



Actualidades del equilibrio ácido base

Dr. Raúl Carrillo-Esper,* Dr. Porfirio Visoso-Palacios**

* Academia Nacional de Medicina. Academia Mexicana de Cirugía.
Coordinador General del Curso de Postgrado de Medicina del Enfermo en Estado Crítico.
Presidente del Colegio Mexicano de Anestesiología, Jefe de UTI. Hospital Ángeles Lomas

** Médico Internista Especialista en Medicina del Enfermo en
Estado Crítico.

Las alteraciones del equilibrio ácido base son frecuentes en los pacientes médicos y/o quirúrgicos ingresados a las unidades de cuidados intensivos. Cuando estas alteraciones son extremas ($7.00 < \text{pH} > 7.70$) y se instalan rápidamente (< 40 hrs.) causan disfunción celular, del órgano (cardiovascular, respiratorio, metabólico, del SNC e inmune, etc.). Debido a esto es importante entender la fisiopatología del desequilibrio ácido base.

Los cambios en la concentración de iones hidrógeno $[\text{H}^+]$ ocurren como resultado de cambios en los ácidos volátiles o respiratorio (pCO_2) y no volátiles o metabólico (láctico, hidroclorhídrico, sulfúrico, etc.)

Hasta el momento hay tres métodos que describen las alteraciones del equilibrio ácido base. Cada uno difiere en la valoración del componente metabólico y están de acuerdo que el componente respiratorio causa modificaciones en la $[\text{H}^+]$.

HENDERSON-HASSELBALCH

Sörensen introdujo el término de pH y desde entonces se ha utilizado para describir las alteraciones del equilibrio ácido base. El pH no tiene relación lineal con la $[\text{H}^+]$, es el logaritmo de su recíproco. La ecuación de Henderson-Hasselbalch ha sido utilizada para entender la interrelación entre los componentes metabólico y respiratorio para producir cambios en el pH.

$$\text{pH} = 6.1 + \log 10 \text{ HCO}_3^- / 0.03 \text{ pCO}_2$$

Clasificación de las alteraciones ácido base (Henderson-Hasselbalch)

Alteración	HCO_3^-	pCO_2
Acidosis metabólica	< 22	$= (1.5 \times \text{HCO}_3^-) + 8 \pm 5$
Alcalosis metabólica	> 26	$= (0.7 \times \text{HCO}_3^-) + 21$
Acidosis respiratoria aguda	$= [(\text{pCO}_2 - 40)/10] + 24$	> 45
Acidosis respiratoria crónica	$= [(\text{pCO}_2 - 40)/3] + 24$	> 45
Alcalosis respiratoria aguda	$= [(40 - \text{pCO}_2)/5] + 24$	< 35
Alcalosis respiratoria crónica	$= [(40 - \text{pCO}_2)/2] + 24$	< 35

Si el cambio en la pCO_2 es mayor de lo esperado habrá alcalosis respiratoria, si es menor de lo esperado habrá acidosis respiratoria.

SIGGAARD-ANDERSEN

El exceso de base (BE, del inglés Base Excess) es la cantidad de acidosis o alcalosis metabólica que se define como la cantidad de base o ácido que necesita ser adicionada a una muestra de sangre entera *in vitro* para restaurar el pH de la muestra a 7.400 mientras la pCO_2 se mantenga en 40 mmHg.

STEWART

La metodología de Stewart para el abordaje de las alteraciones del equilibrio ácido base se fundamentan en dos leyes fisicoquímicas; la electroneutralidad, la cual dice que en soluciones acuosas, la suma de todos los iones cargados positivamente debe de ser igual la suma de todos los iones cargados negativamente; y la conservación de la masa, la cual dice que la cantidad de una sustancia permanece constante a menos que ésta sea adicionada o generada, o removida o destruida.

El origen de los H⁺ es la disociación del agua. Los factores que están influenciando la disociación del agua son la diferencia de iones fuertes (SID, del inglés Strong Ion Difference), la pCO₂ y A_{TOT} (Ácidos débiles no volátiles totales).

SID

El plasma contiene iones, clasificados por su carga positiva (cationes) o negativa (aniones), o por su tendencia a disociarse en soluciones acuosas, fuertes o débiles.

