

Interpretación de gasometrías: solo tres pasos, solo tres fórmulas

Jesús Salvador Sánchez Díaz,* Enrique Antonio Martínez Rodríguez,† Karla Gabriela Peniche Moguel,*
Susana Patricia Díaz Gutiérrez,* Eusebio Pin Gutiérrez,* Jorge Samuel Cortés Román,* Gerardo Rivera Solís*

RESUMEN

Son múltiples las formas de interpretar una gasometría, aunque ninguna mejor que la otra. Una correcta interpretación de la gasometría es una habilidad que todo médico debe dominar. Intentar interpretar «todo a la vez» y de forma poco organizada es el error más común. Entonces el secreto para desarrollar dicha habilidad radica en el «orden», por lo que te sugerimos utilizar **sólo 3 pasos, sólo 3 fórmulas**. El abordaje diagnóstico de los trastornos ácido-base con el método tradicional de Henderson-Hasselbalch no permite explicar todos los trastornos, pero en combinación con el exceso de base descrito por Siggaard-Andersen, facilita el diagnóstico, además que esta combinación es sencilla, rigurosa y práctica. **Palabras clave:** Gasometría, ácido-base, Henderson-Hasselbalch, Siggaard-Andersen, fórmulas.

SUMMARY

There are multiple ways of interpreting gasometry, although no better than the other. A correct interpretation of gasometry is a skill that every doctor must dominate. Try to interpret «all at once» and little organized is the most common error. Then the secret to developing that skill lies in the «order», so we suggest you use **only 3 steps, just 3 formulas**. The diagnostic approach of acid-base disorders with the method. Traditional of Henderson-Hasselbalch does not allow to explain all disorders, but in combination with the excess of base described by Siggaard-Andersen, facilitates the diagnosis, besides that this combination is simple, rigorous and practical.

Key words: Gasometry, acid-base, Henderson-Hasselbalch, Siggaard-Andersen, formulas.

RESUMO

Há muitas maneiras de interpretar uma gasometria, embora nenhuma melhor que a outra. Uma interpretação correta da gasometria é uma habilidade que todo médico deve dominar.

Tentar interpretar «tudo de uma vez» e de maneira mal organizada é o erro mais comum. Então o segredo para desenvolver essa habilidade está na «ordem», por isso sugerimos que você use **apenas 3 passos, somente 3 fórmulas**.

A abordagem diagnóstica de distúrbios ácido-base com o método tradicional de Henderson-Hasselbalch não explica todas as desordens, mas em combinação com o excesso de base descrito por Siggaard-Andersen, facilita o diagnóstico, além de que esta combinação é simples, rigorosa e prática.

Palavras-chave: Gasometria, ácido-base, Henderson-Hasselbalch, Siggaard-Andersen, fórmulas.

INTRODUCCIÓN

Las alteraciones ácido-base generalmente son consecuencia de una patología preexistente, aunque en raras ocasiones tienen un carácter primario. Los trastornos mixtos son los más comunes; para poder identificarlos, el médico debe evaluar la respuesta fisiológica compensadora para cada trastorno, si los valores se encuentran fuera del rango esperado, se traduce en un trastorno «mixto» o «agregado». Si conocemos el grado de compensación metabólica o respiratoria podremos realizar diagnósticos más precisos. «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. Hace más de 100 años que Henderson-Hasselbalch determinaron el enfoque tradicional para describir los cambios en el pH, los cuales corresponden a procesos respiratorios a través de la presión parcial de dióxido de carbono (PaCO_2) y a procesos metabólicos a través del bicarbonato (HCO_3^-), así como la disociación del ácido carbónico (H_2CO_3). Con el venir de los años se han agregado complementos que ayudan a determinar mayores diagnósticos gasométricos, como son Siggaard-Andersen y el exceso de base (EB),¹ Emmett y Narins con la brecha de aniones,² y más recientemente, Peter Stewart con el método de la diferencia de iones fuertes.³

