Chapter 12 / Capítulo 12

Electrolyte and Internal Environment Imbalances in Emergencies (Spanish Edition)
ISBN: 978-9915-9680-0-1
DOI: 10.62486/978-9915-9680-0-1.ch12

©2025 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 License.

Step-by-Step Interpretation of Arterial Blood Gas Analysis

Interpretación de la gasometría arterial paso a paso

Ariel Sosa-Remón[1,2], Jhossmar Cristians Auza-Santivañez[3]

[1]Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología. La Habana, Cuba.
[2]Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. La Habana, Cuba.
[3]Hospital de Tercer Nivel Fray Quebracho. Tarija, Bolivia.

Objetivos

- Definir los valores normales de la gasometría arterial y sus variaciones.
- Establecer la interpretación de la gasometría arterial paso por paso.
- Conocer particularidades de cada trastorno para optimizar la interpretación de la gasometría arterial.

INTRODUCCIÓN

La gasometría arterial (GA) es una herramienta esencial en la medicina para evaluar el equilibrio ácido-básico del cuerpo, el estado de oxigenación y la ventilación pulmonar. Para los médicos generales, entenderla de manera simple permite diagnosticar y manejar trastornos comunes como acidosis o alcalosis en pacientes con problemas respiratorios, metabólicos o mixtos. Este capítulo se centra en un enfoque paso a paso utilizando la ecuación de Henderson-Hasselbalch, que relaciona el pH con los componentes respiratorio ($PaCO_2$) y metabólico (HCO_3^-). El objetivo es proporcionar una guía práctica, evitando complejidades innecesarias, para interpretar la GA en contextos clínicos cotidianos como emergencias o consultas ambulatorias.

El equilibrio ácido-básico mantiene el pH sanguíneo entre 7,35 y 7,45. Los pulmones regulan el $PaCO_2$ (ácido volátil) y los riñones el HCO_3^- (base metabólica). Alteraciones en estos generan trastornos: acidemia por acidosis (pH bajo) o alcalemia por alcalosis (pH alto), que pueden ser respiratorios o metabólicos. La GA mide pH, PaO_2 (presión parcial de oxígeno), $PaCO_2$ (presión parcial de dióxido de carbono), HCO_3^- (bicarbonato) y a veces el gap aniónico (GA).

Métodos validados para la interpretación de la GA

De forma básica, se han propuesto 3 metodologías para la evaluar los desequilibrios ácido-básicos: 1) el método tradicional de Henderson-Hasselbach, llamado también procedimiento fisiológico; 2) método del exceso de base estándar (según ecuación de Van-Slyke) y 3) método cuantitativo de Stewart (que utiliza la diferencia de iones fuerte y ácidos débiles totales).

En la actualidad, los dos últimos métodos mencionados son los más empleados, en especial el enfoque de Stewart (mayor utilización práctica), el cual, muestra un algoritmo que resta importancia fisiológica al ácido carbónico y el HCO_3- del método tradicional, lo que genera contradicción con la propuesta fisiológica. Sin embargo, esta sistemática, requiere diferentes variables y cuando alguna de ellas está ausente o se asume que es normal, el método es indistinguible de los tradicionales. Por otro lado, la ecuación de Van-Slyke, no informa si un ácido o base fija es responsable de determinado equilibrio, tampoco resuelve el problema del exceso de bases que presenta el procedimiento de Henderson-Hasselbach.

El enfoque fisiológico se considera que es más fácil de utilizar desde el punto de vista clínico, tiene una evaluación fisiológica del trastorno, presenta una lógica fácilmente comprensible para evaluar la gravedad y proporciona, además, una base más sólida para el desarrollo de terapias efectivas. Aunque su principal deficiencia estriba en las disimiles fórmulas presentadas para su interpretación, en especial cuando se trata de la acidosis metabólica.

Independiente de las diferencias fisiológicas y químicas que presentan, autores como Lovesio et al. sostienen que los 3 algoritmos proporcionan resultados virtualmente idénticos cuando son utilizados para la cuantificación de los desequilibrios ácido-básicos en una muestra sanguínea. O sea, no existe un método superior a otro.

Independiente a esto, Sánchez-Díaz JS et al. exponen que el error más común que se comete es intentar interpretar todo a la vez y de forma poco organizada. Estimar y realizar cálculos incorrectos conduce a diagnósticos erróneos y se traduce en malos tratamientos.