CLASIFICACIÓN DE IONES

	Cationes	Aniones
Fuertes	Na, K, Ca, Mg	Cl, lactato

La diferencia entre la suma de todos los cationes fuertes y los aniones fuertes se conoce como SID aparente (SIDa).

$$\text{SIDa} = \text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} - (\text{Cl} + \text{Lactato})$$

El valor normal de SIDa es de 40 a 42.

De acuerdo con el principio de la electroneutralidad el plasma no puede estar cargado, así que, el resto de las cargas negativas proviene del pCO₂ y ácidos débiles, llamado también SID efectivo (SIDe).

$$\begin{aligned} \text{SIDe} &= 2.46 \times 10^{-8} \times \text{pCO}_2 / 10^{-\text{pH}} \\ &+ \text{Alb g/L} (0.123 \times \text{pH} - 0.631) \\ &+ \text{P mmol/L} (0.309 \times \text{pH} - 469) \end{aligned}$$

Al sustraer el SIDe al SIDa se obtiene la brecha de iones fuertes (SIG, del inglés Strong Ion Gap).

$$\text{SIG} = \text{SIDa} - \text{SIDe}$$

El valor normal del SIG es < 2 mEq/L y cuando está por arriba de estos valores hay aniones no medidos diferentes a lactato causando acidosis.

$$\text{pCO}_2$$

La pCO₂ es una variable independiente que determina la [H⁺].

$$A_{TOT}$$

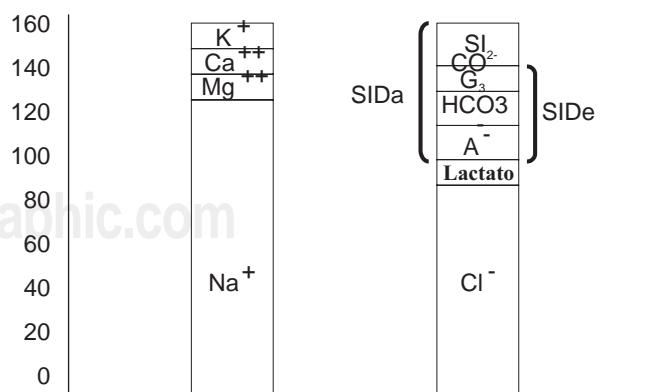
Los ácidos débiles no volátiles son proteínas (albúmina) y fosfatos.

$$\text{Aniones no medidos (XA⁻)}$$

El lactato es el más conocido y medido, pero las cetonas, sulfatos y ciertos venenos (metanol, salicilatos) poco conocidos y menos medidos, y aún, hay más aniones no medidos diferentes a los ya mencionados que están causando un SIG elevado.

Primero, es importante reconocer que las acidosis metabólicas están caracterizadas por una disminución de la SIDe, la cual produce disociación del agua, generando H⁺. El SIDa disminuye debido a pérdida de cationes (diarrea), mishandling de aniones (acidosis tubular renal) o la adición de aniones exógenos (iatrógena o envenenamiento).

La alcalosis metabólica ocurre como consecuencia de una SIDa inapropiadamente elevada, como cuando hay pérdida de cationes (vómito, diuréticos) o administración de aniones fuertes (transfusión de grandes volúmenes de sangre guardada en el banco de sangre).



Clasificación de las alteraciones del equilibrio ácido base (Stewart).

	Acidosis ↑ pCO ₂	Alcalosis ↓ pCO ₂
I. Respiratoria		
II. No respiratoria		
1. SID anormal		
a. Exceso/déficit de agua	↓ SID ↓ [Na ⁺]	↑ SID ↑ [Na ⁺]
b. Imbalance de iones fuertes		
i. Exceso/déficit de Cl	↓ SID ↑ [Cl ⁻]	↑ SID ↓ [Cl ⁻]
ii. Exceso de aniones no identificados	↓ SID ↑ [XA ⁺]	-----
2. Ácidos débiles no volátiles		
a. Albúmina	↑ [Alb]	↓ [Alb]
b. Fósforo	↑ [P]	↓ [P]