Son múltiples las formas de interpretar una gasometría, aunque ninguna mejor que la otra; desde 2016, como grupo de trabajo, hemos utilizado un método sencillo, reproducible y, lo más importante, ordenado.⁴ Una correcta interpretación de la gasometría es una habilidad que todo médico debe dominar. Intentar interpretar todo a la vez y de forma poco organizada es el error más común. Entonces, el secreto para desarrollar dicha habilidad radica en el orden; por lo tanto, sugerimos utilizar **solo tres pasos, solo tres fórmulas**.

Nuestro método: solo tres pasos, solo tres fórmulas

Los tres **pasos**, en orden de frecuencia, que se deben utilizar para interpretar una gasometría son:

- Paso 1. pH (7.35-7.45).
- Paso 2. PaCO_2 (35-45 mmHg a nivel del mar).
- Paso 3. Base (-2 a +2 mEq/L).

Las tres **fórmulas** que se deben emplear para calcular la compensación esperada después de identificar el primer trastorno (metabólico o respiratorio) son:

- PaCO_2 esperada = $(1.5 \times \text{HCO}_3^-) + 8 \pm 2$ (acidosis metabólica).
- PaCO_2 esperada = $(0.7 \times \text{HCO}_3^-) + 21 \pm 2$ (alcalosis metabólica).
- Base esperada: $(\text{PaCO}_2 - 40) \times 0.4$ (acidosis y alcalosis respiratoria crónica).

Recuerde que los trastornos respiratorios agudos (< 24 horas) no modifican la base, por lo que no será necesario calcular compensación esperada.⁴ Lo anterior es sencillo de comprender cuando sistemáticamente evaluamos de manera ordenada el **pH**, la **PaCO_2** y la **base** (Tabla 1).

* Hospital de Especialidades Núm. 14, Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Veracruz, México.

† Centro Médico ABC. Campus Observatorio. Ciudad de México, México.

Paso 1. Determinar el pH; si está alterado, ver la dirección de la alteración (acidosis o alcalosis); o si el pH es normal, ir al paso 2.

Paso 2. Determinar la PaCO_2 ; si está alterada, ver la dirección de la alteración (acidosis respiratoria o alcalosis respiratoria); o si la PaCO_2 es normal, ir al paso 3.

Paso 3. Determinar la base o EB; si está alterada, ver la dirección de la alteración (acidosis metabólica o alcalosis metabólica). También es de utilidad para determinar si un trastorno respiratorio es agudo o crónico (EB normal = trastorno respiratorio agudo; EB anormal = trastorno respiratorio crónico). Si los tres pasos son normales, se considera una gasometría normal (Figura 1).

Para entender lo anterior, veamos a continuación:

- Evaluar el pH; si es normal, valore la PaCO_2 ; si es normal, evalúe el EB; si es normal, entonces la gasometría es normal.
- Evaluar el pH; si es normal, valore la PaCO_2 ; si es normal, evalúe el EB; si es anormal, entonces existe una alteración metabólica (negativo = acidosis metabólica, positivo = alcalosis metabólica).
- Evaluar el pH; si es normal, valore la PaCO_2 ; si es anormal ($> 45 \text{ mmHg}$ = acidosis respiratoria, $< 35 \text{ mmHg}$ = alcalosis respiratoria), evalúe el EB; si es normal, entonces existe un trastorno respiratorio agudo; si es anormal, existe un trastorno respiratorio crónico.

Tabla 1: Pasos y fórmulas para la interpretación de una gasometría.

