sedación y el delirium en cuidados críticos. Rev. Médica Clínica Las Condes. marzo de 2019;30(2): p. 126-39.

## **Escalas**

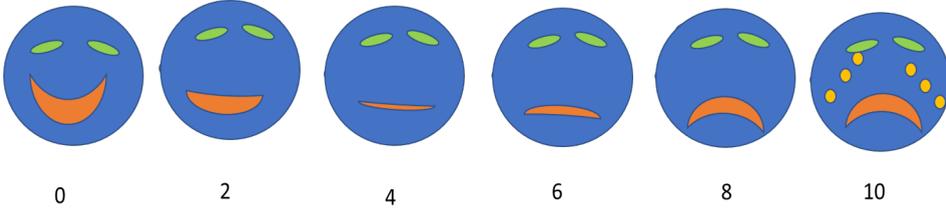
Para controlar los niveles de analgesia y sedación, estos deben ser parte de una evaluación rutinaria a la cabecera del paciente por parte de enfermería y del grupo médico con el uso de escalas validadas para valorar las metas de sedación y con el uso de escalas validadas para valorar las metas de dolor basadas en la cuantificación del mismo por el propio paciente siempre que esto sea posible o con escalas basadas en indicadores conductuales asociados al dolor en los pacientes que no puedan comunicarse facilitando el logro de objetivos establecidas en la revista del servicio.

### **Escala para Valorar Presencia de Dolor**

#### **Escala para valoración de dolor en pacientes que si pueden comunicarse**

Se recomienda la Escala Visual Análoga (EVA ) para valorar presencia de dolor en el paciente que se pueda comunicar. Ver Ilustración:

**Ilustración 65.** Escala visual de dolor.



**Fuente:** elaboración propia basado en Seo Y, Lee HJ, Ha EJ, Ha TS. “2021 KSCCM Clinical Practice Guidelines for Pain, Agitation, Delirium, Immobility, and Sleep Disturbance in the Intensive Care Unit.” *Acute Crit Care*, vol. 37, no. 1, 28 de febrero de 2022, p. 1-25.

**Nota:** La graduación del dolor es la siguiente: 0: Sin dolor, 2: Siente un poco de dolor, 4: Siente un poco más de dolor, 6: Aún mucho más dolor, 8: Siente mucho dolor, 10: Dolor insoportable. El objetivo es que el paciente refiera tener una escala de dolor menor de 4.

### Escala para valoración de dolor en pacientes que no pueden comunicarse

Se utilizan escalas validadas conductuales como son la Escala Herramienta de observación del dolor en Cuidado Crítico, CPOT y la Escala Conductual del Dolor, BPS.

**Tabla 11.** Escala Herramienta de observación del dolor en Cuidado Crítico. (Critical Care Pain Observation Tool [CPOT]).

		Puntaje
<b>Expresión facial</b>	Relajado, neutral (sin tensión muscular)	0
	Tenso (ceño fruncido, arrugas en la frente, tensión en orbiculares y elevadores de párpados)	1
	Expresión de dolor (ídem más párpados cerrados fuertemente)	2
<b>Movimiento</b>	NO movimientos	0
	Protección (movimientos lentos, cautelosos, se toca o frota la zona de dolor)	1
	Agitación (tracción del tubo, intenta sentarse o tirarse de la cama, mueve extremidades, no responde ordenes)	2

		<b>Puntaje</b>
<b>Tensión muscular</b>	Agitación (tracción del tubo, intenta sentarse o tirarse de la cama, mueve extremidades, no responde ordenes)	0
	Tenso, rígido (se resiste a los movimientos pasivos)	1
	Muy tenso o rígido (resistencia muy fuerte a los movimientos pasivos, imposibilidad de completar el rango)	2
<b>Adaptación al ventilador</b>	Bien adaptado al ventilador (alarmas no activadas, fácilmente ventilable)	0
	Tose, pero tolera la ventilación la mayor parte del tiempo (las alarmas se detienen espontáneamente)	1
	Lucha contra el ventilador (asincronía, impide la ventilación, alarmas frecuentemente activadas)	2
<b>Vocalización</b>	Habla con tono normal o no habla	0
	Suspiros, gemidos.	1
	Gritos, sollozos	2

**Fuente:** Olmos M, Varela D, Klein F. enfoque actual de la analgesia, sedación y el delirium en cuidados críticos. Rev Médica Clínica Las Condes. marzo de 2019;30(2), p. 126-39.

Si el paciente está intubado se utilizan los siguientes 4 ítems: Expresión facial. Movimiento de extremidades. Tensión muscular. Adaptación al ventilador. Si el paciente no está intubado se utilizan los siguientes 4 ítems: Expresión facial. Movimiento de extremidades. Tensión muscular. Vocalización.

La puntuación global alcanzable se encuentra entre 0 (ausencia de dolor) y 8 (máxima intensidad de dolor). El objetivo es que el paciente refiera tener una escala de dolor menor de 3.

**Tabla 12.** Escala Conductual Del Dolor (Behavioral Pain Scale [BPS]).

Ítem	Descripción	Puntos
Expresión facial	Relajada	1
	Parcialmente tensa	2
	Totalmente tensa	3
	Muecas	4
Extremidades	No movimientos	1
	Parcialmente dobladas	2
	Totalmente dobladas, con flexión de dedos	3
	Permanentemente retraídas	4
Adaptación al ventilador	Tolera el movimiento	1
	Tose, pero tolera la ventilación la mayor parte del tiempo	2
	Lucha contra el ventilador	3
	Imposible controlar la ventilación	4

**Fuente:** Celis-Rodríguez, E., Birchenall, C., de la Cal, M. Á., Castorena Arellano, G., Hernández, A., Ceraso, D., et al. “Guía de práctica clínica basada en la evidencia para el manejo de la sedoanalgesia en el paciente adulto críticamente enfermo.” *Med Intensiva*, noviembre de 2013, vol. 37, no. 8, p. 519-574.

Nota: La puntuación global alcanzable se encuentra entre 3 (ausencia de dolor) y 12 (máxima intensidad de dolor) El objetivo es que el paciente refiera tener una escala de dolor menor de 6.

### **Escala para Valorar Estado de Sedación**

Con un grado de recomendación fuerte y un nivel de evidencia moderada se utiliza la escala de sedación Richmond Agitation Sedation Scale [RASS], (ver tabla 13).(5)

**Tabla 13.** Escala de Richmond Agitation Sedation Scale (Rass).

Puntuación	denominación	Descripción	exploración
4	Combativo	Combativo, violento, con peligro inmediato para el personal	Observar al paciente
3	Muy agitado	Agresivo, intenta retirarse los tubos o catéteres	
2	Agitado	Movimientos frecuentes y sin propósito; “lucha “con el ventilador	
1	Inquieto	Ansioso, pero sin movimientos agresivo vigoroso	
0	Alerta calmada		
-1	Somnoliento	No está plenamente alerta, pero se mantiene ( $\geq$ segundos) despiertos (apertura de ojos y seguimiento con la mirada) a la llamada	Llamar al enfermo por su nombre y decirle “abra los ojos y míreme”
-2	Sedación leve	Despierta brevemente < de 10 segundos, a la llamada con seguimiento de la mirada	
-3	Sedación moderada	Movimiento o apertura ocular a la llamada (pero sin seguimiento con la mirada)	
-4	Sedación profunda	Sin respuesta a la llamada, pero movimiento o apertura ocular al estímulo físico	Estimular al enfermo sacudiendo su hombro o frotando sobre la región esternal
-5	Sin respuesta	Sin respuesta a la voz ni al estímulo físico	

**Fuente:** Celis-Rodríguez, E., Birchenall, C., de la Cal, M. Á., Castorena Arellano, G., Hernández, A., Ceraso, D., et al. “Guía de práctica clínica basada en la evidencia para el manejo de la sedoanalgesia en el paciente adulto críticamente enfermo.” *Med Intensiva*, vol. 37, no. 8, noviembre de 2013, p. 519-574.

**Nota:** Si el valor de la RASS es igual a -4 o -5, revalúe al paciente posteriormente. Si el valor de la RASS es superior a -4 (-3 a +4), entonces proceda, si está indicado, a la valoración del delirium.

## **Medicamentos**

Las dosis requeridas por los pacientes adultos en estado crítico para una adecuada analgesia y sedación varían dependiendo de sus necesidades individuales, sus comorbilidades, de las interacciones con otros fármacos y de la respuesta al tratamiento y al mismo tiempo los niveles de analgesia y sedación serán diferentes para cada tipo de paciente, para cada tipo de patología y para cada tipo de soporte de ventilación mecánica por lo tanto las dosis requeridas de analgesia y sedación las determina el juicio clínico.

Se debe conocer el riesgo de cada fármaco de producir depresión respiratoria, agitación y efectos adversos hemodinámicos graves, sus características farmacológicas y su comportamiento en falla hepática y renal además de que la analgesia y sedación pueden ser la causa de la pérdida de la vía aérea, creando una emergencia aguda por lo que debe estar siempre preparado un equipo entrenado en el manejo de asegurar la vía aérea urgente. En la Tabla 14 se encuentra los medicamentos y sus usos.

### **Analgésicos**

Morfina, Hidromorfona, Oxycodona, Metadona, Fentanilo, Remifentanilo, Dipirona, Paracetamol, Ketamina, Lidocaína, Acupam.

### **Sedantes**

Dexmedetomidina, Propofol, Midazolam, Alprazolam, Lorazepam, Clonazepam, Clonidina, Tiopental.

### **Inductores de sueño**

Trazodona, Alprazolam.

### **Antipsicóticos**

Haloperidol, Risperidona, Olanzapina, Quetiapina, Clozapina.

### **Moduladores del afecto**

Ácido Valproico.

### **Relajantes Musculares**

Cisatracurio, Vecuronio, Rocuronio.(2)

**Tabla 14.** Uso de medicamentos.

<b>Principio Activo</b>	<b>Presentación y Dilución</b>	<b>Dosis</b>
<b>ANALGÉSICOS</b>		
<b>1. Morfina</b>	Ampolla 1ml = 10mg Dilución: 1 amp + 9 ml SSN 1 ml = 1 mg	0,03 - 0,1 mg/kg cada 4 a 6 horas endovenoso.
<b>2. Hidromorfona</b>	Tableta de 2.5 mg, 5 mg Ampolla 1 ml = 2 mg Dilución: 1 amp + 9 ml SSN 1 ml = 0.2 mg	2.5 a 5 mg cada 4 a 6 horas via oral 0,005 - 0,01 mg/kg cada 4 horas endovenoso.
<b>3. Oxidona</b>	Ampolla 1 ml = 1 mg Dilución: 1 amp + 9 ml SSN 1 ml = 1 mg	0,03 - 0,1 mg/kg cada 4 a 6 horas endovenoso.
<b>4. Metadona</b>	Tableta de 5 mg	2,5 mg a 10 mg cada 4 a 6 horas vía enteral, analgésico. Manejo conjunto con Psiquiatría para el manejo de dependencia a narcóticos.
<b>5. Fentanilo</b>	Ampolla 500 mcg en 10 ml 1 ml = 50 mcg Dilución: 2 amp + 80 ml SSN 1 ml = 10 mcg	0,5 - 4 mcg/kg/h goteo endovenoso.
<b>6. Remifentanilo</b>	Ampolla 2 mg en 2 ml 1 ml = 1 mg Dilución: 2 amp + 100 cc SSN 1 ml = 40 mcg	0,025 - 0,15 mcg/kg/min goteo endovenoso.