Tener la disponibilidad de ecuaciones confiables y fáciles de utilizar a la cabecera del paciente es fundamental.

Valores normales aproximados

- pH 7,35-7,45,
- $PaCO_2$ 35-45 mmHg,
- HCO_3^- 22-26 mmol/L,
- PaO_2 80-100 mmHg.
- Exceso de bases (BE): ±2,5 mEq/l

Estos valores normales aproximados pueden variar en diferentes contextos clínicos. Nos refreiremos a dos de importancia para la práctica médica:

- Embarazo: durante el embarazo diferentes cambios anatómicos y fisiológicos ocurren en el sistema respiratorio de la madre generando cambios en los volúmenes pulmonares y modificación de los gases arteriales en función del trimestre de embarazo (Tabla 1).
- Altitud: a medida que ascendemos sobre el nivel del mar la presión barométrica disminuye y en consecuencia también lo hacen la presión inspirada de oxígeno (PiO_2) y la presión arterial de oxígeno (PaO_2). La hipoxemia aumenta la ventilación minuta (VE) disminuyendo $PaCO_2$.

Este fenómeno evidentemente altera el patrón gasométrico, debido a los mecanismos primarios y compensadores antes expuestos (toda compensación respiratoria, conlleva a una respuesta metabólica). A razón de los autores de este capítulo, los valores tomados como referencia se establecen a nivel del mar (tabla 12.1).

Tabla 1. Valores normales aproximados en el embarazo y la altitud

Valores	1er Trimestre	3er Trimestre	1388 metros	4200 metros
pH	7,40 - 7,44	7,41 - 7,45	7,43 - 7,49	7,39 - 7,42
PaO_2 (mmHg)	99 - 111	100 - 112	84 - 98	48 - 76
$PaCO_2$ (mmHg)	27 - 32	23 - 29	24 - 28	14 - 32
HCO_3^- (mmol/L)	17 - 19	15 - 19	17 - 18	12 - 20
Saturación O_2 (%)	98	98	96	90

Antes de interpretar, verifica la consistencia de la muestra: recolecta en jeringa heparinizada, elimina burbujas y analiza rápidamente para evitar errores.

¿Acidemia/alcalemia o acidosis/alcalosis?

De esta secuencia de valores descritos anteriormente, se puede definir que un cambio de valores en la $PaCO_2$ y/o HCO_3- influirán en el pH extracelular, modificándolo independientemente de los sistemas compensadores fisiológicos.

De manera que, cuando una de estas 2 variables, se mueve lo suficiente como para provocar

un cambio en los valores habituales del pH, se utiliza el sufijo ***emia*** y en dependencia de ese cambio se está en presencia de una acidemia (pH<7,35) o alcalemia (pH>7,45). Esta terminología es bastante general, y permite englobar los trastornos tanto respiratorios como metabólicos.

Así pues, también se puede inferir que si el trastorno afecta la $PaCO_2$ el trastorno se denomina acido-básico respiratorio, mientras, si es para el HCO_3- , entonces se trata de un trastorno acido-básico metabólico.

Enfoque paso a paso para la interpretación

El cambio inicial en la PCO_2 y/o HCO_3 - se denomina trastorno acido-básico primario; mientras que la respuesta siguiente se le llama trastorno acido-básico compensador o secundario. Es necesario destacar que casi siempre, las respuestas compensatorias no son lo suficientemente intensas para mantener el pH constante (no corrigen el trastorno), solo se limitan al cambio de pH en función de las otras 2 variables.

Paso 1. Evalúa el pH

- pH <7,35: Acidemia
- pH >7,45: Alcalemia.
- pH normal (7,35-7,45): Posible trastorno mixto o compensado; revisa $PaCO_2$ y HCO_3^-.

Resulta importante la pregunta: ¿Qué hacer si el pH es eufémico y los valores gasométricos están alterados? Como se explicó anteriormente, al revisar una gasometría, se encuentra un pH en límites normales (eufémico), sin embargo, el bicarbonato y la PCO 2 están alterados ambos. Este evento denota un trastorno mixto. El objetivo entonces es recurrir al Exceso de Bases y compararlos con los valores normales.

El exceso de Bases se refiere a la cantidad de base requerida para volver el pH de la sangre de un individuo al valor normal (pH 7,4). Su valor normal de referencias es ±2,5. Si los valores se encuentran dentro de los rangos ± 2,5, entonces el trastorno primario es respiratorio. Si se encuentran fuera del rango ±2,5 el trastorno es metabólico.