Tres pasos	Tres fórmulas
1. pH Paso 1: analizar el pH Los valores normales del pH oscilan entre 7.35 y 7.45. Si el pH disminuye (< 7.35) implica acidemia, mientras que si aumenta (> 7.45) implica alcalemia <i>+ Recuerde que para calcular (fórmula) la compensación, estos valores no se utilizan, sino los esperados</i>	Acidosis metabólica $\text{PaCO}_2 \text{ esperada} = (1.5 \times \text{HCO}_3^-) + 8 \pm 2$
2. PaCO_2 Paso 2: analizar PaCO_2 Los niveles normales de PaCO_2 oscilan entre 35 mmHg y 45 mmHg (nivel del mar). Por debajo de 35 mmHg es alcalosis y por encima de 45 mmHg es acidosis <i>+ Recuerde que para calcular (fórmula) la compensación, estos valores no se utilizan, sino los esperados</i>	Alcalosis metabólica $\text{PaCO}_2 \text{ esperada} = (0.7 \times \text{HCO}_3^-) + 21 \pm 2$
3. Base Paso 3: Analizar la base Los niveles normales de la base oscilan en -2 a $+2 \text{ mEq/L}$; por debajo de -2 mEq/L es acidosis y por arriba de $+2 \text{ mEq/L}$ es alcalosis <i>+ Recuerde que para calcular (fórmula) la compensación, estos valores no se utilizan, sino los esperados</i>	Los trastornos respiratorios agudos no modifican la base (no aplique fórmula) Acidosis respiratoria crónica Base esperada: $(\text{PaCO}_2 - 40) \times 0.4$ Alcalosis respiratoria crónica Base esperada: $(\text{PaCO}_2 - 40) \times 0.4$

- Evaluar el pH; si es anormal, valore la PaCO_2 ; si es normal, evalúe el EB; si es anormal, entonces existe una alteración metabólica (negativo = acidosis metabólica, positivo = alcalosis metabólica).

Lo siguiente a realizar es valorar el grado de compensación para cada trastorno: lo respiratorio es compensado con lo metabólico y lo metabólico con lo respiratorio. Un error frecuente es suponer que un trastorno está compensado cuando el pH se encuentra en valores de referencia;⁵ en realidad, los cambios en el pH ocurren en segundos, por lo que difícilmente compensará un trastorno, solo lo amortiguará en lo que los sistemas respiratorio y metabólico cumplen con su objetivo. Pero ¿cómo cuantificar e identificar estos trastornos de manera práctica y sencilla? ¿Qué cantidad compensará el sistema respiratorio y el sistema metabólico?

Acidosis metabólica

En 1967, Albert y sus colaboradores⁶ determinaron la correlación entre el descenso de HCO_3^- y los cambios en la PaCO_2 en pacientes con acidosis metabólica no complicada para establecer la adecuada compensación respiratoria. De esta correlación lineal obtuvieron la siguiente fórmula:

$$\text{PaCO}_2 \text{ esperado: } 1.5 [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$$

Es decir, una vez detectado un trastorno de acidosis metabólica, el siguiente paso es determinar la compen-

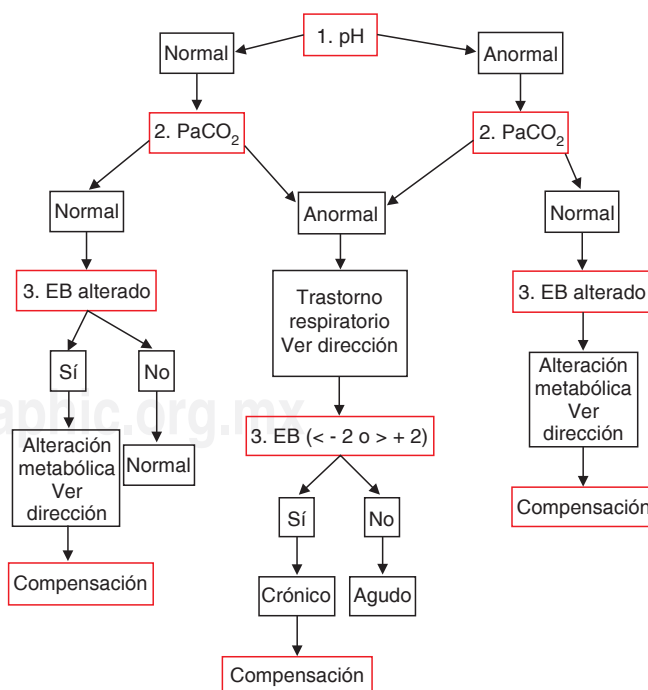


Figura 1: Algoritmo, método de los tres pasos.

