



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

COMPARACIÓN DEL ABORDAJE CLÁSICO Y EL ABORDAJE FÍSICO-  
QUÍMICO PARA EL ANÁLISIS DE GASOMETRÍAS ARTERIALES EN  
PACIENTES GRAVES DE LA TERAPIA INTENSIVA PEDIÁTRICA

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN:

MEDICINA CRÍTICA PEDIÁTRICA

P R E S E N T A

DR. DIEGO GUSTAVO GARAY CARMONA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. HÉCTOR ANTONIO CARRILLO LÓPEZ  
MÉDICO ADSCRITO AL SERVICIO DE TERAPIA INTENSIVA  
PEDIÁTRICA DEL HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO  
FEDERICO GÓMEZ



Ciudad de México, Febrero de 2017.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## HOJA DE FIRMAS

DRA. REBECA GÓMEZ CHICO VELASCO  
DIRECTORA DE ENSEÑANZA Y DESARROLLO ACADÉMICO

TUTOR: DR. HÉCTOR ANTONIO CARRILLO LÓPEZ  
MÉDICO ADSCRITO AL DEPARTAMENTO DE TERAPIA INTENSIVA PEDIÁTRICA  
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

## ÍNDICE

• RESUMEN	4
• INTRODUCCIÓN	6
• MARCO TEÓRICO	8
• JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
• PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
• PREGUNTAS ESPECÍFICAS	17
• OBJETIVO GENERAL	17
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
• HIPÓTESIS	18
• MÉTODOS	19
• CONSIDERACIONES ÉTICAS	22
• PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
• DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	22
• RESULTADOS	23
• DISCUSIÓN	25
• CONCLUSIONES	26
• LIMITACIÓN DEL ESTUDIO	26
• ANEXOS (CUADROS Y FIGURAS)	27
• REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

## RESUMEN

El desequilibrio ácido base de un paciente puede ser abordado por diferentes métodos. Existen tres, dos de los cuales son utilizados de manera rutinaria: el método de bicarbonato/dióxido de carbono y el que utiliza el exceso de base. Un tercer método, el físico-químico, ha sido aceptado ya que parece tener algunas ventajas en el diagnóstico de problemas complejos o mixtos. Durante la evolución del estudio de las anomalías del estado ácido base, ha existido información que está a favor y en contra del uso de uno y otro método.

El equilibrio ácido-base, se refiere a los mecanismos fisiológicos que mantienen las concentraciones de hidrogeniones en los fluidos corporales dentro de un rango compatible con las diferentes funciones de los órganos y tejidos del cuerpo humano..

*Objetivo:* Determinar las diferencias existentes en los diagnósticos obtenidos en la interpretación de gasometrías arteriales de pacientes en estado crítico mediante la utilización de los abordajes clásicos (bicarbonato y exceso de base) en comparación con el abordaje físico químico.

*Métodos:* Se trata de un estudio observacional que se llevó a cabo en la Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica del Hospital Infantil de México Federico Gómez. Se incluyeron 87 pacientes hospitalizados durante los meses de junio a agosto de 2016. Cada diagnóstico del estado ácido base fue realizado en cada paciente usando a) el abordaje convencional por medio del uso de  $\text{HCO}_3^-$  y EB; b) las mismas variables y el anion gap corregido; y c) el abordaje físico-químico con las modificaciones y simplificaciones recomendadas en la literatura.

*Resultados:* Se analizaron 985 gasometrías de 87 pacientes por los métodos previamente descritos. El abordaje por exceso de base y anion gap permitió la detección de acidosis metabólica en 251 pacientes, 120 pacientes menos que por el abordaje tradicional, sin embargo el abordaje por iones fuertes permitió la detección de acidosis metabólica (en diferentes variedades) en 911 pacientes en total, lo que representó 540 resultados positivos (59.27%) más que por el abordaje tradicional y 660 más que por el abordaje de exceso de base y anion gap.

*Conclusión:* Se encontró que el abordaje de iones fuertes para el diagnóstico de acidosis metabólica arroja resultados en 59.27% más de los pacientes que tienen valores normales de

bicarbonato y exceso de base en la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Infantil de México. Lo que sugiere que el abordaje tradicional e incluso el abordaje por anion gap son útiles para la detección de trastornos ácido-base simples. Sin embargo para el caso de los pacientes con trastornos mixtos, complejos, es útil el conocimiento y la aplicación del método de iones fuertes.

