



Entre la innovación tecnológica y la fisiología respiratoria

Between technological innovation and respiratory physiology

Eduardo Garrido Aguirre*

La ventilación mecánica ha experimentado una transformación tecnológica durante las últimas décadas. De los modos convencionales controlados por volumen o presión hemos pasado a disponer de ventiladores capaces de ajustar automáticamente múltiples variables, interpretar la interacción paciente-ventilador e incluso modificar su comportamiento en función de objetivos fisiológicos previamente establecidos. Modos adaptativos, proporcionales, automatizados y sistemas de circuito cerrado forman hoy parte de un arsenal tecnológico cada vez más amplio.^{1,2}

Ante esta evolución surge una cuestión fundamental: ¿necesitamos realmente tantos modos ventilatorios? Más que en el número de modalidades disponibles, la respuesta parece encontrarse en nuestra capacidad para utilizarlas de manera racional y, sobre todo, en la evidencia de que aporten beneficios clínicamente relevantes. La comprensión de la fisiología respiratoria y de la interacción paciente-ventilador continúa siendo indispensable para emplear esta tecnología como una herramienta y no convertirla, por sí misma, en un estándar de tratamiento.^{1,3}

La incorporación de nuevos modos de ventilación persigue objetivos legítimos: mejorar la sincronía paciente-ventilador, reducir el trabajo respiratorio, facilitar la transición hacia la ventilación espontánea, disminuir la necesidad de ajustes manuales y, potencialmente, reducir la duración de la ventilación mecánica. Sistemas como la ventilación con soporte adaptativo (ASV), INTELLiVENT-ASV, la ventilación asistida proporcional (PAV+) o la asistencia ventilatoria ajustada neuralmente (NAVA) representan diferentes aproximaciones a un mismo problema: adaptar el ventilador al paciente y no únicamente el paciente al ventilador.⁴⁻⁷

Este objetivo no es trivial. La asincronía paciente-ventilador se ha asociado con mayor duración de la ventilación mecánica y mayor estancia en cuidados intensivos, aunque establecer causalidad sigue siendo complejo.⁸

El verdadero valor de esta evolución tecnológica debe juzgarse por el problema clínico que pretende resolver. La fisiología respiratoria es dinámica: la mecá-

nica pulmonar, el impulso respiratorio, la producción de CO₂, la demanda metabólica y las necesidades de soporte pueden modificarse considerablemente en cuestión de horas y varían de un paciente a otro. Un modo capaz de responder automáticamente a estos cambios podría, al menos conceptualmente, ofrecer ventajas sobre estrategias dependientes exclusivamente de ajustes intermitentes realizados por el equipo clínico.^{2,4}

Sin embargo, la innovación tecnológica no necesariamente implica beneficio ni superioridad clínica frente al tratamiento convencional. Uno de los problemas de la ventilación mecánica contemporánea es precisamente la tendencia a confundir sofisticación con superioridad.

Muchos modos avanzados consiguen mejoras en variables intermedias: mayor tiempo dentro de objetivos ventilatorios, menor número de intervenciones manuales, mejor sincronía, reducción del trabajo respiratorio o una adaptación más rápida a determinados cambios fisiológicos.⁴⁻⁷ Pero demostrar que estas ventajas se traducen de forma consistente en menor mortalidad, menos días de ventilación mecánica, menor incidencia de lesión pulmonar inducida por ventilación o menor estancia hospitalaria continúa siendo mucho más difícil.

El ejemplo de PAV+ es ilustrativo. Metaanálisis recientes sugieren posibles beneficios sobre el éxito del destete o la reintubación en comparación con la ventilación con presión de soporte.^{9,10} Sin embargo, un ensayo clínico multicéntrico publicado recientemente no encontró una reducción significativa en el tiempo hasta la liberación exitosa de la ventilación mecánica con PAV+ frente a presión de soporte.¹¹ Esta aparente discordancia recuerda una regla esencial de la medicina basada en evidencia: una mejor variable fisiológica no necesariamente se convierte en un mejor desenlace clínico.