<b>Principio Activo</b>	<b>Presentación y Dilución</b>	<b>Dosis</b>
<b>ANALGÉSICOS</b>		
<b>7. Dipirona</b>	Ampolla 1, 2, 2.5 gr Dilución: 1 amp en 100 cc SSN	15 mg/kg endovenoso cada 6 horas Pasar ev en 1 hora.
<b>8. Paracetamol</b>	Tabletas 500 mg Frasco 500 mg en 50 ml Frasco 1 gr en 100 ml 1 ml = 10 mg	500 mg - 1 gr cada 8 a 6 horas vía enteral. 1 gr endovenoso cada 8 a 6 horas administrado en 15 minutos. El acetaminofén ev no es más efectivo que el oral, la administración ev se reserva para cuando la vía enteral no es posible.
<b>9. Ketamina</b>	Frasco 500 mg en 10 ml 1 ml = 50 mg Dilución: 1 frasco + 90 ml SSN 1 ml = 5 mg	0,05 - 0,4 mg/kg/h goteo endovenoso.
<b>10. Lidocaína</b>	Ampolla 2% 200 mg en 10 ml 1 ml = 20 mg Dilución: 5 frascos + 50 ml SSN 1 ml = 10 mg	1 a 1.5 mg/kg/hora goteo endovenoso.
<b>11. Nefopam</b>	Ampolla 2 ml = 20 mg 1 ml = 10 mg Dilución: 1 amp + 8 ml SSN 1 ml = 2 mg	20 mg endovenoso cada 8 a 6 horas Dosis máxima 120 mg al día.
<b>12. Duloxetina</b>	Capsulas 30 mg, 60 mg	60 mg vía oral una vez al día.
<b>SEDANTES</b>		
<b>1. Dexmedetomidina</b>	Ampolla 200 mcg en 2 ml 1 ml = 100 mcg Dilución: 2 amp + 96 ml SSN 1 ml = 4 mcg	75 mcg cada 6 horas vía enteral.

Principio Activo	Presentación y Dilución	Dosis
<b>SEDANTES</b>		
<b>2. Propofol</b>	Ampolla 10%, 20 ml o 50 ml 1 ml = 10 mg Dilución: Se administra puro.	0,5 a 4 mg/kg/h goteo endovenoso. Síndrome por infusión de Propofol con dosis > de 4 mg/kg/h por más de 48 horas, se caracteriza por disfunción multiorgánica, rabdomiólisis, acidosis metabólica, hipercaliemia, arritmias y muerte cardíaca súbita.
<b>3. Midazolam</b>	Ampolla 5 mg en 5 ml 1 ml = 1 mg Dilución: 12 amp x 5 mg + 60 ml SSN 1 ml = 0.5 mg Ampolla 15 mg en 3ml 1 ml = 5 mg Dilución: 4 amp x 15 mg + 108 ml SSN 1 ml = 0.5 mg Ampolla 50 mg en 10ml 1 ml = 5 mg Dilución: 1 amp x 50 mg + 90 ml SSN 1 ml = 0.5 mg	0,03 – 0,2 mg/kg/h goteo endovenoso.
<b>4. Alprazolam</b>	Tabletas 0.25, 0.5 mg	0,25 mg a 0,5 mg cada 8 a 12 horas vía enteral.
<b>5. Lorazepam</b>	Tableta 1 y 2 mg	1 a 2 mg cada 12 horas vía enteral.
<b>6. Clonazepam</b>	Tabletas 0.5 mg y 2 mg	Inicial 1.5 mg/día dividido en 3 tomas vía enteral. Aumentar en 0.25mg a 0.5 mg cada 72 horas. En general 3-6 mg/día, máximo 20 mg/día.
<b>7. Clonidina</b>	Tabletas 150 mcg	75 mcg cada 6 horas vía enteral.
<b>8. Tiopental</b>	Frasco 1 gr polvo liofilizado Dilución: 1 frasco de 1 gr + 100 ml SSN 1 ml = 10 mg	0.5 a 3 mg/kg/hora goteo endovenoso.

Principio Activo	Presentación y Dilución	Dosis
<b>INDUCTORES DEL SUEÑO</b>		
1. Trazodona	Tabletas 50 mg	50 mg en la noche vía enteral.
2. Alprazolam	Tabletas 0.25, 0.5 mg	0,25 mg en la noche vía enteral.
<b>ANTIPSICÓTICOS</b>		
1. Haloperidol	Frasco solución oral x 15 ml 1 ml = 2 mg Ampolla 5 mg en 1 ml	5 a 20 gotas cada 8 a 12 horas 2 a 5 mg cada 6 a 8 horas endovenoso.
2. Risperidona	Tabletas 0.25 mg, 0.5 mg, 1 mg, 2 mg, 3 mg Suspensión 1 mg en 1 ml	0.5 mg a 1 mg cada 12 horas, optimizar a 4 - 6 mg/día vía enteral.
3. Olanzapina	Tabletas 2.5, 5, 7.5, 10, 15 y 20 mg	Inicial 5 mg/día vía enteral con ajuste posterior de 5 - 20 mg/día 1 vez al día o cada 12 horas.
4. Quetiapina	Comprimidos 25, 100, 200 mg	Inicial 25 mg cada 8 a 12 horas vía enteral hasta 400 mg/día.
5. Clozapina	Tableta 25 mg, 100 mg	Inicial 25 mg 1 vez al día o cada 12 horas vía enteral hasta 200 mg/día.
<b>MODULADORES DEL AFECTO</b>		
1. Ácido Valproico	Jarabe 250 mg, Capsulas 250 mg Frasco 500 mg en 5 ml  Dilución: 1 frasco de 500 ml + 95 ml SSN 1 ml = 5 mg	250 mg - 500 mg cada 8 a 6 horas vía enteral.  250 mg - 500 mg cada 6 a 8 horas endovenoso.
<b>RELAJANTES MUSCULARES</b>		
1. Cisatracurio	Ampolla 10 mg en 5 ml 1 ml = 2 mg  Dilución: 4 amp + 80 ml SSN 1 ml = 0,4 mg = 400mcg	Bolo inicial 0.2 mg/kg 1 - 3 mcg/kg/min goteo endovenoso. La dilución no debe durar más de 12 horas.

Principio Activo	Presentación y Dilución	Dosis
<b>RELAJANTES MUSCULARES</b>		
<b>2. Vecuronio</b>	Ampolla 4, 10 mg polvo liofilizado  Dilución: 10 amp de 4 mg + 100 ml SSN 1ml = 0,4 mg 4 amp de 10 mg + 100 ml SSN 1 ml = 0,4 mg	Bolo inicial 0.2 mg/kg
<b>3. Rocuronio</b>	Ampolla 50 mg en 5 ml 1 ml = 10 mg  Dilución: 5 amp + 75 ml SSN 1 ml = 2,5 mg	Bolo inicial 1 mg/kg endovenoso.  5 - 15 mcg/kg/min goteo endovenoso.

**Fuente:** Celis-Rodríguez E, Birchenall C, de la Cal MÁ, Castorena Arellano G, Hernández A, Ceraso D, et al. Guía de práctica clínica basada en la evidencia para el manejo de la sedoanalgesia en el paciente adulto críticamente enfermo. Med Intensiva. noviembre de 2013;37(8): p. 519-74. (5)

## Estrategias Generales

El papel de Enfermería a la cabecera del paciente es fundamental por lo que deben recibir una preparación adecuada y para ello se debe contar con un programa de educación continuada haciendo énfasis en la gestión de la analgesia y la sedación como una actividad central y como una competencia de su quehacer profesional.

De acuerdo con la normatividad de cada institución el grupo profesional de Enfermería podría manejar las infusiones de Ketamina y Fentanilo en todo su rango terapéutico de acuerdo a las metas establecidas en la revista del servicio siguiendo las escalas de dolor designadas y podrá manejar las infusiones de Propofol, Midazolam y Dexmedetomidina en todo su rango terapéutico de acuerdo a las metas establecidas en la revista del servicio siguiendo la escala de sedación designadas.

El equipo médico liderado por el Médico Intensivista debe evaluar una analgesia efectiva y una sedación óptima para contribuir a los objetivos más amplios en el paciente que no requiere de sedación profunda para

facilitar la promoción del sueño natural, las estrategias de movilización temprana y una mejor comunicación de pacientes con el personal de salud y familiares, favoreciendo el protocolo ABCDEF, todo lo cual se puede esperar que ayude a la rehabilitación, evitar el aislamiento, confusión y posibles complicaciones psicológicas a largo plazo de una estancia en las Unidades de Cuidado Intensivo, Unidades de Cuidado Intermedio, recuperación de Sala de Operaciones y en el servicio de Urgencias evitando el síndrome de abstinencia y previniendo el delirium. (7)

## **Cuidados Humanitarios**

### **Confort**

Se deben evaluar las causas que pueden generar incomodidad y desconforto en el paciente como primer objetivo para ser corregidos para establecer una comodidad óptima del paciente cuando se logre retirar la necesidad de tener una sedación profunda.

Las causas de incomodidad como una inadecuada programación de parámetros de la ventilación mecánica invasiva y no invasiva, el globo vesical, el prurito, la terapia de restricción física inadecuada, mal posicionamiento en la cama, altos niveles de ruido, alarmas constantes, la termorregulación ineficaz, el patrón del sueño alterado, la mala comunicación verbal, la falta de atención / individualidad, la ansiedad, el miedo, la pérdida de la autonomía, la interrupción de los procesos familiares, la interacción social alterada, el sentimiento de impotencia y otros deben ser evitados o solucionados.

### **Información Adecuada**

Una adecuada información al paciente sobre su enfermedad y de las intervenciones que requiere puede mejorar su colaboración, así como la falta de información o su manejo inadecuado favorece el incremento de la ansiedad por lo que se debe evitar las conversaciones inadecuadas breves y fragmentadas ya que el efecto de este tipo de contacto puede ser incomprensible, confuso o alarmante para el paciente.

Es importante la reorientación la cual se puede promover a través de medidas sencillas, como la devolución de audífonos y gafas, y otras que permitan a los pacientes restablecer contactos significativos con su entorno, con su familia y con sus cuidadores por lo que la política de horas de visita debe revisarse evaluando la posibilidad de que la familia tenga un horario extendido como parte integral de la atención humanizada y de la rehabilitación.

## **Sueño Adecuado**

El mantenimiento o la restauración de un sueño natural debe ser un objetivo terapéutico en la UCI utilizando medidas complementarias para promoverlo como es el control de la luz ambiental, musicoterapia, disminución de ruido, sincronización con el ciclo circadiano implementando el paquete de sueño para lograr mantener los ritmos regulares de sueño-vigilia sin uso farmacológico favoreciendo las actividades durante el día con luz día, reduciendo la luz en la noche y valorando el uso de tapones para los oídos, la comodidad de la cama con tendido limpio y adecuado con almohadas limpias y funcionales, evitando lo episodios de ruido y cuidado.

Debe evitarse situaciones que puedan producir la alteración del sueño en la medida de lo posible como las evaluaciones médico-enfermería, las pruebas diagnósticas, la terapia física y respiratoria, el ruido, la luz en la noche, el dolor, la incomodidad y los procedimientos invasivos. El sueño deficiente o no tener un sueño natural ha sido identificado como un factor de riesgo para el Delirium.

## **Evitar el Ruido**

Se debe evitar el ruido ya que genera un ambiente hostil con la consecuente alteración del sueño y la aparición de ansiedad y en esta circunstancia es importante el manejo óptimo de las alarmas de tal forma que no se generen alertas ineficientes las cuales pueden producir ansiedad además de interferir en la tranquilidad y confort del paciente.

## **Estrategias de Movilización Temprana**

Se deben ejecutar programas de estimulación mental temprana y actividades de movilidad temprana las cuales deben iniciarse inmediatamente después de la estabilización fisiológica neurológica, respiratoria y cardiovascular. El grupo de Fisioterapia debe implementar los planes de movilización temprana pasiva y una vez el estado clínico del paciente lo permita pasarlo a movilización activa garantizando un adecuado manejo de la ansiedad y del discomfort durante las sesiones. La movilización temprana ayuda a evitar la agitación, el delirium y el desacondicionamiento adquirido en la UCI.

## **Restricción Física**

Requerida para evitar la retirada, de forma deliberada o accidental, de los dispositivos médicos, no debe ser un procedimiento de rutina. Requerida para mantener los tratamientos que necesiten técnicas invasivas cuando

los pacientes no pueden entender su necesidad. Debe ser claro su beneficio, debe ser lo menos invasiva y capaz de optimizar la seguridad del paciente manteniendo en lo posible su comodidad y su dignidad y debe registrarse en la historia clínica su uso racional y el tiempo durante el cual se va a utilizar. Debe ser reevaluada para definir su retirada y detectar sus complicaciones.

### **Manejo del Dolor**

La evaluación periódica y reevaluación de los requisitos de analgesia es esencial durante toda la estancia en la UCI por lo que estos requisitos deben ser evaluados y consignados por parte de Enfermería una vez por turno, cada que se entra en contacto con el paciente, cuando se presenten signos clínicos de presencia de dolor o cuando se presenten intervenciones al paciente.

Para valorar la presencia de dolor en el paciente que se pueda comunicar se utiliza la Escala Visual Análoga del dolor (EVA). Para valorar presencia de dolor y para el paciente que no se pueda comunicar debe utilizarse la Escala Herramienta de Observación del Dolor en Cuidado Crítico (CPOT).