Paso 2. Establece el trastorno primario

Acidemia (pH < 7,35): si HCO_3- < 22 mmol/l es acidosis metabólica o PaCO2 > 45 mmHg es acidosis respiratoria

Alcalemia (pH > 7,45): si HCO_3 - > 26 mmol/l es alcalosis metabólica o $PaCO_2$ < 35 mmHg (alcalosis respiratoria)

De manera que el trastorno primario podría ser: una Acidemia (pH < 7,35) por Acidosis metabólica (HCO_3- < 22 mmol/l).

Paso 3. Establece el trastorno secundario o compensatorio

La interpretación de la fase de compensación se hará comparando la $PaCO_2$ medida (en el caso metabólico) con la $PaCO_2$ esperada según el cálculo.

En los trastornos respiratorios, el HCO_3- medido (en la GA) con el HCO_3- esperado según el resultado del cálculo. Los trastornos acidobásicos metabólicos provocan rápidas repuestas ventilatorias, que están mediadas por quimiorreceptores periféricos localizados en el cuerpo carotídeo en la bifurcación carotídea en el cuello. Una acidosis metabólica estimula estos quimiorreceptores e inicia un aumento de la ventilación, con la consiguiente disminución de la $PaCO_2$ arterial ($PaCO_2$). Una alcalosis metabólica silencia los quimiorreceptores y produce un rápido descenso de la ventilación y un aumento de la PCO_2 arterial.

Compensación respiratoria para acidosis metabólica

En el estado estable de la acidosis metabólica existe una relación precisa, bien definida y predecible entre la magnitud del descenso del bicarbonato y el grado de hipocapnia.

$PaCO_2$ esperado = (1,5 x HCO_3-) + 8 (±2)

- Si la $PaCO_2$ medido es igual a la $PaCO_2$ esperado entonces el Trastorno está Compensado (acidosis metabólica compensada)
- Si la $PaCO_2$ medido es menor a la $PaCO_2$ esperado entonces estamos en presencia de una alcalosis respiratoria asociada (el trastorno se llamaría entonces acidosis metabólica primaria con alcalosis respiratoria asociada)
- Si la $PaCO_2$ medido es mayor al $PaCO_2$ esperado entonces hay una acidosis respiratoria asociada y el trastorno se denominaría acidosis metabólica primaria con acidosis respiratoria asociada

Compensación respiratoria para alcalosis metabólica

Para establecer el diagnóstico de la fase compensatoria en este trastorno, se debe tener en cuenta la concentración de HCO3- plasmático que clasifica a la alcalosis metabólica.

Para la alcalosis metabólica ligera a moderada (HCO3- ≤ 40 mmol/l)
$PaCO_2$ esperado = (0,9 x HCO_3-) + 15 (±2)

Para la alcalosis metabólica grave (HCO3- > 40 mmol/l)
$PaCO_2$ esperado = (0,9 x HCO_3-) + 9 (±2)

- Si la $PaCO_2$ medido es igual a la $PaCO_2$ esperado entonces el Trastorno está Compensado (alcalosis metabólica compensada)
- Si la $PaCO_2$ medido es menor a la $PaCO_2$ esperado entonces estamos en presencia de una alcalosis respiratoria asociada (el trastorno se llamaría entonces alcalosis metabólica primaria con alcalosis respiratoria asociada)
- Si la $PaCO_2$ medido es mayor al $PaCO_2$ esperado entonces hay una acidosis respiratoria asociada y el trastorno se denominaría alcalosis metabólica primaria con acidosis respiratoria asociada

Compensación metabólica para la acidosis respiratoria

Antes de establecer la fase de compensación en los trastornos ácido-básicos respiratorios se debe tomar en consideración si ambos trastornos (tanto la acidosis respiratoria como la alcalosis respiratoria) resultan agudos o crónicos.

Esto se debe a que la compensación esperada es resultante del sistema metabólico el cual es generado en su mayoría por la función renal, la cual es activada tardíamente, a diferencia del sistema compensador respiratorio para los trastornos metabólicos. Si bien es cierto que este mecanismo inicia su actuación a partir de las 48 horas de iniciado el trastorno respiratorio, con frecuencia resulta muy complejo establecer este momento. Por lo que se sugiere se realice la aplicación de fórmulas para determinar si se trata de un trastorno agudo o crónico (en función del valor del pH medido en la GA).