Tabla 2: Fórmulas de compensación.

Alteración	Fórmula	Trastorno agregado
Acidosis metabólica	$\text{PaCO}_2 \text{ esperado} = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8 \pm 2$	$\text{PaCO}_2 = \text{Esp} = \text{Ac. Met. Pura}$ $\text{PaCO}_2 > \text{Esp} = \text{Ac. Resp.}$ $\text{PaCO}_2 < \text{Esp} = \text{Al. Resp.}$
Alcalosis metabólica	$\text{PaCO}_2 \text{ esperado} = 0.7 \times \text{HCO}_3^- + 21 \pm 2$	$\text{PaCO}_2 = \text{Esp} = \text{Al. Met. Pura}$ $\text{PaCO}_2 > \text{Esp} = \text{Ac. Resp.}$ $\text{PaCO}_2 < \text{Esp} = \text{Al. Resp.}$
Acidosis respiratoria aguda	$\text{EB} = \pm 2$	--
Acidosis respiratoria crónica	$\text{EB esperado} = (\text{PaCO}_2 - 40) (0.4)$	$\text{EB} = \text{Esp} = \text{Ac. Resp. Cr. Pura}$ $\text{EB} > \text{Esp} = \text{Al. Met.}$ $\text{EB} < \text{Esp} = \text{Ac. Met.}$
Alcalosis respiratoria aguda	$\text{EB} = \pm 2$	--
Alcalosis respiratoria crónica	$\text{EB esperado} = (\text{PaCO}_2 - 40) (0.4)$	$\text{EB} = \text{Esp} = \text{Al. Resp. Cr. Pura}$ $\text{EB} > \text{Esp} = \text{Ac. Met.}$ $\text{EB} < \text{Esp} = \text{Al. Met.}$

PaCO_2 = Presión arterial de dióxido de carbono. HCO_3^- = Bicarbonato. EB = Exceso de base. Ac. Resp. = Acidosis respiratoria. Al. Resp. = Alcalosis respiratoria. Al. Met. = Alcalosis metabólica. Ac. Met. = Acidosis metabólica. Esp. = Esperada. Cr. = Crónica.

sación respiratoria producto de la PaCO_2 esperada para ese trastorno; en este paso, ya no hay que utilizar los valores de referencia, sino los esperados (Tabla 2).

Alcalosis metabólica

La forma en la que el organismo responde a esta alteración es con la hipoventilación para mantener una adecuada relación entre el HCO_3^- y la PaCO_2 . Podemos evaluar esta relación a través del estudio realizado por Javaheri y su grupo,⁷ donde determinaron la respuesta respiratoria y su correlación con los cambios en el HCO_3^- . Observaron que se elevará la PaCO_2 0.7 mmHg por cada 1 mEq/L de aumento del HCO_3^- . Se obtuvo la siguiente fórmula por medio de una correlación lineal:

$$\text{PaCO}_2 \text{ esperado: } 0.7 [\text{HCO}_3^-] + 21 \pm 2$$

Los valores obtenidos usando esta fórmula que se encuentren fuera de rangos esperados denotarán un trastorno ácido-base agregado (Tabla 2).