Un enfoque sistemático para anticipar las necesidades de analgesia del paciente puede mejorar el manejo del dolor, como lo es el incluir el manejo de síndromes de dolor crónico preexistentes al igual que medicamentos analgésicos al ingreso y relacionarlos con el dolor agudo a la enfermedad actual tomando en cuenta también la necesidad de anticiparse a la incomodidad relacionada con los tratamientos de rutina, como la succión y el posicionamiento teniendo en cuenta que la estimulación nociceptiva antes de que se haya alcanzado el efecto máximo de la droga dará la impresión de que el analgésico es ineficaz.

Se debe enfatizar en la necesidad de reducir la exposición total a los opioides para evitar sus efectos adversos como depresión respiratoria, intolerancia alimentaria, estreñimiento e íleo, retraimiento, tolerancia, hiperalgesia, dependencia física y depresión del sistema inmune por lo que se recomienda el uso de una estrategia multimodal escalonada utilizando paracetamol endovenoso cuando no está habilitada la vía enteral, acetaminofén enteral y la dipirona endovenosa con la introducción temprana de analgésicos adyuvantes como la Dexmedetomidina y de la Ketamina en las dosis bajas (evitando efectos secundarios notables como la psicosis, la alucinación y el delirium) si las necesidades de opioides son crecientes.

Las guías institucionales del manejo del dolor deben ser parte de las estrategias de este objetivo en el manejo adecuado del dolor del paciente durante

su estadía en la Unidades de Cuidado Intensivo, Unidades de Cuidado Intermedio, recuperación de Sala de Operaciones y en el servicio de Urgencias.

### **Paciente no Intubado Ansioso y Combativo**

Los pacientes en estado crítico que no están en ventilación mecánica invasiva pueden presentar episodios de ansiedad y agitación por lo que se debe valorar y cuantificar la presencia de estas situaciones buscando las causas que afecten el confort para tratarlos adecuadamente y proporcionar analgesia adecuada antes de iniciar sedación.

Se deben usar fármacos titulando su dosificación para evitar la depresión respiratoria y eventos hemodinámicos graves y se debe tener siempre listo el equipo de vía aérea y el carro de paro cardiaco ante la posibilidad de situaciones adversas buscando las metas de analgesia y sedación mínima o moderada.

### **Paciente Intubado**

Se recomienda el uso rutinario de analgesia y sedación en los pacientes con ventilación mecánica invasiva de tal forma que se puedan lograr los objetivos de analgesia y sedación planteados en la revista del servicio.

El primer objetivo que se debe lograr es entregar confort, tratar las causas potencialmente reversibles de disconfort y agitación y proporcionar analgesia adecuada antes de iniciar sedación guiada por una escala validada.

Una analgesia adecuada la podemos lograr siguiendo las escalas de dolor designadas tanto para el paciente que se pueda comunicar como para el paciente que no se pueda comunicar siendo los opioides los analgésicos de elección, siendo de primera línea el fentanilo.

De acuerdo con las guías institucionales, el midazolam podría ser el sedante de elección en pacientes con ventilación mecánica invasiva que requieren de un nivel de sedación profunda y en el caso de que está sedación profunda sea prolongada o si se requieren de dosis de midazolam altas y crecientes, se debe asociar propofol y/o dexmedetomidina para disminuir dosis de midazolam o retirarlo.

Si el paciente no requiere de sedación profunda se recomienda evitar la administración de benzodiacepinas en pacientes con alto riesgo de delirium y utilizar la dexmedetomidina para disminuir el tiempo de ventilación mecánica invasiva y la incidencia de delirium y del síndrome de abstinencia.

Se debe administrar sedación óptima en aquellos pacientes que necesiten una valoración periódica de su estado de conciencia, la adaptación a las modalidades espontáneas de ventilación mecánica invasiva, a los modos asistidos y contralados y a los modos duales o durante el proceso de retirada de la ventilación mecánica. En los pacientes con sedación profunda y que requiera de relajación muscular es ideal la monitorización de la relajación muscular, Train of Four (TOF), buscando un bloqueo mínimo que permita la correcta adaptación a la ventilación mecánica.

Se debe tener en cuenta la fase de transición que corresponde al momento en que se decide el paso de una sedación profunda a la sedación óptima establecida en la revista del servicio para lo cual se realiza una reducción progresiva y controlada de las dosis de los sedantes inicial y posteriormente de los analgésicos.

La disminución de las dosis de los medicamentos de sedación profunda puede acompañarse de episodios de agitación, asincronía ventilatoria y eventos como retiro de dispositivos de monitoria y extubación accidental lo cual puede ser atribuido a la acumulación de estos medicamentos con retardo en el despertar en algunos pacientes, tolerancia, hiperalgesia inducida por opioides y síndrome de abstinencia entre otros. Las causas de agitación pueden estar asociadas a factores de incomodidad y dolor como también de una mala programación del ventilador mecánico, por lo tanto, su evaluación y alivio son fundamentales para una transición tranquila a la sedación óptima.

### **Delirium**

El delirium tiene una elevada incidencia en el enfermo grave y es un factor independiente de mortalidad y de estancia prolongada en la UCI por lo que se recomienda el uso de los modelos E-PRE-DELIRIC, PRE-DELIRIC modelo PREDELIRIUM al ingreso y a las 24 horas de admisión respectivamente para predecir el riesgo de aparición de Delirium. Si este riesgo es mayor del 60% se recomienda evitar el uso de benzodicepinas, utilizar sedación con Dexmedetomidina y extremar las medidas no farmacológicas para evitarlo. (tabla 15).

Si se diagnostica el delirium se establecen las medidas farmacológicas endovenosa con Dexmedetomidina y Haloperidol y (4) enterales con Risperidona, Quetiapina, Olanzapina y Clozapina.(8)

**Tabla 15.** Estrategias no Farmacológicas.

<ol style="list-style-type: none"><li>1. Favorezca el confort del paciente.</li><li>2. Manejo adecuado del dolor.</li><li>3. Estimulación cognitiva varias veces al día.</li><li>4. Mejore la comunicación.</li><li>5. Reorientación continua.</li><li>6. Adecuar la relación sueño-vigilia.</li><li>7. Movilización temprana.</li><li>8. Retirada precoz de catéteres.</li><li>9. Minimizar en lo posible el ruido y la luz artificial.</li><li>10. Adecuado soporte emocional y psicológico.</li><li>11. Promover el recuerdo de eventos positivos y evitar amnesia completa para disminuir el síndrome post Cuidados Intensivos y mejorar el desenlace funcional del paciente posterior al alta de UCI. (RF-EB).</li><li>12. Aplicación del protocolo ABCDEF.</li></ol>
--

**Fuente:** Olmos M, Varela D, Klein F. enfoque actual de la analgesia, sedación y el delirium en cuidados críticos. Rev Médica Clínica Las Condes. marzo de 2019;30(2): p. 126-39.

Cuando la sedación o la analgesia prolongadas se suspenden abruptamente puede aparecer un síndrome de abstinencia, cuya incidencia en las UCI adultos puede llegar hasta el 62%. El síndrome de abstinencia se manifiesta con: agitación, delirium, convulsiones, alucinaciones, alteraciones cognitivas, insomnio, temblor, fiebre, náuseas, vómitos, hiperactividad simpática.

Evaluar el desarrollo del síndrome de abstinencia en todos los pacientes graves que se han manejado con sedantes y opioides, sobre todo cuando se utilizaron dosis elevadas, y en forma combinada por más de 48 horas. Una estrategia importante para evitar el síndrome de abstinencia es utilizar las dosis mínimas posibles de analgésicos y sedantes para lograr los objetivos propuestos y realizar su retiro progresivo y no abrupto.(9)

## Bibliografía

1. Seo Y, Lee HJ, Ha EJ, Ha TS. 2021 “Ksccm Clinical Practice Guidelines For Pain, Agitation, Delirium, Immobility, And Sleep Disturbance In The Intensive Care Unit”. *Acute Crit Care*. 28 de febrero de 2022;37(1): p. 1-25.
2. Ferrer L, Díaz JC, Cárdenas YR, Vergara P, Rivera Portilla M, Garay Fernández M, et al. «Alternativas Para La Sedación, Analgesia, Relajación Y Delirium En Pacientes COVID-19. Revisión narrativa». *Med Crítica*. 2022;36(5): p. 296-311.
3. Barr J, Fraser GL, Puntillo K, Ely EW, Gélinas C, Dasta JF, Davidson JE, Devlin JW, Kress JP, Joffe AM, Coursin DB, Herr DL, Tung A, Robinson BR, Fontaine DK, Ramsay MA, Riker RR, Sessler CN, Pun B, Skrobik Y, Jaeschke R; American College of Critical Care Medicine. Clinical practice guidelines for the management of pain, agitation, and delirium in adult patients in the intensive care unit. *Crit Care Med*. 2013 Jan;41(1): p. 263-306. doi: 10.1097/CCM.0b013e3182783b72. PMID: 23269131.
4. Olmos M, Varela D, Klein F. “Enfoque Actual De La Analgesia, Sedación Y El Delirium En Cuidados Críticos”. *Rev Médica Clínica Las Condes*. marzo de 2019;30(2):126-39.
5. Celis-Rodríguez E, Birchenall C, de la Cal MÁ, Castorena Arellano G, Hernández A, Ceraso D, et al. «Guía De Práctica Clínica Basada En La Evidencia Para El Manejo De La Sedoanalgesia En El Paciente Adulto Críticamente Enfermo». *Med Intensiva*. noviembre de 2013;37(8):519-74.
6. Seo, Yijun, et al. “2021 KSCCM clinical practice guidelines for pain, agitation, delirium, immobility, and sleep disturbance in the intensive care unit.” *Acute and critical care* 37.1 2022: (1).
7. Devlin JW, Skrobik Y, Gélinas C, Needham DM, Slooter AJC, Pandharipande PP, et al. “Executive Summary: Clinical Practice Guidelines for the Prevention and Management of Pain, Agitation/Sedation, Delirium, Immobility, and Sleep Disruption in Adult Patients in the ICU”. *Crit Care Med*. septiembre de 2018;46(9):1532-48.
8. Vincent JL, Shehabi Y, Walsh TS, Pandharipande PP, Ball JA, Spronk P, et al. “Comfort and patient-centred care without excessive sedation: the eCASH concept”. *Intensive Care Med*. junio de 2016;42(6):962-71.

9. Celis-Rodríguez E, Díaz Cortés JC, Cárdenas Bolívar YR, Carrizosa González JA, Pinilla DI, Ferrer Zaccaro LE, et al. «Guías de práctica clínica basadas en la evidencia para el manejo de la sedoanalgesia y delirium en el paciente adulto críticamente enfermo». *Med Intensiva*. abril de 2020;44(3):171-84.





## CAPÍTULO 4

# Asincronías Paciente - Ventilador Conceptos Básicos

*Patient-Ventilator Asynchroniesbasics*

**María del Pilar Triana Reyes**

Universidad Santiago de Cali, Colombia, Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-7849-7887>

✉ [maria.triana01@usc.edu.co](mailto:maria.triana01@usc.edu.co)

## Resumen

Las asincronías en ventilación mecánica son un proceso que puede interferir en la ventilación con el paciente en estado crítico, estas pueden deberse a problemas en el paciente (neuronal) o debido a la programación de la ventilación mecánica. La asincronía puede presentarse durante el disparo del ventilador, en el periodo de inspiración después del disparo, en la transición de inspiración a espiración, y en la fase espiratoria. Las asincronías disminuyen el confort, prolonga la ventilación mecánica, aumenta la estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos y puede incrementar la mortalidad. Por lo tanto, es importante comprender y corregir la causa de la asincronía y ofrecer de esta manera una adecuada ventilación pulmonar.

**Palabras claves:** asincronías ventilatorias, paciente, ventilación mecánica.

## Abstract

Asynchronies in mechanical ventilation are a process that can interfere with ventilation with the patient in critical condition. These may be due to problems in the patient (neuronal) or due to the programming of mechanical ventilation. Asynchrony can occur during ventilator triggering, in the

*Cita este capítulo / Cite this chapter*

Triana Reyes MP. Asincronías Paciente - Ventilador Conceptos Básicos. En: Estupiñán Pérez VH, editor científico. Monitoreo gráfico y ventilatorio en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI). Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2024. p. 147-166.

inspiration period after triggering, in the transition from inspiration to expiration, and in the expiratory phase. Asynchronies decrease comfort, prolong mechanical ventilation, increase the stay in the Intensive Care Unit and may increase mortality. Therefore, it is important to understand and correct the cause of the asynchrony and thus provide adequate pulmonary ventilation.