Para la acidosis respiratoria aguda es: pH calculado = 7,40 – (0,008 x [$PaCO_2$ medido - 40])

Para la acidosis respiratoria crónica es: pH calculado = 7,40 – (0,003 x [$PaCO_2$ medido - 40])

Para su interpretación, se comparan los resultados de ambas fórmulas con el pH medido en la GA y el resultado que más se acerque al pH medido será el tipo de acidosis respiratoria. Una vez conocido si el trastorno es agudo o crónico, se usara una de las 2 fórmulas para determinar

la compensación metabólica.

Para la acidosis respiratoria aguda: HCO_3- esperado = 24 + (0,1 x [$PaCO_2$ medido - 40])

Para acidosis respiratoria crónica: HCO_3- esperado = 24 + (0,4 x [$PaCO_2$ medido - 40])

- Si el HCO_3- medido es igual al esperado se trata de un trastorno compensado.
- Si el HCO_3- medido es menor que el esperado se trata de una acidosis metabólica asociada.
- Si el HCO_3- medido es mayor que el esperado estamos en presencia de una alcalosis metabólica añadida.

Compensación metabólica para la alcalosis respiratoria

Determinar si se trata de un trastorno agudo o crónico:

- Agudo: pH calculado = 7,40 – (0,014 x [40 - $PaCO_2$ medido])
- Crónico: pH calculado = 7,40 – (0,003 x [40 - PaCO2 medido])

Para su interpretación, se comparan los resultados de ambas fórmulas con el pH medido en la GA y el resultado que más se acerque al pH medido será el tipo de alcalosis respiratoria.

Una vez conocido si el trastorno es agudo o crónico, se usará una de las 2 fórmulas para determinar la compensación metabólica:

Para la alcalosis respiratoria aguda: HCO_3- esperado = 24 - (0,2 x [40 - $PaCO_2$ medido])

Para acidosis respiratoria crónica: HCO_3- esperado = 24 - (0,5 x [40 - $PaCO_2$ medido])

- Si el HCO_3- medido es igual al esperado se trata de un trastorno compensado.
- Si el HCO_3- medido es menor que el esperado se trata de una acidosis metabólica asociada.
- Si el HCO_3- medido es mayor que el esperado estamos en presencia de una alcalosis metabólica añadida.

Consideraciones de interés para la Acidemia por Acidosis Metabólica

Si se trata de una acidosis metabólica, calcula la Brecha Aniónica (GAP o Anión GAP). ¿Qué es el Anión GAP?

Las concentraciones de aniones y cationes en el plasma deben ser iguales para mantener la neutralidad eléctrica. Luego no existe un hiato aniónico real en el plasma, pero solo se miden habitualmente ciertos aniones y cationes en el laboratorio clínico. El catión que se mide normalmente es el Na^+ y los aniones suelen ser el Cl^- y el HCO_3-. El hiato aniónico (que es solo un concepto diagnóstico) es la diferencia entre los aniones no medidos y los cationes no medidos.

La diferencia (Aniones No Medibles (A-) – Cationes No Medibles [Ca+]) es una medida de la abundancia relativa de aniones no medidos, que se denomina brecha Aniónica, hiato Aniónico, GAP o Anión GAP.

Gap aniónico (GA) = Na+ - (Cl- + [HCO_3-]); normal 8-12 mmol/L.

- GA alto (>12): Acidosis con gap alto (ej. cetoacidosis, láctica).
- GA normal: Acidosis sin gap (hiperclorémica, ej. diarrea).

Influencia de la Albúmina

Una causa de error en la interpretación del GAP, consiste en no advertir la contribución de la albúmina. Un hecho común en los pacientes que ingresan a los servicios de urgencias es el estado hipoalbuminémico que presentan, secundario a las complicaciones de base. Representa la más importante limitación del cálculo del anión GAP. Por lo cual debe ser ajustado según las concentraciones de albúmina sérica. La equivalencia aniónica de la albúmina es igual a 0,25

mEq/l por cada gramo de albúmina por litro.

Ajuste por albuminemia:

GA corregido = GA + [2,5 x (4 - albúmina g/dL)].

Notas Importantes:

Solo ajusta el GAP por albúmina si éste cálculo resulta normal o bajo.

La influencia del GAP no solo es de la albúmina, sino que existen otros elementos capaces de alterarlos: hipercalcemia, IgG en mieloma múltiple, sobredosis de salicilatos, hipermagnesemia, intoxicación por litio e hipertrigliceridemia.