Algo similar ocurre con NAVA. Un metaanálisis de ensayos aleatorizados encontró un incremento modesto de los días libres de ventilación y menor fracaso del destete, pero sin demostrar una reducción significativa de la mortalidad ni de otros desenlaces clínicos mayores.⁶

ASV también ha mostrado resultados prometedores. Un metaanálisis de pacientes postoperados de cirugía cardíaca encontró menor tiempo hasta la extubación frente a estrategias convencionales, aunque sin diferencias significativas en reintubación, estancia en la unidad de cuidados intensivos (UCI) o estancia hospitalaria.⁵ Otra revisión publicada en 2025 encontró una reducción de la duración de la ventilación frente a ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV), pero nue-

* Hospital Angeles Pedregal.

vamente sin una diferencia significativa en estancia en cuidados intensivos y con heterogeneidad importante entre los estudios.¹²

INTELLiVENT-ASV lleva este concepto un paso más adelante al incorporar un sistema de circuito cerrado capaz de realizar ajustes automatizados basándose en información fisiológica. La evidencia disponible indica que puede mantener de forma eficaz determinados objetivos ventilatorios y reducir intervenciones manuales, pero hasta ahora no se ha establecido de forma convincente su superioridad en desenlaces centrados en el paciente frente al manejo convencional.⁴

DIFERENTES NOMBRES, PRINCIPIOS FISIOLÓGICOS COMUNES

Existe además otro fenómeno que merece atención. La multiplicación de nombres comerciales y algoritmos propietarios puede crear la impresión de que cada nuevo modo representa un concepto fisiológico completamente diferente, cuando en realidad muchos comparten principios fundamentales. Detrás de algoritmos cada vez más complejos continúan existiendo variables conocidas: presión, volumen, flujo, tiempo, esfuerzo respiratorio, distensibilidad, resistencia y control del intercambio gaseoso.

La nomenclatura de los modos ventilatorios se ha convertido, de hecho, en un problema suficientemente relevante como para justificar el desarrollo de sistemas formales de clasificación. La taxonomía propuesta por Chatburn y colaboradores buscó precisamente clasificar los modos de acuerdo con sus características fundamentales (variable de control, secuencia respiratoria y esquema de control) y no únicamente mediante el nombre asignado por cada fabricante.³

En 2025 se publicó una actualización de esta taxonomía que vuelve a señalar un problema vigente: el desarrollo tecnológico y la multiplicación de nombres comerciales dificultan la comprensión, comparación y enseñanza de los modos ventilatorios.¹ En otras palabras, dos modalidades con nombres aparentemente diferentes pueden compartir principios de funcionamiento muy similares.

La cuestión relevante es determinar cuánto valor adicional aportan estos modos frente a una estrategia convencional correctamente aplicada por un clínico experto. Algunos algoritmos pueden realizar ajustes con una frecuencia, continuidad y velocidad imposibles para un ser humano. Pero eso no significa que puedan sustituir la interpretación fisiopatológica.

NINGÚN ALGORITMO SUSTITUYE LA COMPRENSIÓN DE LA FISIOLOGÍA

El apoyo tecnológico es indispensable en la medicina moderna, pero difícilmente proporcionará por sí mismo

todas las respuestas. El clínico debe conocer los avances tecnológicos y reconocer los escenarios específicos en los que cada herramienta puede proporcionar el mayor beneficio.

Un ventilador puede calcular una frecuencia respiratoria objetivo, modificar el soporte inspiratorio, adaptar la asistencia al esfuerzo del paciente o ajustar determinados objetivos de ventilación y oxigenación. Pero corresponde al clínico interpretar si esas decisiones son apropiadas para el contexto fisiopatológico particular.