**key words:** ventilatory asynchronies, patient, mechanical ventilation.

## **Introducción**

La ventilación mecánica es un método físico que utiliza un aparato mecánico para el soporte artificial de la ventilación y la oxigenación, cuando el sistema respiratorio es insuficiente (1). El ventilador mecánico cuenta con la herramienta de la representación gráfica de los ciclos respiratorios en cada modo ventilatorio utilizado, las cuales son generadas en tiempo real proporcionando de manera inmediata información acerca de la interacción paciente-ventilador, proporcionando un registro gráfico de los cambios fisiopatológicos que pueden llevar a la presentación de la disincronía y el estrés respiratorio, en los trazados de la presión en la vía aérea, flujo aéreo, el volumen y el tiempo.

La monitorización de las asincronías durante la ventilación mecánica, así como la valoración clínica del paciente a pie de cama son fundamentales y ayudará a optimizar la interacción paciente-ventilador, facilitando que el dispositivo se acople a las condiciones elásticas y friccionales del pulmón y así mejorar la comodidad, disminuir la morbilidad y la mortalidad asociada a esta causa en UCI.(2)

## **Sincronía Ventilatoria**

Es la interacción paciente ventilador en la que el ventilador mecánico es sensible al esfuerzo del paciente, el flujo de gas generado es suficiente para cubrir las demandas y la fase inspiratoria desde la parte de la bomba, es dado por el retraso del drive neural. (3). La sensibilidad en el ventilador se programa por flujo o presión, que en función del esfuerzo pleural se abre la válvula inspiratoria, es decir, que el esfuerzo del paciente debe superar el nivel de sensibilidad para que el ventilador detecte el inicio de la inspiración.

Para garantizar la sincronía paciente ventilador el respirador debe ser sensible para detectar el esfuerzo inspiratorio del paciente, de esta manera entregar el flujo adecuado para que la presurización supla las demandas del paciente y que reconozca los tiempos neurales y que coincidan con los tiempos paciente-ventilador. Es importante tener en cuenta que las alteraciones en el balance de la ecuación del movimiento se debe conocer y, comprender sus variables ya que estas determinarían las asincronías con el ventilador mecánico y el paciente.

### **Ecuación de Movimiento:**

$$P_{tot} (P_{vent} + P_{musc}) = (\Delta P \times Flujo) + (V_t/C_{sr}) + (PEEP_i + PEEP_e)$$

Presión del tubo orotraqueal ( $P_{ot}$ ); presión del ventilador ( $P_{vent}$ ) presión muscular ( $P_{musc}$ ); cambios de presión ( $\Delta P$ ); volumen corriente ( $V_t$ ) compliance respiratoria ( $C_{rs}$ ); PEEP intrínseco ( $PEEP_i$ ) PEEP extrínseco ( $PEEP_e$ ).

Esta ecuación describe los fenómenos físicos que se dan en un paciente en ventilación mecánica. La presión en cada momento en el sistema respiratorio tiene un componente elástico presión de elastancia ( $P_{elas}$ ) que son las fuerzas desarrolladas por la pared torácica y el parénquima pulmonar durante la entrada de aire necesario para la distensión del parénquima pulmonar, y un componente resistivo (presión resistiva ( $P_{res}$ ) dado por la resistencia del circuito, tubo orotraqueal y las vías aéreas del paciente necesario para hacer avanzar el flujo de aire contra las resistencias de la vía aérea, y un componente inercial, debido a los cambios en el parénquima pulmonar causados por la aceleración del volumen. Existen otras fuerzas que intervienen, pero no son fáciles de medir entre ellas se pueden enumerar:

- Fuerzas visco elásticas.
- Fuerzas plasto elásticas.
- Fuerzas gravitacionales (4, 5).

Simplificando la ecuación del movimiento de Newton, esa presión sería la suma de los elementos elásticos (pulmón y pared torácica) y resistivos (vía aérea):

$P_{total} = P_{res} + P_{elas} + PEEP$

P = presión.

P<sub>elas</sub> = presión elástica.

P<sub>res</sub> = presión de resistencia

P<sub>total</sub> = del sistema respiratorio

**PEEP** que sería la presión positiva al final de la espiración (que mantiene el alvéolo abierto y puede ser generada por el ventilador (PEEPe) o por el paciente en situaciones de atrapamiento de aire (PEEPi). (6, 7).

Para entender las asincronías es importante conocer las fases que tiene una respiración y los cambios que suceden en todo el ciclo respiratorio.

## **Fases de la Respiración**

### **Fase 1. El Disparo (Inicio de la Inspiración)**

Determinado por la sensibilidad del ventilador, el esfuerzo del paciente, y la capacidad de respuesta de la válvula. El inicio del esfuerzo del paciente, indica el umbral del disparo al que se abre la válvula inspiratoria.

### **Fase 2. La Fase Inspiratoria de Flujo**

Representa la relación entre el flujo de entrega, tal como se determina por el algoritmo de flujo del ventilador, y el esfuerzo del paciente

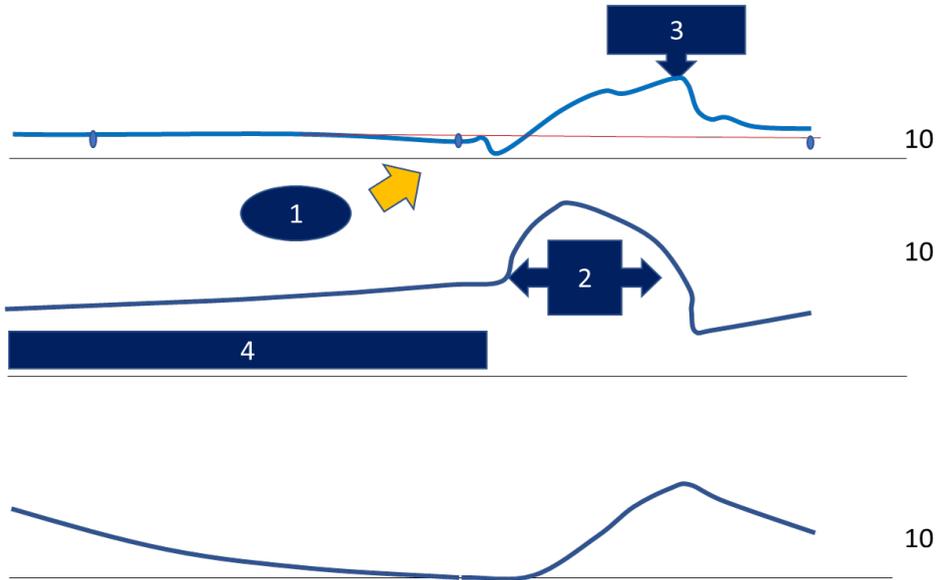
### **Fase 3. El Final de la Inspiración**

Idealmente, el ventilador termina el flujo inspiratorio en sincronía con la actividad neural del paciente, pero frecuentemente el ventilador termina la inspiración, de forma temprana o tardía. El final de la fase inspiratoria varía en función del modo ventilatorio.

### **Fase 4. La Fase Espiratoria**

Durante esta fase, la respiración debe ser una inspección para detectar presión intrínseca positiva al final de la espiración (auto-PEEP). (3) en la siguiente ilustración se representa las fases de la respiración.

**Ilustración 66.** Fases de la Respiración.



**Fuente:** Esper, R. C., & Santana, J. A. C. "Asincronía en la ventilación mecánica". *Conceptos actuales*. 16 de marzo de 2016; vol. XXX, no. 1, p. 7.

### **Asincronía Ventilatoria**

La asincronía paciente ventilador se puede definir como aquella situación en la que se produce un desajuste entre el tiempo neural (paciente) y mecánico (ventilador), o cuando el flujo entregado por el ventilador es inadecuado para cubrir la demanda de flujo del paciente (8).

Las asincronías paciente-ventilador demuestran la falta de acople entre los requerimientos del paciente según la condición patológica y lo que le soporta el ventilador, lo que puede generar lesión diafragmática, alteraciones hemodinámicas, hipoxemia, ansiedad, malestar, deterioro de la calidad del sueño, ventilación mecánica prolongada, entre otros.

Estas asincronías se presentan en un alto porcentaje debido a la inadecuada programación del ventilador mecánico y la deficiencia en su monitoreo tanto en la programación del inicio y el término del esfuerzo inspiratorio, así como del ciclado del ventilador mecánico, el origen de la demanda ventilatoria del paciente y la suficiencia en el flujo de gas generado por el venti-

lador, por las técnicas y los tratamientos de sedación, analgesia o control de los estados de delirium.

Es importante reconocer si la asincronía está relacionada con el paciente por ejemplo por tiempo inspiratorio prolongado o tiempo espiratorio corto, aumento o disminución del drive respiratorio, patologías pulmonares, entre otras, observándose principalmente en el paciente desbalance toracoabdominal, taquipnea y cambios en las presiones del ventilador (3). Ver tabla 16.

**Tabla 16.** Factores que afectan la Sincronía Paciente-Ventilador.

<b>Factores que afectan a Sincronía Paciente-Ventilador</b>	
Asociados al ventilador	Mecanismo de trigger: presión, flujo, patrón de onda de flujo Sensibilidad programada Tiempo de rampa Entrega de flujo Patrón de flujo Ciclado de espiración Artefactos de flujo (nebulizadores, etc.)
Asociados al paciente	Nivel de sedación. Esfuerzo inspiratorio, impulso central, tiempos neurales. Patologías del sistema respiratorio o abdomen restrictivas u obstructivas). Nivel se auto-PEEP. Presencia de fugas o agua en el circuito.

**Fuente:** López, S., Artacho, B., Artacho, R., García, F., Guzmán, J. A., López, M., Caballero, F., & Campo, E. “Interacción paciente-ventilador.” *Revista de Patología Respiratoria*, vol. 15, no. 2, 2012, pp. 54-60.

## Índice de Asincronía

Se utiliza para identificar el porcentaje de asincronía y se define como el número de eventos **asincrónicos/frecuencia respiratoria total x 100%**; si el resultado es mayor del 10% se denomina asincronía severa y estaría alterando la mecánica ventilatoria del paciente. (3,9).

## **Tipos de Asincronías:**

Las asincronías ventilatorias se generan por tres factores:

- Paciente
- Ventilador
- Interfaz

Las asincronías dadas por el paciente están relacionadas con el impulso ventilatorio, patrón ventilatorio, condiciones de la mecánica ventilatoria, auto-PEEP y reflejos neuro humorales o químicos. Las asincronías dadas por el ventilador están dadas por el disparo o Gatillo, entrega de flujo, nivel de soporte, ciclado, modo ventilatorio, y por último las asincronías por interfaz se dan por la vía aérea artificial e interfaz de ventilación mecánica no invasiva (9, 10,11).

### **Clasificación de las Asincronías Ventilatorias**

- Asincronía de disparo o gatillo (trigger)
- Asincronía del flujo o de la presurización (sed de flujo o flujo insuficiente)
- Asincronía por ciclado.

#### **Asincronía de Disparo o Gatillo (trigger)**

El esfuerzo inspiratorio del paciente inicia la entrega de gas por el ventilador al alcanzar un determinado umbral, trigger, programado por el operador (12). Esta asincronía se presenta por la incapacidad del modo ventilatorio o programación para detectar el esfuerzo del paciente y genera la no respuesta del ventilador o la respuesta inefectiva.