## INTRODUCCIÓN

Los desórdenes ácido base ocurren de forma frecuente en los pacientes pediátricos. Los tejidos y órganos del cuerpo humano funcionan bajo un pH controlado en un rango de 7.35 a 7.45. dependiendo en el grado de desviación del pH fuera de este rango tan estrecho, ciertas respuestas homeostáticas son activadas en un esfuerzo por recuperar el estado normal de ácido-base. Diferentes factores impactan en el pronóstico de los pacientes con desajustes del estado ácido base: 1) la severidad de la acidemia o alcalemia, 2) la agudeza y duración del desajuste, 3) el estado funcional de los pulmones y los riñones y 4) la causa desencadenante.<sup>1</sup> Para poder manejar pacientes con trastornos ácido base graves, de forma adecuada, se debe realizar una buena historia clínica y posteriormente una interpretación precisa de la gasometría arterial.

El desequilibrio ácido base de un paciente puede ser abordado por diferentes métodos, existen tres que actualmente son utilizados de manera rutinaria: el método de bicarbonato/dióxido de carbono, el físico-químico, y utilizando el exceso de base. Una ventaja de los métodos que evalúan el componente metabólico de los trastornos ácido base es que son métodos fáciles de entender y aplicar en situaciones clínicas comunes. Sin embargo pueden tener desventajas al no tomar en cuenta otros factores causantes de trastornos en el pH. Otros abordajes, como el descrito por Stewart (y posteriormente modificado por Figge) permiten al médico cuantificar componentes individuales de las anomalías del estado ácido base y proveer así una idea de su patogénesis. Sin embargo, es un método que no es práctico para ser utilizado en la cabecera del paciente. Durante la evolución del estudio de las anomalías del estado ácido base, ha existido información que está a favor y en contra del uso de uno y otro método.<sup>2</sup>

Usualmente los médicos de diferentes especialidades suelen realizar gasometrías de manera cotidiana, pero ¿hasta qué punto conocen todos los datos que arrojan los resultados de una gasometría?. De acuerdo al estudio publicado desde 1984 por Broughton y colaboradores; únicamente el 70% de los médicos de un hospital universitario podían afirmar que no necesitaban ayuda al momento de interpretar de forma correcta un resultado de gasometría arterial. Sin embargo, sólo el 40% de ellos acertaron dichos resultados<sup>3</sup>.

En 1909 Sørensen define el pH (pondus hydrogeni) como el logaritmo con signo negativo de la concentración de iones  $H^+$ . Y las bases de la gasometría actual se remontan a los trabajos de Henderson en 1908 y Hasselbalch en 1916.



## MARCO TEÓRICO

Cuando el médico aborda a un niño críticamente enfermo con un desequilibrio del estado ácido base, el primer paso es definir la naturaleza del desorden: acidosis versus alcalosis, acidemia versus alcalemia, simple versus mixta, aguda versus crónica, grave y dañina versus leve y no-dañina<sup>4</sup>.

La gasometría es la herramienta más rápida para conocer el estado general del paciente críticamente enfermo. El estudio de la misma debe realizarse de manera sistematizada, pues permite establecer rápidamente el diagnóstico y dirigir el tratamiento. Las alteraciones en el equilibrio ácido base son de presentación común tanto en pacientes médicos como en pacientes quirúrgicos y pueden presentarse como una alteración única (trastornos simples) o como dos o más alteraciones (trastornos mixtos). El diagnóstico exacto y su manejo son decisivos en el desenlace y en el pronóstico de la enfermedad subyacente<sup>5</sup>.

Por mucho tiempo ha sido reconocido que un aumento en la PaCO<sub>2</sub> puede también incrementar la concentración plasmática de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Se han desarrollado múltiples herramientas para la interpretación de los desórdenes ácido base.

El estado ácido base, se refiere a los mecanismos fisiológicos que mantienen la concentraciones de hidrogeniones en los fluidos corporales en un rango compatible con la vida. Para mantener estos límites del pH a favor de tal proceso vital, el cuerpo realiza una serie de mecanismos bioquímicos y respuestas compensadoras que ocurren principalmente en los pulmones y en los riñones, que son los pivotes en la excreción de ácidos en el cuerpo. De acuerdo a esta información, se reconoce que los desbalances en el equilibrio ácido base se asocian con el desarrollo de disfunción orgánica y por lo tanto aumentan la mortalidad de los pacientes en una terapia intensiva. El análisis de una muestra de gases arteriales es una prueba invasiva que mide las concentración de oxígeno, la ventilación y el estado ácido base. Se han propuesto diversas formas de abordaje para los desequilibrios ácido-base en el paciente críticamente enfermo.