Si la acidosis metabólica es GAP elevado, calcula el HCO_3- corregido para determinar si existe otro trastorno metabólico asociado.

Cuando exista una acidosis metabólica con GAP aumentado, es posible determinar otro trastorno acido-básico metabólico (una acidosis metabólica GAP normal o una alcalosis metabólica); al comparar el exceso de anión GAP (diferencias entre el medido y el normal) con el déficit de HCO_3- (diferencia de la concentración plasmática de HCO 3 - medido y la normal).

HCO_3- Corregido = HCO_3- medido + (GAP - 12)

- Si HCO3 Corregido < 22 mmol/l: acidosis metabólica no anión GAP asociada (acidosis metabólica hiperclorémica).
- Si HCO3 Corregido >26 mmol/l: alcalosis metabólica asociada.

Determinación de la brecha aniónica Urinaria (BAu) para las Acidosis anión GAP normal (hiperclorémica).

Ante acidemia metabólica con brecha aniónica normal, es útil la determinación de la brecha aniónica uri-aria (BAu) para definir si la alteración se debe a causas renales, o extrarrenales. En términos prácticos, si la brecha aniónica es normal ante una acidosis metabólica, hay una pérdida de HCO_3^- (principalmente del tubo digestivo o a nivel renal) o un aumento en el volumen de líquido extracelular (acidosis hiperclorémica inducida por la administración parenteral de solución de cloruro de sodio).

BAu = $(Na^+ + K^+) - Cl^-$

- Si Cloro > $(Na^+ + K^+)$ Causa extrarrenal: Indica la existencia de ion NH4 en orina o acidificación orina normal (Diarrea, íleo, fístulas pancreáticas y biliares, derivación urétero-intestinal, laxantes, cloruro de calcio, sulfato de magnesio o colestiramina)
- Si Cloro < (Na + + K +) Causa renal: No se produce excreción de NH4 . Hay pérdida renal de bicarbonato. Por otro lado, si hay hipopotasemia + pH Urinario > 5,5: Acidosis tubular renal tipo II: primaria (transitoria, genética o idiopática), alteración anhidrasa carbónica (déficit acetazolamida), sulfanilamida y síndrome de Fanconi

Importante:

Al final del capítulo se muestra un cuadro resumen que permitirá guiar la interpretación de la GA para cada trastorno (figuras 1 y 2).

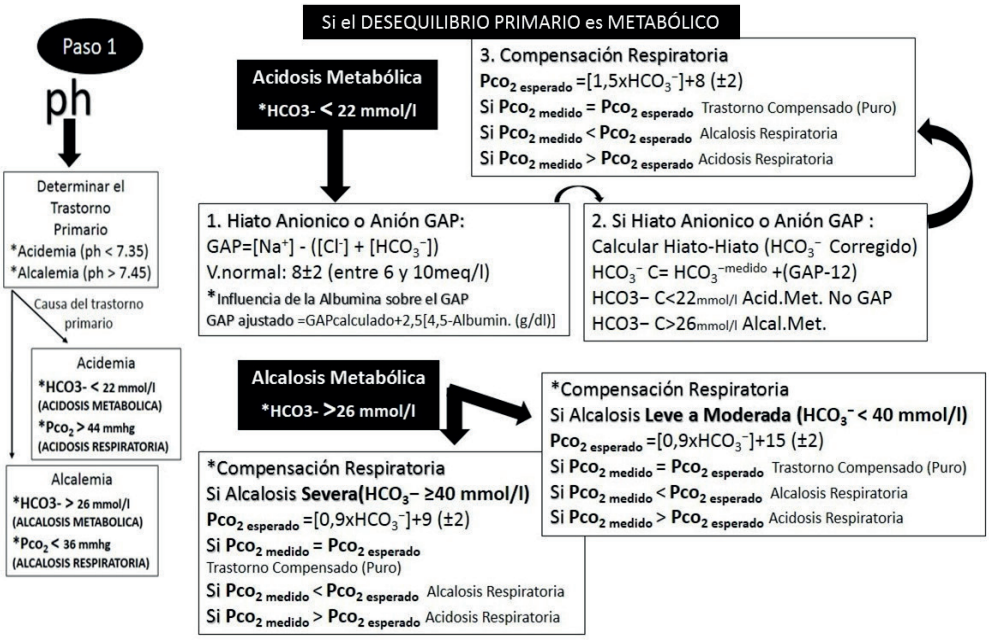
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Se espera que, con el uso de esta herramienta, el estudiante y profesional de la medicina pueda consecuentemente minimizar errores en la sistemática de lectura e interpretación de GA y brindar un adecuado enfoque clínico y terapéutico al paciente.