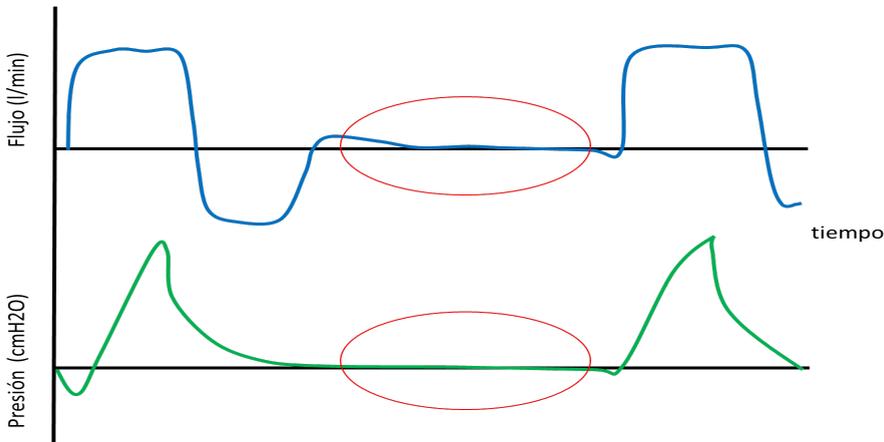
Al alcanzar el nivel de sensibilidad, los cuales pueden ser por cambios en la presión, en el flujo o en el tiempo, el ventilador según el modo ventilatorio empleado, se sincroniza con el tiempo del paciente. Existen diversos tipos de disparos(2):

**Asincronía por Disparo Inefectivo o Retardo del Soporte.** Con la siguiente clasificación:

- Autociclado
- Doble disparo
- Disparo reverso

**Asincronía por disparo inefectivo o retardo del soporte.** La asincronía por disparo inefectivo se presenta debido a que el ventilador no detecta el esfuerzo respiratorio del paciente, por lo tanto, no se da el soporte asistido o espontáneo por factores derivados del ventilador o por el paciente. Los factores debidos al paciente son el volumen corriente alto, pH alto, hipocapnicos ( $\text{PaCO}_2$  bajo), excesivo uso de sedantes, debilidad muscular, bajo impulso respiratorio central. En cuanto al ventilador por altos niveles de presión de soporte y asincronía espiratoria, siendo estas causas generadoras de impulsos respiratorios bajos y no alcanzan la presión de disparo en el tiempo establecido (2, 12). En la Ilustración 67 flujo/tiempo se puede observar una inflexión positiva no seguida de una respiración.

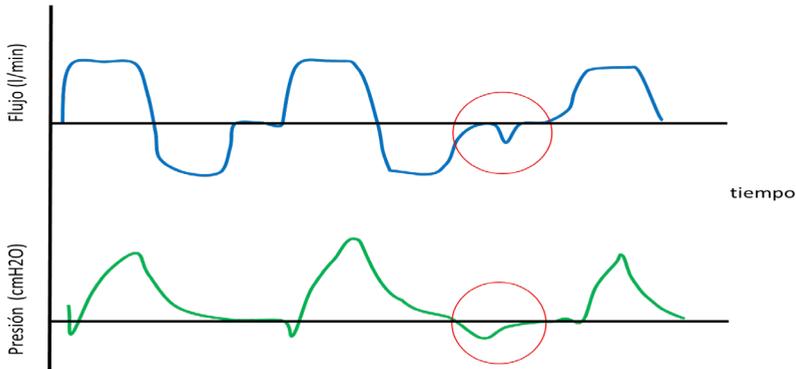
**Ilustración 67.** Asincronía por disparo inefectivo.



**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” 11 Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

En el caso de retardo del soporte, esta asincronía se presenta porque el ventilador no detecta el esfuerzo respiratorio del paciente como se observa en la ilustración 68, en el flujo se observa una inflexión positiva no seguida de una respiración mecánica controlada y en la gráfica de presión/tiempo muestra una inflexión negativa no seguida de insuflación (2).

**Ilustración 68.** Asincronía por Retardo del Soporte.

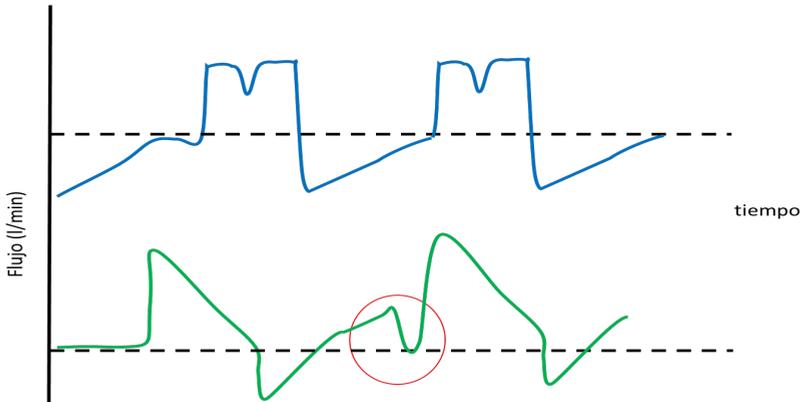


**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” 11 Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

**Autociclado.** Se define como el disparo del ventilador en ausencia del esfuerzo del paciente, por lo tanto, no se da el soporte asistido o espontáneo. Se puede producir por presencia de agua en el circuito, fugas y las oscilaciones cardíacas. El autociclado es común en pacientes con umbral inspiratorio central bajo, frecuencia respiratoria baja, volumen sistólico elevado y en ausencia de hiperinsuflación dinámica. El autociclado afecta el manejo de paciente, ocasionando disminución de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  en la sangre arterial ( $\text{PaCO}_2$ ) y afectar el esfuerzo inspiratorio.

Esta asincronía se puede corregir aumentando el umbral de sensibilidad por flujo o presión para el disparo del ventilador, incrementado el impulso central del paciente disminuyendo el nivel de sedación o aumentando  $\text{PaCO}_2$  o controlando las fugas que puedan existir en el tubo orotraqueal, circuitos, agua en el circuito, entre otros. En la ilustración 69 se observa este tipo de asincronía, observe la ausencia del descenso de curva inicial durante el final de la espiración. (2,12)

**Ilustración 69.** Autociclado.



**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” II Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

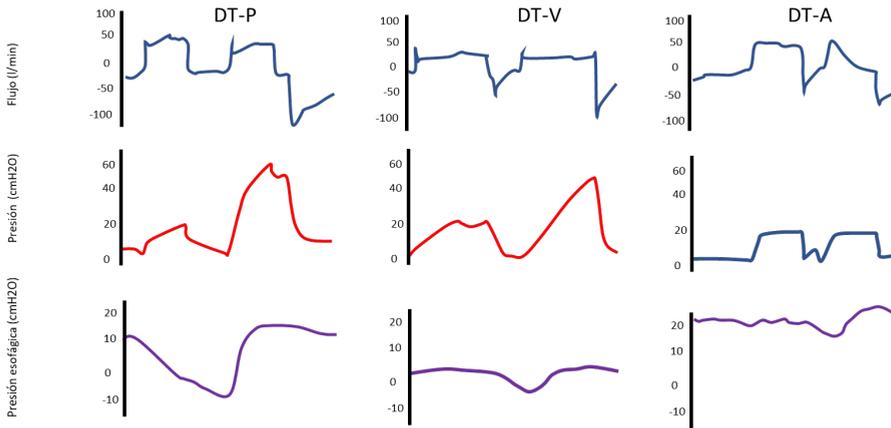
**Doble disparo.** El doble disparo son dos insuflaciones del ventilador entregadas dentro de un esfuerzo inspiratorio del paciente. El disparo puede ser activado por el paciente (DP-P), por ventilador (DTV) o activado automáticamente (DT-A). (2)

En la inspiración, la presión en la vía aérea depende de la relación entre el flujo aportado por el ventilador y el flujo hacia el parénquima pulmonar generado por acción de los músculos respiratorios del paciente. Si al cerrarse la válvula inspiratoria el paciente persiste con su esfuerzo inspiratorio ( $T_{pac} > T_{ivent}$ ), se produce una caída de la presión media de las vías aéreas que puede volver a disparar un ciclo inspiratorio y cuando el tiempo inspiratorio mecánico supera al tiempo inspiratorio neural del paciente ( $T_{pac} < T_{ivent}$ ), el paciente comienza a exhalar contra una vía aérea que continúa presurizada. Si éste persiste (incluso por tiempos muy breves) el paciente activa sus músculos espiratorios produciendo un incremento de la presión de la vía aérea. (3,13)

El doble disparo se produce cuando el esfuerzo del paciente es mayor a la entrega por inadecuados parámetros o inicio súbito de la respiración espontánea, corto tiempo inspiratorio, presión inspiratoria máxima alta, PEEP alta y sensibilidad del disparo espiratorio alto y baja fracción inspirada de oxígeno ( $FiO_2$ ) (2).

En la curva de presión se ve una deflexión negativa por cada respiración tomada durante el doble disparo, en la ilustración 70 se observa un disparo rápido seguido de un doble incremento de flujo en el mismo ciclo respiratorio. La segunda respiración del doble umbral desencadena una respiración mecánica que causa una segunda inflexión positiva en la onda de flujo. (2)

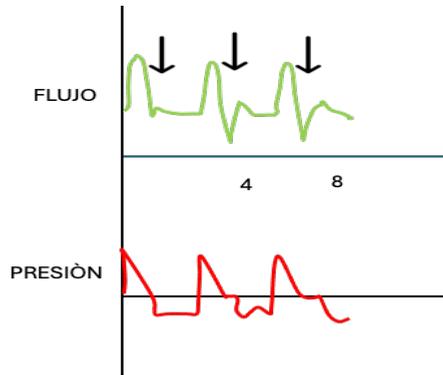
**Ilustración 70.** Doble Disparo.



**Fuente:** Gilstrap, D.; Davies, J.; Liao, K.M.; Ou, C.Y.; Chen, C.W. Classifying Different Types of Double Triggering Based on Airway Pressure and Flow Deflection in Mechanically Ventilated Patients. Clin Chest Med 2011, 37, 460–466.

**Disparo reverso o respiración de arrastre.** Es un tipo de asincronía que se presenta como un esfuerzo inspiratorio que ocurre después del inicio de una respiración mandatoria, condicionando la contracción involuntaria excéntrica del diafragma e incluso en ocasiones de los músculos accesorios. Estos esfuerzos anormales se manifiestan de una forma regular en el tiempo dado el acople neuromecánico resultante entre el estímulo de la presión entregada por el ventilador que genera sobredistensión y activación refleja de los mecanorreceptores de estiramiento y, consecuentemente de los músculos respiratorios. En ocasiones esta asincronía puede ser difícil de detectar por lo que es utilizada la medición específica de la presión esofágica o señal eléctrica diafragmática (9). Los efectos más comunes son la alteración secundaria de la dinámica pulmonar y respiratoria, doble disparo, asincronías con sed de flujo, miotrauma, efecto de pendelluft e incremento de la lesión pulmonar. (2,9). Ver siguiente ilustración.

**Ilustración 71.** Disparo Reverso o Respiración de Arrastre.



**Fuente:** Arellano DH. “Identifying Patient-Ventilator Asynchrony Using Waveform Analysis”. *Palliat Med Care Open Access*. 4 de diciembre de 2017;4(4):1-4.

### **Asincronía del Flujo o de la Presurización, Sed de Flujo o Flujo Insuficiente**

La asincronía durante la fase de presurización se presenta cuando las diferencias entre las demandas inspiratorias de flujo entre el paciente y lo ofrecido en el ventilador representan un desacople neuromecánico del punto actual de la hipérbole metabólica del paciente, como medida para alcanzar un volumen minuto para satisfacer las necesidades de los centros respiratorios en busca de una condición de equilibrio químico/metabólico, en el caso de un alto drive neural, dolor, ansiedad, delirium, fiebre, secreciones, encefalopatía, entre otras, contrastado con la incapacidad del modo ventilatorio para ajustarse a dicha demanda. (2,3,9,12)

Esta asincronía es más frecuente en ventilación controlada por volumen, la causa es el ajuste incorrecto del flujo pico, tiempos inspiratorios inadecuados y/o rampa (es el tiempo de presurización del sistema) prolongada o corta. La entrega de flujos muy altos puede ser una fuente de asincronías, ya que esta genera un incremento en la frecuencia respiratoria y disminución del tiempo inspiratorio, lo que resulta en un tiempo mecánico más prolongado que el neural, con el incremento de la presión pico. (2,9,12)

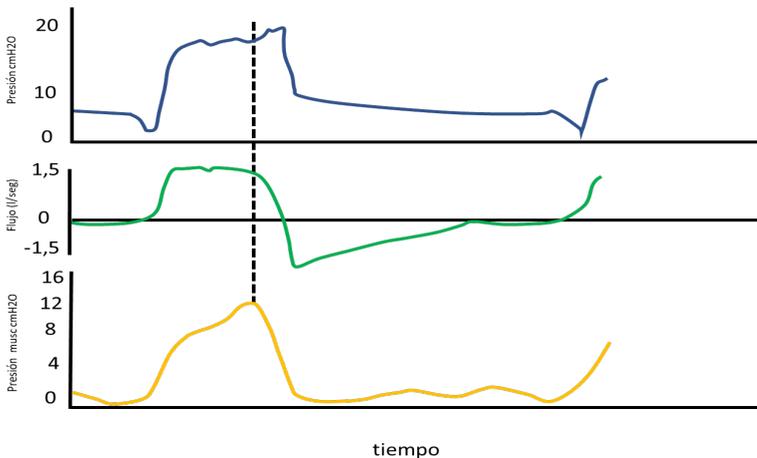
En modos por presión, es menos frecuente al ser el flujo, resultado de las condiciones de la mecánica pulmonar, principalmente por configuración inapropiada del rise time.