### Enfoque tradicional

El cambio en el pH de cualquier solución es dependiente de la cantidad de ácidos fuertes (o bases fuertes) que son añadidas y la capacidad de amortiguación del sistema.

La ecuación descrita por Henderson-Hasselbalch (1908 / 1916) menciona que el  $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \left( \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 \times \text{PCO}_2} \right)$ . Esta ecuación intenta explicar que el pH está afectado por cambios en la concentración de ácidos no disociados (ácido carbónico o  $\text{PCO}_2$ ) y la concentración de bases conjugadas ( $\text{HCO}_3^-$ ). Cuando existe una alteración del pH en el componente de dióxido de carbono, este cambio es referido como respiratorio, ya que la alteración primaria en el componente volátil siempre se asocia a hipoventilación o hiperventilación; cuando se modifica por otra causa y/o por cambios en la concentración de cationes o aniones se refiere como una alteración de origen metabólica. La relación entre  $\text{PCO}_2$  y  $\text{HCO}_3^-$  es el sistema de búfer más importante del cuerpo y puede proveer una guía clínica para descubrir el origen metabólico de algún desorden asociado a acidosis por ácidos orgánicos, sin embargo habrá que tomar en cuenta que el bicarbonato, al estar relacionado con el ácido carbónico, también puede elevar el  $\text{PCO}_2$  y viceversa.

Entre 1887 y 1903 Svante Arrhenius esbozó las teorías sobre ionización y disociación; dichas definiciones reconocen la participación del cloro, sodio y otros iones fuertes (que se disocian completamente), mientras que el modelo de Brønsted - Lowry nos permite reconocer la importancia de la conjugación de pares de ácidos y bases, como el sistema bicarbonato – ácido carbónico. Las moléculas de agua presentan una propiedad natural conocida como auto-ionización o auto-disociación. De acuerdo a dicho abordaje, el agua es una fuente virtualmente inacabable de hidrogeniones y por tanto, el agua por sí misma provee hidrogeniones debido a su disociación o recomposición:  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ .<sup>6</sup> Se produce acidosis por la ganancia de ácidos, tanto endógenos como exógenos, que directamente liberan hidrogeniones, y/o la pérdida de bicarbonato. Para la alcalosis, por tanto, debe ocurrir lo opuesto. La  $\text{pCO}_2$ , el pH, el exceso de base estándar, el bicarbonato y el anion gap son herramientas de diagnóstico utilizadas en este abordaje fisiológico. Sin embargo, con la excepción de la  $\text{pCO}_2$ , todas estas variables, tiene correlación con el pH, pero no una relación causal con éste.

En las décadas de 1950 y 1960, Siggard-Andersen, en Copenhague, desarrollaron el método de exceso de base. El exceso de base se define como la cantidad de ácidos fuertes (o bases fuertes), en mol/L, dicha cantidad será la que en una muestra de sangre, in vitro, regrese el pH a dicha muestra a 7.40, mientras que la cantidad de  $\text{PCO}_2$  se mantenga constante a 40 mmHg. El exceso de base (o exceso de base estándar) se usa como parte del abordaje clásico del balance ácido base. Aunque el exceso de base estándar tiene una buena correlación con los niveles de bicarbonato y cuantifica el cambio en estado ácido base in vivo, su precisión

depende en que asume una hemoglobina de 5 g/dL de acuerdo a las diluciones en el organismo. Debido a que este método fue ampliamente criticado creando un “debate transatlántico” se crearon las reglas de bicarbonato (Boston) desarrollado por Schwartz y Relman<sup>7</sup> se basa completamente en la ecuación de Herderson – Hasselbalch. Los hidrogeniones se relacionan con el dióxido de carbono en los desbalances respiratorios y el bicarbonato en los desbalances de origen metabólico. Es el abordaje clásico de interpretación de gasometrías. (Cuadro 1)

Estas reglas describen la compensación fisiológica de los cambios de ácido base que deben llevarse a cabo para optimizar la homeostasis del equilibrio-acido base. Con la compensación fisiológica se esperan cambios residuales en el CO<sub>2</sub> o el bicarbonato como mecanismos compensatorios para cambios del estado ácido base. La concentración de hidrogeniones está relacionada con el CO<sub>2</sub> en los cambios respiratorios y a la relación CO<sub>2</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los cambios metabólicos. Este abordaje es fácil de usar en pacientes estables que muestran cambios simples en el estado ácido base, donde la magnitud de los aniones no medibles es paralela a la caída del bicarbonato.