Trastornos respiratorios

Estos se dividen en agudos y crónicos dependiendo del grado de compensación metabólica; en la fase aguda es a través del HCO_3^- por los amortiguadores intracelulares y, en menor cantidad, los H^+ por amortiguadores no HCO_3^- (como proteínas, hemoglobina); aunque esto limita la concentración de hidrogeniones, no restaura el pH. Sin embargo, ante trastornos crónicos, predomina el componente metabólico. El HCO_3^- es el amortiguador más importante hasta en 75%; sin embargo, una solución con HCO_3^- es demasiado simple como único

parámetro metabólico debido a la presencia de tampones no HCO_3^- como albúmina, hemoglobina, fosfato y otros iones.⁸ Siguiendo la teoría de Stewart, los determinantes de los cambios de la concentración de H^+ son la diferencia de iones fuertes (donde cambios electrolíticos del sodio y cloro afectan el pH, así como el lactato), ácidos débiles totales (ATOT, como albúmina y fosfato, ambos comprenden los cambios metabólicos) y la PaCO_2 como alteración respiratoria.⁹

Se necesitaba un parámetro que pudiera determinar de manera más completa los cambios compensadores metabólicos.¹⁰ En 1948, Singer y Hastings propusieron el término «base amortiguadora» para definir la suma de HCO_3^- y ácidos débiles no volátiles (proteínas, fosfato intracelular, hemoglobina, entre otros). Más tarde, en 1958, Siggaard-Andersen y sus colegas propusieron el término «exceso de base» (EB);¹¹⁻¹³ este no se ve afectado por los cambios de la PaCO_2 , por lo que su alteración solo denota un trastorno metabólico (acidosis o alcalosis metabólica). Anteriormente no se conocían las modificaciones producidas en el EB por los cambios agudos respiratorios, hasta 1998, cuando Schlichtig y su grupo¹⁴ realizaron un metaanálisis en el cual elaboraron ecuaciones para determinar la compensación ácido-base en relación con el PaCO_2 con el EB. Concluyeron que durante los cambios agudos respiratorios, el EB no se ve alterado, obteniendo una relación $\Delta \text{EB} = 0 \times \Delta \text{PaCO}_2$; por ello, ante trastornos respiratorios agudos, el EB no se ve modificado. Sin embargo, en los trastornos respiratorios crónicos, el EB se encuentra alterado en una relación $\Delta \text{EB} = 0.4 \times \Delta \text{PaCO}_2$. Existen fórmulas para calcular el HCO_3^- esperado ante los trastornos respiratorios crónicos; su complejidad las hace poco prácticas para la clínica, por lo que la ecuación realizada por Schlichtig y sus colaboradores es de fácil aprendizaje:

$$\text{EB esperado} = (\text{PaCO}_2 - 40) (0.4)$$

Por lo anterior, una manera efectiva de diferenciar los trastornos respiratorios agudos de los crónicos es verificar el EB; si este se encuentra dentro de rangos normales, se trata de un trastorno agudo y no se buscará la compensación; sin embargo, si el EB se encuentra alterado, se tratará de un trastorno respiratorio crónico y lo siguiente será determinar la compensación por medio del EB esperado (Tabla 2).

Utilizamos para la interpretación de la gasometría el método de Henderson-Hasselbalch (basado en pH, PaCO_2 y el HCO_3^-) en combinación con el exceso de base descrito por Siggaard-Andersen, sistema sencillo, riguroso y práctico para clasificar y tratar de forma sistemática las alteraciones del equilibrio ácido-base.¹⁵ Otro punto importante a considerar son los valores estimados de gases sanguíneos (PaCO_2 y PaO_2), los cuales pueden ser de utilidad en diferentes lugares a diferen-

tes alturas. Sin embargo, pueden diferir de los medidos debido a condiciones geográficas, atmosféricas y biológicas, por lo que deberán ajustarse a la altura, presión barométrica y exposición aguda del área local.¹⁶

CONCLUSIÓN

El abordaje diagnóstico de los trastornos ácido-base con el método tradicional de Henderson-Hasselbalch no permite explicar todos los trastornos, pero en combinación con el exceso de base descrito por Siggaard-Andersen, facilita el diagnóstico; además, esta combinación es sencilla, rigurosa y práctica. La ausencia de «orden» limita la comprensión de los trastornos ácido-base. Las condiciones geográficas, atmosféricas y biológicas influyen en los gases sanguíneos, por lo que deberán ajustarse a la altura, presión barométrica y exposición aguda del área local.