En el modo presión de soporte, si el paciente relaja toda la musculatura respiratoria después del disparo, la duración de la fase de presurización depende de la constante de tiempo del sistema respiratorio y del valor de porcentaje de flujo escogido para el ciclado. Si el paciente no relaja sus músculos respiratorios, la duración de la fase de presurización es impredecible, ya que la presión ejercida por los músculos respiratorios (Pmus) puede variar de una respiración a otra. Por lo tanto, cualquier desviación de la forma de la curva de flujo en condiciones pasivas (un patrón de flujo descendente) nos alertará de la posible asincronía (Ilustración 72).

Un flujo inspiratorio reducido produce asincronía y un flujo excesivamente elevado puede provocar taquipnea en el paciente; el acortamiento en el tiempo inspiratorio neural se acompaña invariablemente de un acortamiento del tiempo espiratorio neural, ya que las dos fases del ciclo están estrechamente relacionadas. (14, 15)

Las consecuencias de la sed de flujo pueden evolucionar en el tiempo en caso de no identificar a tiempo la causa de la asincronía que van desde alteraciones en la presurización del sistema en inspiración, disnea, aumento progresivo de las demandas del paciente, hasta doble disparo y aumento en la lesión pulmonar. Esta asincronía muestra curvas de flujo normales y una excavación cóncava de la curva de presión en la aceleración de la curva. (2,9).

**Ilustración 72.** Asincronía del Flujo.

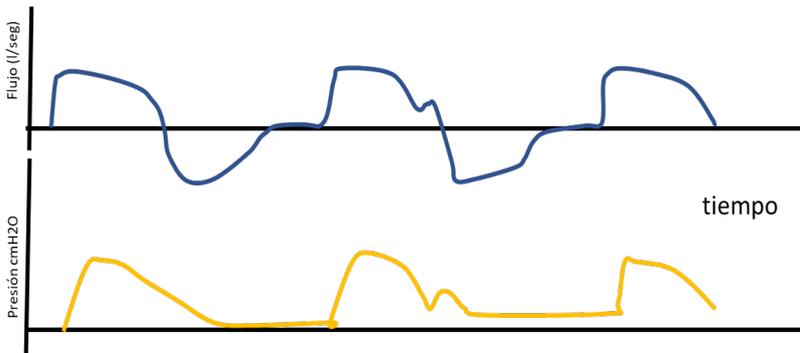


**Fuente:** Carrillo Esper, Raúl, et al. “Asincronía en la ventilación mecánica. Conceptos actuales.” Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva, vol. 30, no. 1, ene.-mar. 2016.

## Asincronía por Ciclado

La asincronía por ciclado se asocia con el final de la inspiración y el comienzo de la espiración (2), es decir, con la falta de sincronización del tiempo mecánico frente al tiempo neural del paciente. Aunque el tiempo no es una variable directa en la ecuación de movimiento respiratorio, las asincronías de ciclado se traducen en necesidades de cambio en el esfuerzo del paciente y, por lo tanto, en el componente de presión muscular. Cuando el tiempo inspiratorio mecánico es más corto que el tiempo inspiratorio neural, el paciente continúa contrayendo los músculos respiratorios durante la espiración mecánica. En la siguiente Ilustración el flujo se observa una distorsión al inicio de la espiración (3).

**Ilustración 73.** Asincronía por Ciclado.



**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” 11 Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

**Ciclado temprano.** La identificación prematura de la terminación de la inspiración se observa en la curva de flujo, en la que se presenta una inflexión positiva al final de la espiración y también una deflexión negativa de la presión simultáneamente.

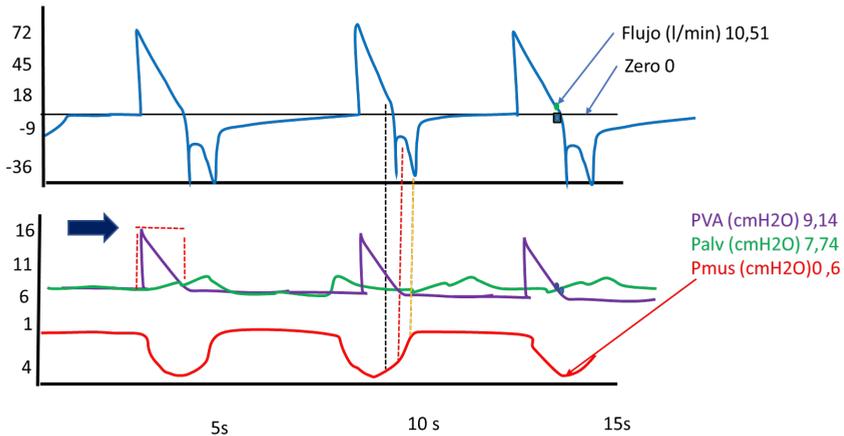
**Causas de terminación prematura.** Pueden ser dos:

- Durante la presión de soporte: por niveles bajos de presión de soporte, constantes de tiempo cortas, tasa de flujo disminuidos por influencia en la resistencia y la distensibilidad e hiperinsuflación dinámica

- Durante la ventilación asistida por volumen: por ajuste de parámetros con resultado de corto tiempo inspiratorio.

En modos ciclados por tiempo, se corrige ajustando el tiempo inspiratorio, y en los modos de ventilación por presión soporte se corrige ajustando la proporción de ciclado espiratorio. En la siguiente ilustración se puede observar un ciclo temprano.

**Ilustración 74.** Asincronía Ciclado temprano.



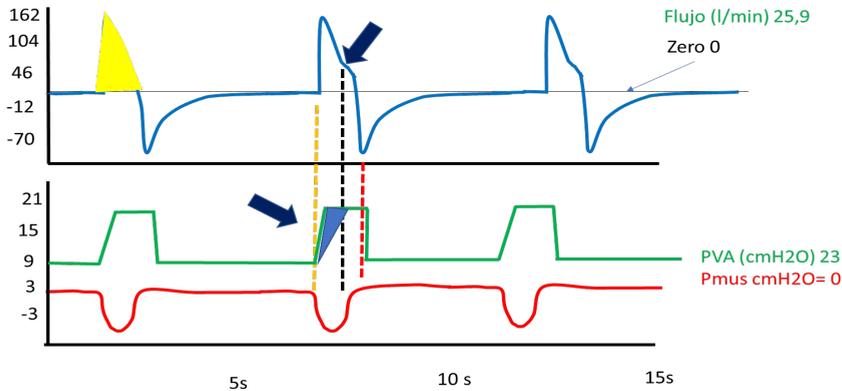
**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” II Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

**Ciclado tardío.** La duración del tiempo mecánico es mayor que el tiempo neural del paciente. Se evidencia como un cambio en la pendiente del flujo inspiratorio con descenso más rápido seguido por declive final menos acentuado.

**Causas de Terminación Tardía.** Pueden ser dos:

- Durante la presión de soporte: con parámetros que resultan de presión soporte muy alta o rise time muy prolongado.
- Durante la ventilación asistida por volumen: se presenta por bajo flujo, elevado tiempo inspiratorio, alto volumen corriente y en modos por presión en relación con ciclado demasiado bajo. En la siguiente Ilustración se observa el ciclo tardío.

### Ilustración 75. Asincronía Ciclado tardío.



**Fuente:** Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte Ventilatorio Básico y Avanzado (SORBA).” II Curso-taller de Ventilación Mecánica. Grupo Distribuna, 2018, Bogotá, Colombia.

## Dispositivos o Métodos para Evaluar la Asincronía

Para optimizar la sincronización de las demandas de los pacientes y disparo del ventilador existen diferentes métodos como es el índice entre la interacción paciente-ventilador (índice NeuroSync), que mide la actividad eléctrica diafragmática (EADI), el análisis manual y los índices de asincronía descrito anteriormente. El índice NeuroSync aumentó la sensibilidad de la detección de asincronía, también se utiliza el análisis espectral de flujo de las vías respiratorias que mide el espectro de frecuencia de la señal de flujo de las vías respiratorias, procesado para incluir sólo su fase espiratoria, proporciona una evaluación automática, no invasiva en intervalos cortos y fijos, este método puede adaptarse al ventilador como un monitor clínico de asincronía (16), y la monitoria con ecografía diafragmática la cual permite visualizar patrones especiales de movimiento y en el grosor diafragmático durante la respiración, generando información en el manejo de situaciones como las asincronías paciente-ventilador. (17,18).

## Estrategias para Corregir las Asincronías

### Titulación del Flujo

En la modalidad ventilatoria por volumen, si el flujo insuficiente genera una presurización inadecuada y aumento del esfuerzo respiratorio del paciente,

se debe aumentar el flujo de entrega el cual produce un alivio en la relación demanda/entrega del paciente. En las modalidades por presión, la relación tiempo-presión pico determinará el incremento o descenso del flujo total de entrega. En las modalidades duales, la relación de la presión/volumen objetivo determina el flujo resultante.

### **Titulación del Disparo Inspiratorio**

Se indica la programación de la sensibilidad por flujo porque su respuesta es más rápida y debe ser ajustada con base en el esfuerzo generado por el paciente, se recomienda el análisis la Figura de flujo-tiempo. En caso de que el ventilador sólo cuente con la sensibilidad por presión, se debe programar la sensibilidad ajustando el nivel de presión alcanzado por el paciente en la deflexión y así garantizar el alcance de cada uno de los esfuerzos.

### **Titulación del Tiempo de Insuflación**

El tiempo de insuflación está determinada por dos variables las cuales son: el tiempo inspiratorio que está dado por las respiraciones controladas y/o la relación del tiempo inspiratorio/espírotorio en las respiraciones espontáneas totales, siendo esencial la fijación de la sensibilidad espiratoria, y el tiempo de presurización del circuito; el cual está definido por el rise time o rampa y se programa de acuerdo con el comportamiento de la curva presión tiempo.

### **Titulación del Nivel de Presión de Soporte**

El objetivo de la titulación del nivel de presión de soporte es disminuir los esfuerzos ineficaces a través de la disminución de la presión, con esto se logra disminuir el volumen corriente, disminuir el tiempo de insuflación, aumentar el tiempo espiratorio, evitar la sobredistensión y evitar la PEEP intrínseca.

### **Titulación de la PEEP**

La programación de la PEEP está en relación con los requerimientos mecánicos y de intercambio gaseoso del paciente. En caso de presencia de auto-PEEP, se debe ajustar a un 80-85% de nivel de auto-PEEP medido, con el fin de reducir el impacto en la sensibilidad (9).

Cualquier sea el origen de las asincronías deben ser corregidas para evitar que el paciente entre en angustia o ansiedad, en la siguiente tabla se mues-

tra estrategias que pueden contribuir a la corrección del desacople debido al ventilador.

**Tabla 17.** Resumen de estrategias para corregir cada asincronía.

Asincronía	Estrategias
Asincronía por disparo inefectivo o retardo del soporte	Comprobar la sensibilidad de disparo y si el atrapamiento aéreo es excesivo, comprobar si la asistencia es excesiva (ajuste excesivo de la frecuencia o del tiempo inspiratorio durante los modos controlados, o un nivel excesivo de ventilación presión de soporte), compensar la auto-PEEP con el 80-85% del valor de medición, valorar la presencia de disnea y/o contemplar la opción de modos proporcionales.
Autociclado	Comprobar la sensibilidad de disparo aumentando el umbral de presión o flujo, valorar el nivel de sedación del paciente, aumentar la PaCO <sub>2</sub> , revisar la presencia de fugas y agua en el circuito del ventilador.
Doble disparo	Disminuir el nivel de sedación, revisar la frecuencia respiratoria, en paciente con factores de riesgo de lesión pulmonar se debe considerar los relajantes
Disparo reverso	Valorar la sedación o relajación
Asincronía de flujo	Aumentar el flujo aéreo, disminuir el impulso respiratorio y evaluar la eficacia de la analgesia y la sedación y valorar la presencia de disnea.
Asincronía por ciclado temprano	Ajustar el tiempo inspiratorio, ajustar la proporción de ciclado espiratorio
Asincronía por ciclado tardío	Reducir el tiempo inspiratorio programado aumentado el flujo, comprobar el ciclado y el volumen corriente, y verificar el confort del paciente.