#### Anion Gap y Anion Gap corregido

La brecha aniónica, o anion gap por su denominación en inglés, fue sugerida por Emmet y Narins como una herramienta diagnóstica complementaria útil en los abordajes de los trastornos metabólicos por exceso de base o por las reglas del bicarbonato, particularmente en acidosis metabólica. Se basa en el principio de electroneutralidad que establece que una solución acuosa no tiene carga eléctrica por sí misma. Y se define como:

$$AG = ([Na] + [K]) - ([Cl] + [HCO_3^-])$$

Se debe tomar en cuenta que el anion gap calculado puede estar afectado por cualquier concentración de aniones no medibles o de cationes no incluidos en la ecuación. Si el anion gap aumenta se debe a la acumulación de aniones, como el lactato o cetonas, que no son medidas y que causan una disminución compensatoria en los niveles de cloro y/o bicarbonato para así mantener la electroneutralidad. Esta condición es nombrada acidosis de anion gap.

El plasma, al ser una solución acuosa, debe cumplir con ciertas condiciones físico-químicas y ciertos principios: el principio de la electro-neutralidad, la ley de acción de masas y la constancia del producto iónico del agua. Los electrolitos y otras sustancias, principalmente los ácidos orgánicos, son moléculas que se disocian en agua formando cationes (iones con carga

positiva) y aniones (iones con carga negativa); en los humanos, algunos cationes plasmáticos se disocian completamente y no actúan en reacciones químicas en soluciones acuosas y son llamados iones fuertes, como el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$ . Ciertos ácidos orgánicos, como el lactato y los ceto-ácidos también son considerados iones fuertes. Para poder mantener la composición iónica plasmática normal y así preservar la electro-neutralidad, los riñones producen diferentes concentraciones de iones dependiendo los requerimientos del cuerpo; por tanto, para mantener dicha electro-neutralidad se deberán disociar más (o menos, según sea el caso) moléculas de agua. Las determinantes de la concentraciones de hidrogeniones y el pH son los mismos que para la disociación del agua, y la cuantificación de la disociación del agua se puede hacer a través de la medición de la concentración de hidrogeniones, es decir, el pH.

Figge y colaboradores<sup>8</sup> demostraron que el cálculo tradicional del anion gap no contempla los grandes cambios en la concentración de albúmina sérica que se observan constantemente en los pacientes críticos. Y por tanto, desarrolló una fórmula de Anion Gap corregido:

$$\text{AG}_{\text{CORR}} = \text{AG}_{\text{OBS}} + 2.5[\text{albúmina normal g/dL}] - [\text{albúmina real g/dL}].$$

El bicarbonato por sí mismo, también representa otra variable potencialmente inestable en la ecuación de anion gap, ya que puede estar influenciado por intervenciones terapéuticas como el uso de una infusión de furosemide, hiperventilación de forma intencional en el traumatismo craneoencefálico o la hipercapnia permisiva en el SDRA.

Un pH normal de 7.40 corresponde a una concentración de hidrogeniones de 40 nEq/L, a 37°C. La relación entre el pH y la concentración de hidrogeniones no es lineal, aunque en rangos de pH de 7.35 a 7.45 (correspondiente a concentraciones de hidrogeniones de 45 a 35 nEq/L) sí lo es. El término acidosis, en este caso, se usa para describir el proceso en el que se tiende a producir un aumento de hidrogeniones, aunque exista o no un cambio en el pH sanguíneo. La alcalosis es lo opuesto, esto es, el proceso que tiende a producir una disminución de hidrogeniones con o sin cambios en el pH. La acidemia y la alcalemia son términos que corresponden a situaciones donde el pH cambia.

Las variaciones en las concentraciones de iones plasmáticos, ya sean aniones o cationes, ácidos orgánicos o electrolitos, pueden modificar la proporción relativa de aniones y cationes y predeciblemente llevar a un cambio en la concentraciones de hidrogeniones por medio de cambios y ajustes en la ionización del agua.

### Abordaje Físico-Químico

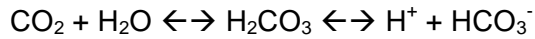
En la década de los 70's Peter Stewart introdujo un abordaje a la fisiología del estado ácido-base y a sus trastornos con influencia de otros investigadores, Van Slyke, Singer y Hastings<sup>9</sup>. El modelo del balance ácido-base fue redefinido como un sistema consistente en una solución acuosa con sólo tres variables independientes que están causalmente relacionadas a los hidrogeniones:

- 1) La presión parcial de dióxido de carbono ( $PCO_2$ ).
- 2) La diferencia de iones fuertes. En la sangre, los cationes sobrepasan en número a los aniones fuertes. La diferencia entre la suma de todos los cationes fuertes y de todos los aniones se llama diferencia de iones fuertes y tiene un efecto fuerte electroquímico en la disociación del agua y por tanto en los hidrogeniones. El sodio y el cloro son los dos iones fuertes más importantes en el plasma.
- 3) El ácido débil no volátil más importante, la albúmina, que tiene un efecto mejor que el fosfato.