El trastorno acido-básico más complejo de determinar en toda su extensión es la Acidemia por Acidosis metabólica, debido que junto a este trastorno pueden aparecer hasta dos defectos

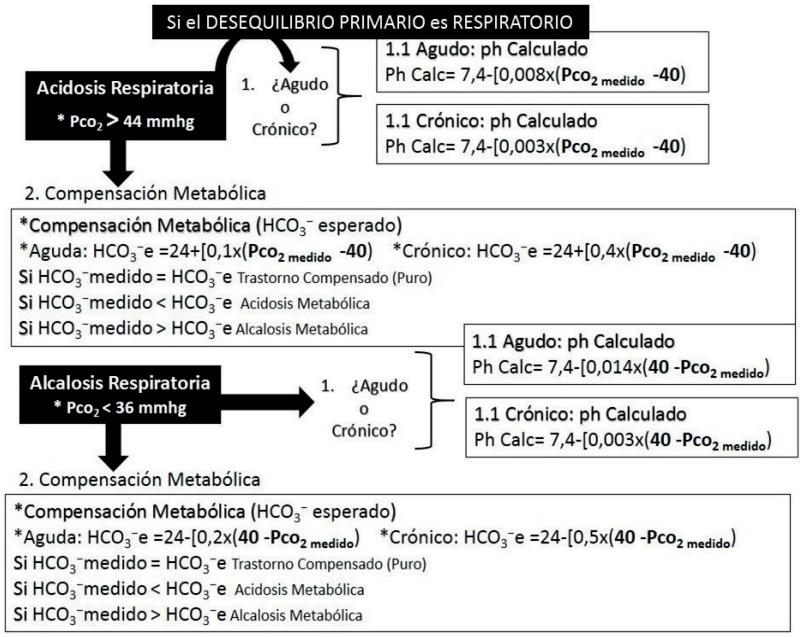
más asociados (Acidemia por Acidosis Metabólica anión GAP y No anión GAP con una alcalosis respiratoria compensatoria).

El cálculo correcto de cada fórmula (independientemente del algoritmo escogido), representa la semiología del trastorno, lo que establecerá el diagnóstico definitivo.



Nota: Elaborado por los autores

Figura 1. Identificación del desequilibrio primario y secuencia a seguir si el trastorno es metabólico



Nota: Elaborado por los autores

Figura 2. Identificación del desequilibrio primario y secuencia a seguir si el trastorno es respiratorio

BIBLIOGRAFÍA

1. Habib T, Nair A, Murphy S, Saeed H, Ishaya N. Mastering blood gas interpretation: a practical guide for primary care providers. S Afr Fam Pract. 2024;67(1):e1-7. https://doi.org/10.4102/safp.v67i1.6058

2. Sosa-Remón A, Jeréz-Álvarez AE, Matos-Lastre EA, Álvarez-Santisteban OJ, Cuba-Naranjo AJ, Remón-Chávez CE. Interpretación de la gasometría arterial en la acidosis metabólica. Medicina (B Aires). 2020;42(3):439-51. Disponible en: https://www.revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/1540

3. Sosa-Remón A, Cuba-Naranjo AJ, Jeréz-Álvarez AE. Interpretación de la gasometría arterial a pasos. Rev Cub Anest Rean. 2023;22:e857. Disponible en: https://revanestesia.sld.cu/index.php/anestRean/article/view/857

4. Lovesio C. Medicina intensiva. 7ª ed. Buenos Aires: Editorial Corpus Libros Médicos y Científicos; 2017.

5. Sánchez-Díaz JS, Martínez-Rodríguez EA, Peniche-Moguel KG, Díaz-Gutiérrez SP, Pin-Gutiérrez E, Cortés-Román JS, et al. Interpretación de gasometrías: solo tres pasos, solo tres fórmulas. Med Crit. 2018;32(3):156-9. Disponible en: https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=81266

6. Reddi AS. Acid-base disorders: clinical evaluation and management. Cham (Suiza): Springer Nature Switzerland AG; 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28895-2

7. Marino PL. Marino's the ICU book. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2025.