**Fuente:** Esper, C.; Raúl, C.S.; Alberto, J.; Del Moral, R.; González, R.; Pablo, J. Asincronía En La Ventilación Mecánica. *Conceptos actuales*. Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva 2016, 30.

## Bibliografía

1. Vales, Salvador Benito, Ramos Gómez Luis A. *Fundamentos de ventilación mecánica*. 1ª edición 2012. Editorial Marge Médica Book. Barcelona España
2. Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. “Soporte ventilatorio básico y avanzado (SORBA)”. *II Curso-taller de Ventilación Mecánica*. 2018. Grupo Distribuna. Bogotá Colombia.
3. Esper, C.; Raúl, C.S.; Alberto, J.; Del Moral, R.; González, R.; Pablo, J. “Asincronía En La Ventilación Mecánica. Conceptos actuales”. *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva* 2016, 30.
4. García-Prieto E., Amado-Rodríguez L. a,b y. Albaiceta G.M., a,b,c,\* “Monitorización de la mecánica respiratoria en el paciente ventilado, por el grupo de Insuficiencia Respiratoria Aguda de la SEMICYUC”. *Medicina Intensiva* V. 38, Issue 1, January–February 2014, Pages 49-55)
5. Donoso, A.; Arriagada, D.; Contreras, D.; Ulloa, D.; Neumann, M. “Monitorización respiratoria del paciente pediátrico en la Unidad de Cuidados Intensivos”. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 2016, 73, 149–165, doi:10.1016/j.bmhmx.2016.02.006.
6. Brochard L, Martin GS, Blanch L, Pelosi P, Belda FJ, Jubran A, et al. “Clinical review: Respiratory monitoring” in the ICU-a consensus of 16. *Crit Care*. 2012;16(2):219
7. Jubran A, Tobin M. Monitoring during mechanical ventilation. En: Tobin M (ed.). *Principles and practice of mechanical ventilation*. 2ª ed. New York: McGraw-Hill; 2006. p. 1051-80.
8. Thille AW, Brochard L. “Promoting patient ventilator synchrony”. *Clin Pulm Med*. 2007;14:350-9.
9. Ferrer Z, Leopoldo Ferrer, Celis, Edgar. Soporte ventilatorio básico y avanzado (SORBA). *II Curso-taller de Ventilación Mecánica*. 2022. Grupo Distribuna. Bogotá Colombia.
10. Gilstrap, D.; Davies, J.; Liao, K.M.; Ou, C.Y.; Chen, C.W. Classifying Different Types of Double Triggering Based on Airway Pressure and Flow Deflection in Mechanically Ventilated Patients. *Clin Chest Med* 2011, 37, p. 460–466.

11. Mellott KG, Grap MJ, Munro CL, et al. "Patient ventilator asynchrony in critically ill adults: frequency and types". *Heart Lung*. 2014;43(3):231-43.
12. S. López \*, B. Artachob, R. Artachoc , F. García c , J.A. Guzmán c, M. Lópezc, F. Caballeroc y Campoc E. "Interacción pacienteventilador". *Revista de Patología Respiratoria*. 2012; 15(2):54-60
13. Correger, E.; Murias, G.; Chacon, E.; Estruga, A.; Sales, B.; Lopez-Aguilar, J.; Montanya, J.; Lucangelo, U.; Garcia-Esquirol, O.; Villagra, A.; et al. "Interpretación de las curvas del respirador en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda". *Med. Intensiva* 2012, 36, 294–306, doi:10.1016/j.medin.2011.08.005.
14. Arellano DH. "Identifying Patient-Ventilator Asynchrony Using Waveform Analysis". *Palliat Med Care Open Access*. 4 de diciembre de 2017;4(4):1-4.

# Índices de tablas

Tabla 1. Utilidad del Monitoreo Respiratorio .....	<b>15</b>
Tabla 2. Utilidades de la Curva Presión .....	<b>20</b>
Tabla 3. Clasificación de los flujos .....	<b>27</b>
Tabla 4. Efectos cardiopulmonares de la Pit .....	<b>31</b>
Tabla 5. Causas de Auto-PEEP en Ventilación Mecánica.....	<b>32</b>
Tabla 6. Fases de la Capnografía .....	<b>68</b>
Tabla 7. Diagnostico Diferencial de Valores de PETCO2 Crecientes o Decrecientes.....	<b>71</b>
Tabla 8. Anomalías que Afectan a los Componentes de la Forma de Onda del Capnógrafo .....	<b>73</b>
Tabla 9. Protocolo ABCDEF .....	<b>126</b>
Tabla 10. Cuidados Humanitarios y los Componentes de la Atención Centrada en el Paciente .....	<b>127</b>
Tabla 11. Escala Herramienta de observación del dolor en Cuidado Crítico. (Critical Care Pain Observation Tool [CPOT]).....	<b>128</b>
Tabla 12. Escala Conductual Del Dolor (Behavioral Pain Scale [BPS]).....	<b>130</b>
Tabla 13. Escala de Richmond Agitation Sedation Scale (Rass).....	<b>131</b>
Tabla 14. Uso de medicamentos.....	<b>133</b>
Tabla 15. Estrategias no Farmacológicas.....	<b>143</b>
Tabla 16. Factores que afectan la Sincronía Paciente-Ventilador .....	<b>152</b>
Tabla 17. Resumen de estrategias para corregir cada asincronía.....	<b>164</b>

# List of tables

Table 1. Usefulness of Respiratory Monitoring.....	<b>15</b>
Table 2. Pressure Curve Utilities .....	<b>20</b>
Table 3. Classification of flows .....	<b>27</b>
Table 4. Cardiopulmonary effects of Pit .....	<b>31</b>
Table 5. Causes of Auto-PEEP in Mechanical Ventilation .....	<b>32</b>
Table 6. Phases of Capnography .....	<b>68</b>
Table 7. Differential Diagnosis of Increasing or Decreasing PEtCO <sub>2</sub> Values ...	<b>71</b>
Table 8. Anomalies Affecting Shape Components Capnograph wave .....	<b>73</b>
Table 9. Protocol ABCDEF .....	<b>126</b>
Table 10. Humanitarian Care and Components Patient Centered Care .....	<b>127</b>
Table 11. Critical Care Pain Observation Tool Scale. (Critical Care Pain Observation Tool [CPOT]) .....	<b>128</b>
Table 12. Behavioral Pain Scale (Behavioral Pain Scale [BPS]) .....	<b>130</b>
Table 13. Richmond Agitation Sedation Scale (Rass) .....	<b>131</b>
Table 14. Use of medicines .....	<b>133</b>
Table 15. Non-pharmacological strategies .....	<b>143</b>
Table 16. Factors Affecting Patient-Ventilator Synchrony .....	<b>152</b>
Table 17. Summary of strategies to correct each asynchrony .....	<b>164</b>

# Índices de ilustraciones

Ilustración 1. Monitor en ventilación mecánica .....	15
Ilustración 2. Tipos de ondas .....	16
Ilustración 3. Componentes de curva presión .....	17
Ilustración 4. Curva Presión Tiempo en Modo Presión.....	18
Ilustración 5. Curva Presión Tiempo Modo Volumen.....	18
Ilustración 6. Tipos de Onda por Volumen .....	19
Ilustración 7. Índice de Stress en la Curva Presión Tiempo .....	21
Ilustración 8. Curva de Volumen.....	22
Ilustración 9. Cambios de la Compliance Dinámica .....	22
Ilustración 10. Cambios de la compliance estática en Modo Volumen Control ....	23
Ilustración 11. Fugas Curva Volumen / Tiempo .....	24
Ilustración 12. Fuga de aire.....	25
Ilustración 13. Atrapamiento de aire.....	25
Ilustración 14. Tipos de Onda por flujo.....	26
Ilustración 15. Curva flujo tiempo .....	28
Ilustración 16. Aumento de la resistencia en modo volumen .....	30
Ilustración 17. Valoración de Auto-PEEP.....	31
Ilustración 18. Gráfica Presión/Volumen.....	33
Ilustración 19. Puntos de Inflexión .....	34
Ilustración 20. Respiración Espontanea .....	35
Ilustración 21. Aumento de la Compliance.....	36
Ilustración 22. Disminución de la Compliance .....	37
Ilustración 23. Aumento de la Resistencia en la Vía Aérea.....	38
Ilustración 24. Fuga Bucle Presión-Volumen.....	38
Ilustración 25. Gráfica de Trabajo Respiratorio .....	40
Ilustración 26. Componentes Bucle Flujo/Volumen .....	41
Ilustración 27. Bucle Flujo/Volumen .....	42
Ilustración 28. Interpretación Bucle Flujo/volumen .....	43
Ilustración 29. Cambios de Compliance en la Curva Flujo/ Volumen .....	45
Ilustración 30. Aumento de la Resistencia Bucle Flujo/Volumen .....	46
Ilustración 31. Resistencia en Inspiración y Expiración.....	47
Ilustración 32. Resistencia de la Va Aérea .....	48

Ilustración 33. Cambios de la Resistencia en Modo Presión.....	<b>49</b>
Ilustración 34. Relación de WOB en los Bucles Presión /Volumen .....	<b>50</b>
Ilustración 35. Fugas en Presión/Volumen .....	<b>51</b>
Ilustración 36. Distribución de la Resistencia .....	<b>52</b>
Ilustración 37. Valoración de la Resistencia en la Curva Presión /Volumen.....	<b>52</b>
Ilustración 38. Aumento de la resistencia .....	<b>53</b>
Ilustración 39. Aumento y Disminución de la Compliance en Presión/Volumen ..	<b>54</b>
Ilustración 40. Fisiología del dióxido de carbono.....	<b>59</b>
Ilustración 41. Capnografía de Tiempo y Volumen.....	<b>65</b>
Ilustración 42. Representación del Capnograma para Tres Respiraciones.....	<b>67</b>
Ilustración 43. Trazo de capnograma normal .....	<b>69</b>
Ilustración 44. Componentes del espacio Muerto en el capnógrafo Volumétrico ..	<b>75</b>
Ilustración 45. Ejemplos de Ondas de Capnogramas .....	<b>77</b>
Ilustración 46. Capnograma con línea de base ascendente .....	<b>78</b>
Ilustración 47. Capnograma que Sugiere Neumotórax .....	<b>79</b>
Ilustración 48. Capnogramas de Adultos y Neonatos con Intubación .....	<b>80</b>
Ilustración 49. Capnograma Durante Parada Cardíaca con Reinhalación .....	<b>81</b>
Ilustración 50. Formas de Onda Paciente Intubado .....	<b>81</b>
Ilustración 51. Onda con Disminución de EtCO <sub>2</sub> .....	<b>82</b>
Ilustración 52. Evaluación de RCP .....	<b>82</b>
Ilustración 53. Aumento Repentino De EtCO <sub>2</sub> .....	<b>82</b>
Ilustración 54. Capnografía en Paciente No Intubado.....	<b>82</b>
Ilustración 55. Hipoventilación .....	<b>82</b>
Ilustración 56. Hiperventilación .....	<b>83</b>
Ilustración 57. Decece EtCO <sub>2</sub> .....	<b>83</b>
Ilustración 58. Impacto de la fracción VD normal Versus enfermedad pulmonar .....	<b>90</b>
Ilustración 59. EtCO <sub>2</sub> Normal Durante La Sedación Procedimental Normal....	<b>95</b>
Ilustración 60. Hiperventilación.....	<b>95</b>
Ilustración 61. Hipoventilación bradipneica.....	<b>96</b>
Ilustración 62. Hipoventilación hipoapneica .....	<b>96</b>
Ilustración 63. Hipoventilación y apnea.....	<b>96</b>
Ilustración 64. Valoración Capnográfica Durante la Reanimación Cardiopulmonar .....	<b>99</b>
Ilustración 65. Escala visual de dolor .....	<b>128</b>
Ilustración 66. Fases de la Respiración .....	<b>151</b>