Agradecimientos

Se agradece a los doctores Enrique Monares Zepeda y Orlando Pérez Nieto por su colaboración en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Siggaard-Andersen O, Fogh-Andersen N. Base excess or buffer base (strong ion difference) as a measure of a non-respiratory acid-base disturbance. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl.* 1995;107:123-128.
2. Kellum JA. Disorders of acid-base balance. *Crit Care Med.* 2007;35(11):2630-2636.
3. Sánchez DJ, Meneses OC, Monares ZE, Torres GA, Aguirre SJ, Franco GJ. La diferencia de iones fuertes (DIF) calculada por el método de FencI-Stewart simplificado es un predictor de mortalidad en pacientes con choque séptico. *Arch Med Urg Mex.* 2014;6(1):5-1.
4. Sánchez-Díaz JS, Martínez-Rodríguez EA, Méndez-Rubio LP, Peniche-Moguel KG, Huanca-Pacaje JM, López-Guzmán C, et al. Equilibrio ácido-base. Puesta al día. Teoría de Henderson-Hasselbalch. *Med Int Mex.* 2016;32(6):646-660.
5. Berend K. Acid-base pathophysiology after 130 years: confusing, irrational and controversial. *J Nephrol.* 2013;26(02):254-265.
6. Albert MS, Dell RB, Winters RW. Quantitative displacement of acid-base equilibrium in metabolic acidosis. *Ann Int Med.* 1967;66(2):312-322.
7. Javaheri S, Shore NS, Rose B, Kazemi H. Compensatory hypoventilation in metabolic alkalosis. *Chest.* 1982;81(3):296-301.
8. Kellum JA. Clinical review: reunification of acid-base physiology. *Crit Care.* 2005;9(5):500-507.
9. Sánchez DJ, Monares ZE, Meneses OC, Rodríguez ME, García MR, Peniche MK, et al. Soluciones balanceadas: cloro, el "nuevo villano". *Med Crit.* 2017;31(3):152-158.
10. Gilfix BM, Bique M, Magder S. A physical chemical approach to the analysis of acid-base balance in the clinical setting. *J Crit Care.* 1993;8(4):187-197.
11. Kellum JA. Determinants of blood pH in health and disease. *Crit Care.* 2000;4(1):6-14.
12. Sánchez-Díaz JS, Monares-Zepeda E, Martínez-Rodríguez EA, Cortés-Román JS, Torres-Aguilar O, Peniche-Moguel KG, et al. Acidosis láctica por metformina: reporte de caso. *Rev Colomb Anestesiol.* 2017. doi.org/10.1016/j.rca.2017.07.009
13. Gómez H, Kellum JA. Understanding acid base disorders. *Crit Care Clin.* 2015;31(4):849-860.
14. Schlichtig R, Grogono AW, Severinghaus JW. Human PaCO₂ and standard base excess compensation for acid-base imbalance. *Crit Care Med.* 1998;26(7):1173-1179.
15. Magder S, Emami A. Practical approach to physical-chemical acid-base management. *stewart at the bedside. Ann Am Thorac Soc.* 2015;12(1):111-117.
16. Vázquez GJ, Pérez PR. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex.* 2000;13(1):6-13.

Correspondencia:

Dr. Jesús Salvador Sánchez Díaz
Miguel Ángel de Quevedo esq. Raz y Guzmán s/n,
Col. Formando Hogar, 91859, Veracruz, Ver.
E-mail: drsalvadorsanchezdiaz@gmail.com