Las concentraciones de bicarbonato e hidrogeniones son dependientes de estos tres factores en asociación con las constantes de disociación de los ácidos débiles y el agua.<sup>10</sup> Es estado ácido base normal ocurre cuando las variables independientes antes mencionadas, tienen valores normales. La anormalidad de una o más de estas variables es lo que lleva a un desequilibrio ácido-base. El ajuste de dichas variables independientes es la esencia de las intervenciones terapéuticas ya que ninguna de las variables dependientes (como son el pH, el exceso de base estándar o el bicarbonato) pueden ser cambiadas de forma individual.

En los sistemas biológicos, los ácidos pueden ser definidos como sustancias que aumentan la concentración de hidrogeniones al ser añadidos a una solución acuosa, no importando si dichos hidrogeniones fueron liberados directamente de la molécula ácida o si dicho incremento fue resultado de un efecto electroquímico de cierto soluto en la disociación del agua. Las bases por su parte, son compuestos que disminuyen la concentración de hidrogeniones ya sea aceptando los protones directamente en sus moléculas o por disminuciones de la concentración de hidrogeniones como resultado de un efecto electroquímico de ciertos solutos en la disociación del agua que provocan un aumento en la concentración de  $OH^-$ .

Un búfer ideal es un ácido débil en equilibrio con su correspondiente base débil. El sistema más grande de búfer que existe en el cuerpo es el sistema de bicarbonato/ácido carbónico:



El sistema respiratorio puede modificar por medio de la ventilación alveolar, la tasa de eliminación del dióxido de carbono. Esta respuesta respiratoria inicia en minutos y puede alcanzar su máximo de estabilización hasta en 12 a 24 horas.

En el organismo, el metabolismo normal continuamente produce tanto aniones como cationes en dos formas principalmente. En la primera interviene la producción de  $\text{CO}_2$  durante el metabolismo oxidativo de carbohidratos, grasas y aminoácidos. La segunda vía tiene que ver con los cationes que son producidos por la carga catabólica normal diaria o durante situaciones con catabolismo incompleto de carbohidratos y grasas (acidosis láctica y cetoacidosis), o en casos con procesamiento o excreción inefectiva de ciertos metabolitos. También algunos iones plasmáticos anómalos se pueden derivar de sustancias exógenas, incluyendo cationes como litio y aniones como salicilatos y metanol. Todos ellos tienen un gran potencial para cambiar el pH plasmático y alterar la proporción normal de aniones y cationes.

Basado en los principios antes mencionados de electroneutralidad (la suma de todos los cationes debe ser igual a la de todos los aniones), la ley de conservación de las masas (la cantidad de sustancia en una solución permanece constante a menos que sea añadida, removida, generada o destruida) y de acción de las masas (el equilibrio en la disociación de todas las sustancias disociadas de forma incompleta debe ser alcanzada siempre). La diferencia más radical es que el pH cambia no sólo como resultado de la generación o remoción de hidrogeniones y bicarbonato, sino de otras variables (dióxido de carbono, la cantidad de ácidos débiles y la diferencia de iones fuertes); este abordaje se centra en las propiedades de disociación de las sustancias en agua.

$$\text{SIG} = \text{SID}_a - \text{SID}_e$$

SIG: se define como la diferencia de iones fuertes,  $\text{SID}_a$  como la diferencia aparente y  $\text{SID}_e$  como la diferencia efectiva, expresándose de la siguiente forma<sup>11</sup>:

$$\text{SIG} = ([\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{++} + \text{Ca}^{++}] - ([\text{Cl}^- + \text{lactato}^-]) - 2.46 \times 108 \times \text{PCO}_2/10 \text{ pH} + [\text{albúmina (g/dL)}] \times 0.123 \times \text{pH} - 0.631] + \text{PO}_4^- \text{ (mmol/L)} \times (\text{pH} - 0.469))$$

Se ha observado que la diferencia de iones fuertes es más sensible que el anion gap corregido por albúmina en la predicción de la mortalidad de pacientes críticos.<sup>9</sup>

La aplicación del abordaje de Stewart necesita la extracción de sangre de una gasometría arterial y ciertas variables bioquímicas (sodio, cloro, albúmina, fosforo). Ya que el potasio, el

calcio y el magnesio sólo contribuyen de forma muy leve a la suma total de cationes (Figura 1), se propone una forma simplificada de obtener el cálculo de la diferencia de iones fuertes:

- Calcular el efecto de la diferencia de iones fuertes en el exceso de base:  $SBE_{NaCl} = (Na^+] - [Cl^-]) - 38$ ; donde "38" es el promedio de la diferencia de iones fuertes
- Cálculo del efecto de los aniones totales en el exceso de base:  $SBE_{ALB} = 0.25 \times (42 - \text{albúmina medida en sangre})$ ; donde 42 es la albúmina normal en plasma medida en g/L
- $SBE_{CORR} = SBE_{NaCl} + SBE_{ALB}$
- Exceso de base real:  $SBE - SBE_{CORR}$

Algunas definiciones a conocer por tanto se enlistan a continuación:

- pH:  $\log_{10} H^+$ . Se mide directamente por un electrodo. Sus valores normales van de 7.35 a 7.45.
- $pCO_2$ : es la presión parcial de dióxido de carbono. Se mide también directamente por un electrodo y se expresa en mmHg. Los valores normales van de 35 a 45 mmHg (a nivel del mar y obtenido de una muestra arterial).
- $HCO_3^-$ : concentración de bicarbonato. Es un parámetro calculado, derivado del pH y de la  $pCO_2$  usando un nomograma o la ecuación de Henderson-Hasselbalch, o igual a la diferencia entre el  $CO_2$  sérico total y el disuelto en plasma. Sus valores normales van de 22 a 28 mEq/L.
- Exceso de base (EB o DB): también conocido como exceso o déficit de base. Se define como la cantidad de bases fuertes (exceso de base negativo) o ácidos fuertes (exceso de base positivo) en mmol/L que podrían ser necesarios para llevar al pH a 7.4 de un litro de sangre con una  $pCO_2$  de 40 mmHg. Es calculado por un nomograma o ecuación que es derivada de experimentos in vitro. Excluye los efectos de los cambios de  $PCO_2$  por lo que no se recomienda su uso rutinario en pacientes críticos.
- Exceso de base estándar (SBE): es un cálculo mejorado del exceso de base que permite el equilibrio entre los fluidos extracelulares y toma en cuenta la variabilidad de la  $PCO_2$ .
- $CO_{2TOT}$  o  $CO_2$ : es la concentración total de dióxido de carbono. Sus componentes incluyen el  $HCO_3^-$ , el  $CO_2$  gaseoso disuelto, el ácido carbónico, carbamino  $CO_2$  y el carbonato ( $CO_3^{2-}$ ). Alrededor del 95% permanece como  $HCO_3^-$ , y el 4 a 5% como  $CO_2$  gaseoso.

- Anion gap (AG): es un valor calculado que, tomando la ventaja del principio de electroneutralidad, indica la presencia de los aniones no medibles (en su mayoría ácidos orgánicos). Los valores normales son de 16 mEq/L con variaciones entre 2 a 4 mEq/L.

$$AG = Na^+ + K^+ - (Cl^- + HCO_3^-)$$

- Anion gap corregido ( $AG_{CORR}$ ): es un valor mejorado del cálculo del anion gap que toma en cuenta que el aumento en la cifra de AG de los ácidos orgánicos puede estar enmascarada por una concentración baja de proteínas plasmáticas (hipoalbuminemia)

$$AG_{CORR} = AG \times \text{albúmina ideal (g/dL)} - \text{albúmina real (g/dL)}.$$

Para prevenir la influencia del lactato en la corrección de albúmina, se ha propuesto no sólo corrección por albúmina, sino también corrección por lactato:

$$AG_{CORRLACT} = AG_{CORRALB} - \text{lactato (mmol/L)}.$$



## JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente estudio pretende encontrar las diferencias que pueden existir al momento de llevar a cabo la evaluación del equilibrio ácido-base, de acuerdo a los diferentes abordajes descritos: los llamados tradicionales (bicarbonato, EB y AG), y el más reciente método fisicoquímico. Esto es relevante ya que desde hace algunos años, las gasometrías se han convertido en un estudio que se realiza en la cabecera del paciente en todos los hospitales que atienden población pediátrica en estado crítico, por lo que es importante tener la seguridad de que no se pasan por alto alteraciones en el estado ácido-base, que pudiesen tener relevancia clínica para el paciente en condición de gravedad extrema, ya que se ha informado que hasta el 78% de los pacientes críticos presentan alteraciones ácido-base y dichas alteraciones, cuando presentes, se asocian con una mortalidad global que oscila entre 65% y 89%<sup>12</sup>. Por todo esto, es fácil concluir que el análisis de los gases sanguíneos y de los desequilibrios ácido-base, es uno de los exámenes más frecuentemente utilizados y de mayor trascendencia en el cuidado del paciente crítico, posiblemente más que cualquier otro estudio de laboratorio, por lo que reviste particular importancia el obtener la máxima y más confiable información de esta prueba. Esto se vuelve aún más importante si se reconoce el hecho demostrado de que a pesar de que en la educación del médico el análisis e interpretación de los posibles desequilibrios ácido-base es un tema que se pretende enseñar ampliamente, un porcentaje significativo de estudiantes de pregrado y médicos graduados y en postgrados, fracasan al momento de examinar dichos desequilibrios en una gasometría<sup>13</sup>.

Además, en el contexto de los pacientes en estado crítico, se ha demostrado que la mayoría de los trastornos ácido base son complejos o mixtos, es decir, de componente metabólico y respiratorio, por lo que no siempre son fáciles de abordar ni analizar en detalle con los enfoques clásicos y las reglas del bicarbonato y exceso de base.

Por ello, es importante el realizar un estudio que permita definir si las estrategias tradicionales son o no las mejores para el análisis e interpretación de las alteraciones ácido-base, en comparación con el método fisicoquímico, en particular en el contexto del paciente grave, que a menudo tiene problemas mixtos o complejos. Por ello, se plantea la siguiente:

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Existen diferencias en la interpretación del equilibrio ácido-base de pacientes pediátricos en estado crítico, evaluado a través de las herramientas tradicionales (reglas del bicarbonato, exceso de base y brecha aniónica o “anion gap”) en comparación con el abordaje físico-químico, que incluye en forma directa la influencias de todos los iones fuertes y de los ácidos orgánicos totales?

## **PREGUNTAS ESPECÍFICAS**

1. ¿Existe diferencia en el diagnóstico de los desequilibrios ácido-base simples cuando se utiliza el abordaje tradicional en comparación con el abordaje fisicoquímico?
2. ¿Existe diferencia en el diagnóstico de los desequilibrios ácido-base mixtos o complejos cuando se utiliza el abordaje tradicional, en comparación con el abordaje fisicoquímico?

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar las diferencias existentes en los diagnósticos obtenidos en la interpretación de gasometrías arteriales de acuerdo a la utilización del abordaje clásico y del abordaje físico-químico.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar los diagnósticos de los trastornos ácido-base simples de acuerdo a los métodos tradicionales (reglas de bicarbonato y exceso de base) con los obtenidos por el abordaje físico-químico
- Comparar los diagnósticos de los trastornos ácido-base mixtos de acuerdo a los métodos tradicionales (reglas de bicarbonato y exceso de base) con los obtenidos por el abordaje físico-químico

## HIPÓTESIS

- En el diagnóstico e interpretación de los trastornos ácido-base simples o “puros”, no existe diferencia entre los métodos tradicionales (reglas del bicarbonato, exceso de base estándar y “anion gap”) en comparación con el abordaje fisicoquímico.
- El abordaje físicoquímico para la evaluación del equilibrio ácido base, permite significativamente la detección de un mayor número de desequilibrios complejos o mixtos, que los que se detectan con los métodos tradicionales (reglas del bicarbonato, exceso de base estándar y “anion gap”).

## MÉTODOS

Se trata de un estudio prospectivo observacional que se llevó a cabo en las Unidades de Terapia Intensiva Pediátrica y Quirúrgica del Hospital Infantil de México Federico Gómez, que se llevó a cabo del 1 de junio de 2016 al 31 de agosto de 2016. Puesto que el estudio fue estrictamente observacional y no interfirió en el abordaje ni diagnóstico ni terapéutico de los pacientes, no ameritó consentimiento informado ni discusión ética.

Se ingresaron en forma consecutiva los pacientes admitidos a cualquiera de las áreas del Departamento de Terapia Intensiva, a los cuales se les indicó la obtención de gasometría arterial y/o venosa central al momento de su admisión a Terapia Intensiva, por parte del grupo de médicos tratantes, de acuerdo a los protocolos de diagnóstico y tratamiento de la Institución, y de acuerdo a las mejores prácticas de acuerdo al conocimiento actual. Ninguno de los médicos tratantes participó en el presente estudio.