Ilustración 67. Asincronía por disparo inefectivo .....	<b>154</b>
Ilustración 68. Asincronía por Retardo del Soporte .....	<b>155</b>
Ilustración 69. Autociclado .....	<b>156</b>
Ilustración 70. Doble Disparo .....	<b>157</b>
Ilustración 71. Disparo Reverso o Respiración de Arrastre .....	<b>158</b>
Ilustración 72. Asincronía del Flujo .....	<b>159</b>
Ilustración 73. Asincronía por Ciclado.....	<b>160</b>
Ilustración 74. Asincronía Ciclado temprano.....	<b>161</b>
Ilustración 75. Asincronía Ciclado tardío .....	<b>162</b>

# List of illustrations

Illustration 1. Monitor in mechanical ventilation.....	5
Illustration 2. Types of waves .....	16
Illustration 3. Pressure curve components .....	17
Illustration 4. Pressure Time Curve in Pressure Mode .....	18
Illustration 5. Curve Pressure Time Mode Volume .....	18
Illustration 6. Wave Types by Volume .....	19
Illustration 7. Stress Index on the Pressure Curve Time .....	21
Illustration 8. Volume Curve .....	22
Illustration 9. Changes in Dynamic Compliance .....	22
Illustration 10. Static compliance changes in Volume Control Mode .....	23
Illustration 11. Leakage Curve Volume / Time .....	24
Illustration 12. Air leak .....	25
Illustration 13. Air trapping .....	25
Illustration 14. Flux Wave Types .....	26
Illustration 15. Flow curve time .....	28
Illustration 16. Increasing resistance in volume mode .....	30
Illustration 17. Assessment of Auto-PEEP .....	31
Illustration 18. Pressure/Volume Graph .....	33
Illustration 19. Turning Points .....	34
Illustration 20. Spontaneous Breathing .....	35
Illustration 21. Increasing Compliance .....	36
Illustration 22. Decrease in compliance .....	37
Illustration 23. Increasing Resistance in the Airway .....	38
Illustration 24. Pressure-Volume Loop Leak .....	38
Illustration 25. Respiratory Work Graph .....	40
Illustration 26. Loop Flow/Volume Components .....	41
Illustration 27. Loop Flow/Volume .....	42
Illustration 28. Interpretation Loop Flow/volume.....	43
Illustration 29. Compliance Changes in the Flow Curve/ Volume .....	45
Illustration 30. Increased Resistance Flow Loop/Volume .....	46
Illustration 31. Resistance in Inspiration and Expiration.....	47
Illustration 32. Resistance of the Aerial Va .....	48

Illustration 33. Pressure Mode Resistance Changes .....	<b>49</b>
Illustration 34. WOB Ratio in Pressure Loops /Volume .....	<b>50</b>
Illustration 35. Pressure Leakage/Volume .....	<b>51</b>
Illustration 36. Resistance Distribution .....	<b>52</b>
Illustration 37. Assessment of Resistance on the Pressure Curve /Volume.....	<b>52</b>
Illustration 38. Increasing resistance .....	<b>53</b>
Illustration 39. Increasing and Decreasing Pressure/Volume Compliance ....	<b>54</b>
Illustration 40. Physiology of carbon dioxide.....	<b>59</b>
Illustration 41. Time and Volume Capnography .....	<b>65</b>
Illustration 42. Representation of the Capnogram for Three Breaths .....	<b>67</b>
Illustration 43. Normal capnogram stroke .....	<b>69</b>
Illustration 44. Dead space components in the volumetric capnograph.....	<b>75</b>
Illustration 45. Examples of Capnograma Waves.....	<b>77</b>
Illustration 46. Capnogram with ascending baseline .....	<b>78</b>
Illustration 47. Capnogram Suggesting Pneumothorax .....	<b>79</b>
Illustration 48. Adult and Neonatal Capnograms with Intubation .....	<b>80</b>
Illustration 49. Capnogram During Cardiac Arrest with Reintubation .....	<b>81</b>
Illustration 50. Patient Intubated Waveforms.....	<b>81</b>
Illustration 51. EtCO <sub>2</sub> Decreasing Wave.....	<b>82</b>
Illustration 52. Evaluation of CPR .....	<b>82</b>
Illustration 53. Sudden EtCO <sub>2</sub> Increase .....	<b>82</b>
Illustration 54. Capnography in Non-Intubated Patient .....	<b>82</b>
Illustration 55. Hypoventilation .....	<b>82</b>
Illustration 56. Hyperventilation .....	<b>83</b>
Illustration 57. Decrease EtCO <sub>2</sub> .....	<b>83</b>
Illustration 58. Impact of the normal RV fraction Versus lung disease .....	<b>90</b>
Illustration 59. EtCO <sub>2</sub> Normal During Normal Procedural Sedation.....	<b>95</b>
Illustration 60. Hyperventilation.....	<b>95</b>
Illustration 61. Bradypneic hypoventilation .....	<b>96</b>
Illustration 62. Hypoapneic hypoventilation .....	<b>96</b>
Illustration 63. Hypoventilation and apnea .....	<b>96</b>
Illustration 64. Capnographic Assessment During CPR.....	<b>99</b>
Illustration 65. Visual pain scale .....	<b>128</b>
Illustration 66. Phases of Breathing.....	<b>151</b>
Illustration 67. Ineffective breath asynchrony.....	<b>154</b>
Illustration 68. Asynchrony by Support Delay .....	<b>155</b>

Illustration 69. Self-cycling .....	<b>156</b>
Illustration 70. Double Shot .....	<b>157</b>
Illustration 71. Reverse Shot or Drag Breath .....	<b>158</b>
Illustration 72. Asynchrony of Flow .....	<b>159</b>
Illustration 73. Asynchrony by Cycling .....	<b>160</b>
Illustration 74. Asynchrony Early cycled .....	<b>161</b>
Illustration 75. Asynchrony Late cycled .....	<b>162</b>



## Acerca de los autores

*About the authors*

### **Victor Hugo Estupiñan Perez**

De nacionalidad colombiana. Terapeuta respiratorio, docente asociado de la universidad Santiago de Cali en el programa de Terapia Respiratoria en las áreas de pediatría y cuidados intensivos pediátricos, magister en Educación Superior de la Universidad Santiago de Cali, especialista en Terapia Respiratoria Pediátrica de la Fundación Universitaria del Área Andina, terapeuta respiratorio certificado por el Consejo Latinoamericano para la Certificación Profesional en Terapia Respiratoria (CLCPTR); autor del libro principios de ventilación de alta frecuencia en neonatos y pediatría, y el libro bases para la interpretación y análisis de gases arterio venosos, pertenece al Grupo de Investigación en Salud Integral GISI. Ha participado como ponente de eventos nacionales e internacionales.

© <https://orcid.org/0000-0001-8846-4579> ✉ [victor.estupinan00@usc.edu.co](mailto:victor.estupinan00@usc.edu.co)

### **María de los Angeles Estupiñan soto**

De nacionalidad colombiana, médico general de la universidad libre de Colombia seccional Cali, experiencia en unidad de quemados del hospital universitario del valle ( Cali)

© <https://orcid.org/0000-0002-2079-3859> ✉ [maria.estupina4@gmail.com](mailto:maria.estupina4@gmail.com)

### **María del Pilar Triana Reyes**

Terapeuta Respiratorio de la Universidad Santiago de Cali. Magister en Salud Ocupacional de la Universidad del Valle. Terapeuta Respiratorio certificado por el Consejo Latinoamericano para la en Terapia Respiratoria (CLCPTR). Docente de la Universidad Santiago de Cali del programa de Terapia Respiratoria en el área de cuidado intensivo adulto, sala de operaciones y hospitalización. Ponente en eventos internacionales y nacionales.

© <https://orcid.org/0000-0001-7849-7887> ✉ [maria.triana01@usc.edu.co](mailto:maria.triana01@usc.edu.co)

### **Gloria Cecilia Silva**

Nacionalidad colombiana, médico de la universidad libre seccional Cali, anes-  
tésióloga de la universidad del bosque, anes-  
tésióloga universidad del bosque,  
especialista en anestesia cardiovascular pediátrica de la clínica Imbanaco  
grupo Quirón salud.

© <https://orcid.org/0000-0003-0019-6579> ✉ [glosilva2001@yahoo.com](mailto:glosilva2001@yahoo.com)

### **René Alberto Espinosa Marsiglia**

Médico anes-  
tesiólogo y en medicina crítica y cuidado intensivo de la Univer-  
sidad del Valle docente del departamento de anestesiología de la Universidad  
del Valle y coordinador de su programa de Medicina crítica y cuidado inten-  
sivo intensivista del Hospital Universitario del Valle y de la clínica imbanaco  
del grupo Quirón.

© <https://orcid.org/0000-0002-6459-857X> ✉ [rene.espinosa@correounivalle.edu.co](mailto:rene.espinosa@correounivalle.edu.co)  
✉ [espinosamarsiglia@gmail.com](mailto:espinosamarsiglia@gmail.com)

### **Andrés Fabricio Caballero Lozada**

Médico especialista en anestesiología y medicina crítica y cuidado intensivo  
(fundación universitarias Ciencias de la salud ) con más de 10 años de expe-  
riencia. Un incansable continuó estudioso del tema vinculado al grupo de  
investigación de anestesiología y reanimación de la Universidad del Valle, es-  
pacio desde el cual al apalanca diversas investigaciones en anestesia regional,  
seguridad del paciente y uso de técnicas anestésicas con ultrasonido y cuidado  
crítico, junto a sus estudiantes y colegas. Los resultados de sus investigacio-  
nes han sido presentados en eventos nacionales e internacionales, además de  
diversas publicaciones en revistas indexadas. Es actualmente miembro acti-  
vo de la sociedad colombiana de anestesiología y reanimación SCARE y ac-  
tualmente director del departamento de anestesiología y cuidado crítico de la  
Universidad del Valle.

© <https://orcid.org/0000-0002-4161-4805> ✉ [correo.andres.caballero@correounivalle.edu.co](mailto:correo.andres.caballero@correounivalle.edu.co)



# Pares evaluadores

*Peer evaluators*

## **William Fredy Palta Velasco**

Investigador Junior (IJ)

Universidad de San Buenaventura, Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-1888-0416>

## **Marco Antonio Chaves García**

Fundación Universitaria María Cano, Sede Medellín

© <https://orcid.org/0000-0001-7226-4767>

## **Carolina Sandoval Cuellar**

Investigador Senior (IS)

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0003-1576-4380>

## **Mauricio Guerrero Caicedo**

Director del Programa de Comunicación de la Universidad Icesi, Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-6374-1701>

## **Kelly Giovanna Muñoz**

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México

© <https://orcid.org/0000-0001-7408-6108>

## **Gildardo Vanegas**

Universidad del Cauca, Popayán

© <https://orcid.org/0000-0003-3627-4516>

**Claudia Ximena Campo Cañar**

Universidad del Cauca, Popayán

© <https://orcid.org/0000-0001-5352-3065>

**David Leonardo Quitián Roldán**

Investigador Junior (IJ)

Uniminuto, Villavicencio

© <https://orcid.org/0000-0003-2099-886X>

**Jairo Vladimir Llano Franco**

Investigador Senior (IS)

Universidad Libre de Colombia, Seccional Cali

© <https://orcid.org/0000-0002-4018-5412>

**Alejandro Alzate**

Universidad Icesi y Universidad Católica

© <https://orcid.org/0000-0002-0832-022>

**Arsenio Hidalgo Troya**

Investigador Asociado (I)

© <https://orcid.org/0000-0002-6393-8085>



## **Distribución y comercialización**

*Distribution and Marketing*

Universidad Santiago de Cali  
Publicaciones / Editorial USC

Bloque 7 - Piso 5

Calle 5 No. 62 - 00

Tel: (57+) (2+) 518 3000

Ext. 323 - 324 - 414

✉ editor@usc.edu.co

✉ publica@usc.edu.co

Cali, Valle del Cauca

Colombia

## **Diseño y diagramación**

*Design and layout by*

Juan Diego Tovar Cardenas

Universidad Santiago de Cali

✉ librosusc@usc.edu.co

Tel. 5183000 - Ext. 322

Cel. 301 439 7925

Este libro fue diagramado utilizando fuentes tipográficas Literata en el contenido del texto y Open Sans para los títulos.

Impreso en el mes de noviembre.

Se imprimieron 100 ejemplares en los

Talleres de la Editorial Díké.

Bogotá-Colombia

Tel: (57+) 314 418 4257

2024

Fue publicado por la Facultad de Salud de la Universidad Santiago de Cali.