Un paciente con síndrome de dificultad respiratoria aguda, otro con enfermedad pulmonar obstructiva, un paciente postoperatorio y otro en proceso de liberación de la ventilación mecánica pueden compartir el mismo ventilador, pero difícilmente comparten las mismas necesidades. Paradójicamente, cuanto más inteligente se vuelve el ventilador, mayor debería ser nuestra comprensión de qué está haciendo y por qué lo está haciendo.

AUTOMATIZACIÓN SIN PÉRDIDA DEL RAZONAMIENTO CLÍNICO

La automatización introduce además un riesgo que merece consideración: la posible pérdida progresiva de determinadas competencias. Cuando un algoritmo decide una parte importante de los ajustes ventilatorios, existe la posibilidad de que el clínico termine aceptando las decisiones de la máquina sin comprender completamente cómo fueron tomadas.

La tecnología puede disminuir la carga cognitiva asociada con tareas repetitivas, pero su propósito no debería ser sustituir el razonamiento fisiológico. El verdadero valor de la automatización aparece cuando libera tiempo y capacidad cognitiva para que el profesional pueda concentrarse en decisiones de mayor complejidad.

Más que identificar cuál es el mejor modo ventilatorio, resulta necesario definir qué problema clínico pretendemos resolver con él. Si un modo mejora la interacción paciente-ventilador, disminuye intervenciones innecesarias y permite mantener al paciente dentro de objetivos de ventilación protectora, su utilización puede estar plenamente justificada. Si además facilita la liberación de la ventilación mecánica o reduce complicaciones clínicamente relevantes, su valor será todavía mayor. Pero incorporar tecnología únicamente porque es nueva o porque ofrece mayor automatización difícilmente constituye progreso.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) Y VENTILACIÓN MECÁNICA: EL SIGUIENTE PASO

El futuro probablemente estará marcado por sistemas cada vez más automatizados, capaces de integrar mecánica respiratoria, intercambio gaseoso, actividad neu-

ral, hemodinamia y otras variables fisiológicas en tiempo real. La IA y el aprendizaje automático posiblemente ampliarán aún más estas capacidades. Ya se investigan modelos destinados a predecir el éxito de la extubación, optimizar parámetros ventilatorios, anticipar complicaciones y apoyar estrategias individualizadas.¹³⁻¹⁵ Sin embargo, la incorporación de IA plantea problemas que todavía deben resolverse: calidad y estandarización de los datos, validación externa, interpretabilidad de los algoritmos, interoperabilidad, seguridad, sesgos y responsabilidad sobre las decisiones clínicas.^{13,14} Por ello, al menos en el futuro previsible, parece más razonable concebir estos sistemas como herramientas de inteligencia aumentada y apoyo a la decisión que como sustitutos autónomos del clínico.

La ventilación mecánica podría evolucionar desde un sistema que simplemente ejecuta parámetros prescritos hacia otro que analiza información continuamente, propone modificaciones y adapta estrategias individualizadas. Pero incluso en ese escenario seguirá existiendo un principio difícil de automatizar por completo: comprender al paciente que está conectado al ventilador.

Quizá, entonces, no necesitemos memorizar cada nuevo modo que aparece en el mercado; necesitamos comprender los principios que los gobiernan, reconocer qué problema intentan resolver, conocer sus limitaciones y, sobre todo, exigir evidencia de que la complejidad añadida produce un beneficio clínicamente relevante.

Porque en ventilación mecánica, como en muchas áreas de la medicina, más tecnología no necesariamente significa mejor medicina. La verdadera innovación ocurre cuando la tecnología amplifica y no sustituye el razonamiento clínico.

REFERENCIAS

1. Fajardo-Campoverdi A, Mireles-Cabodevila E, Medina A, Ibarra-Estrada M, Baltazar-Torres J, Chatburn R. Update of the taxonomy of mechanical ventilation modes. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2025;49(10):502211. doi: 10.1016/j.medine.2025.502211.
2. Chatburn RL. How to interpret ventilator waveforms using the taxonomy for modes of mechanical ventilation. *Respir Care*. 2026;71(6):566-587. doi: 10.1177/19433654251395626.
3. Chatburn RL, El-Khatib M, Mireles-Cabodevila E. A taxonomy for mechanical ventilation: 10 fundamental maxims. *Respir Care*. 2014;59(11):1747-1763. doi: 10.4187/respcare.03057.
4. Botta M, Wenstedt EFE, Tsonas AM, Buiteman-Kruizinga LA, van Meenen DMP, Korsten HHM, et al. Effectiveness, safety and efficacy of INTELLiVENT-Adaptive Support Ventilation, a closed-loop ventilation mode for use in ICU patients: a systematic review. *Expert Rev Respir Med*. 2021;15(11):1403-1413.
5. Tsai YC, Jhou HJ, Huang CW, Lee CH, Chen PH, Hsu SD. Effectiveness of adaptive support ventilation in facilitating weaning from mechanical ventilation in postoperative patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2024;38(9):1978-1986. doi: 10.1053/j.jvca.2024.04.030.
6. Pinto CB, Leite D, Brandao M, Nedel W. Clinical outcomes in patients undergoing invasive mechanical ventilation using NAVA and other ventilation modes: a systematic review and meta-analysis. *J Crit Care*. 2023;76:154287. doi: 10.1016/j.jccr.2023.154287.
7. Ou-Yang LJ, Chen PH, Jhou HJ, Su VYF, Lee CH. Proportional assist ventilation versus pressure support ventilation for weaning from mechanical ventilation: a meta-analysis and trial sequential analysis. *Crit Care*. 2020;24:556.
8. de Bie MJ, Rietveld PJ, van der Velde-Quist F, van Geloven N, Snoep JWM, de Jonge E, et al. The association between patient-ventilator asynchrony and clinical outcomes in mechanically ventilated patients: a systematic review. *Crit Care Med*. 2025;53(11):e2261-e2270. doi: 10.1097/CCM.0000000000006816.
9. Wang Y, Da X, Kang X, Liu L, Zhao R, Zhu Z, et al. Effect of proportional assist ventilation plus versus pressure support ventilation on successful weaning in critically ill adults: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Front Med (Lausanne)*. 2026;13:1775614. doi: 10.3389/fmed.2026.1775614.
10. Eyiah N, Sohail A, Ali SA, Naeem M, Hanif A, Saleem AS, et al. Proportional assist ventilation versus pressure support ventilation for weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anesth Analg Crit Care*. 2026;6(1):44. doi: 10.1186/s44158-026-00355-1.
11. Bosma KJ, Burns KEA, Martin CM, Skrobik Y, Mancebo Cortés J, Mulligan S, et al. Proportional-assist ventilation for minimizing the duration of mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 2025;393(11):1088-1103. doi: 10.1056/NEJMoa2505708.
12. Abdelbaky AM, Elmasry WG, Awad AH. Comparison between synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV) and adaptive support ventilation (ASV) on patient outcomes in critically ill patients: a systematic review and meta-Analysis. *Cureus*. 2025;17(3):e81165. doi: 10.7759/cureus.81165.
13. Singh NP, Mujawar MA, Golani A. Role of artificial intelligence in enhancing mechanical ventilation: a peek into the future. *Indian J Anaesth*. 2025;69(7):722-728. doi: 10.4103/ija.ija_995_24.
14. Xu Y, Xue J, Deng Y, Tu L, Ding Y, Zhang Y, et al. Advances in machine learning for mechanically ventilated patients. *Int J Gen Med*. 2025;18:3301-3311. doi: 10.2147/IJGM.S515170.
15. Viderman D, Ayazbay A, Kalzhan B, Bayakhmetova S, Tungushpayev M, Abdildin Y. Artificial intelligence in the management of patients with respiratory failure requiring mechanical ventilation: a scoping review. *J Clin Med*. 2024;13(24):7535. doi: 10.3390/jcm13247535.

Correspondencia:

Dr. Eduardo Garrido Aguirre

E-mail: e_garridoa@hotmail.com