De cada paciente se recolectaron sus datos demográficos, el diagnóstico principal o de base y el motivo primario de ingreso a Terapia Intensiva. (Cuadro 2)

Cuando se obtuvieron gasometrías arterial y venosa central, el muestreo se realizó en forma simultánea. En ambos casos las muestras se recolectaron a través de jeringas plásticas preheparinizadas con heparinato de litio (de la marca General Electric, Marquest TM. País de origen USA) y se procesaron de inmediato en un Analizador de Gases (Radiometer ABL 800 FLEX, Copenhagen, Dinamarca). Se midieron pH, PaCO<sub>2</sub> y las concentraciones de los siguientes iones: sodio [Na<sup>+</sup>], potasio [K<sup>+</sup>], cloro (Cl<sup>-</sup>) y calcio ionizado [iCa<sup>2+</sup>], todos mediante la técnica de ión selectivo. Adicionalmente, cuando así estuvo indicado por los médicos tratantes, se obtuvo una muestra en tubo seco para la determinación en laboratorio central de magnesio (cuantificado por el método complexométrico de azul de metiltmol), fosfato inorgánico (cuantificado por el método clásico de fosfomolibdato) y albúmina sérica (cuantificada por el método de fijación del colorante púrpura de bromocresol).

El analizador de gases derivó los cálculos de bicarbonato y exceso de base, de acuerdo a las ecuaciones de Henderson-Hasselbach<sup>2</sup> y Van Slyke<sup>8</sup>, respectivamente. El AG se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula<sup>8</sup>:

$$AG = ([Na+] + [K+]) - ([Cl-] + [HCO_3-]); \text{ todos en mEq/L}$$

AG se corrigió para compensar el efecto de las cifras anormales de albúmina (en g/L), de acuerdo a la siguiente fórmula: <sup>8</sup>

$$AG_{CORR} = AG + 0.25 \times (40 - \text{albúmina medida})$$

El análisis fisicoquímico se efectuó con base en el modelo cuantitativo de Stewart<sup>8</sup>, modificado por Figge y cols. para tomar en cuenta el efecto de las proteínas plasmáticas. La diferencia efectiva de iones fuertes ( $SID_{EFF}$ , mEq/L) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$SID_{EFF} = [HCO_3-] + [Alb-] + [Pi-],$$

donde  $[Alb-]$  y  $[Pi-]$  son las cargas negativas (mEq/L) contribuídas por la albúmina y por fosfato, respectivamente, mismas que se calcularon a partir de las mediciones directa de albúmina (en g/L), de fosfato (en mmol/L), y del pH, con las siguientes fórmulas:

$$[Alb-] = \text{albúmina} \times (0.123 \times \text{pH} - 0.631) \text{ y,}$$

$$[Pi-] = \text{fosfato} \times (0.309 \times \text{pH} - 0.469)$$

La diferencia aparente de iones fuertes ( $SID_{APP}$ , mEq/L) se calculó como sigue:

$$SID_{APP} = [Na+] + [K+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - [Cl-]; \text{ todos en mEq/L.}$$

Los iones fuertes no identificados, conocidos como la “brecha” o “gap” de iones fuertes, ( $SIG$ , mEq/L), son iones fuertes diferentes al  $[Cl-]$ , como lactato, cetoácidos, sulfatos, y otros aniones orgánicos. El  $SIG$  se calcula mediante la substracción de  $SID_{EFF}$  de  $SID_{APP}$ :

$$SIG = SID_{APP} - SID_{EFF}$$

Los valores de referencia se consideraron con base en los estándares internacionales publicados en diversos sitios y en los rangos referidos por los fabricantes de los equipos utilizados. Los valores normales de  $PaCO_2$  y el  $HCO_3-$  se ajustaron para la altura de la Ciudad de México.<sup>14</sup>

Los resultados de cada gasometría fueron analizados en cuanto al estado ácido-base de tres maneras: a) con abordaje convencional por medio del uso de  $\text{HCO}_3^-$  y EB; b) las mismas variables y el anion gap corregido por albúmina; y c) el abordaje físico-químico de Stewart con ajuste de Figge. Los criterios diagnósticos de cada abordaje se presentan en la Cuadro 3.

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

Debido a que se trata de un estudio observacional y descriptivo en el que se analizaron una serie de gasometrías, no existen consideraciones éticas en cuanto al manejo de pacientes, ya que se usaron gasometrías indicadas como parte del manejo de los pacientes por su grupo de médicos tratantes, ninguno de los cuales participó en el presente estudio.

## **PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos se analizaron mediante pruebas no paramétricas. Las variables continuas fueron expresadas como medianas (rangos intercuartiles de la 25<sup>a</sup> a las 75<sup>a</sup> percentila) y se compararon a través de la prueba “u” de Mann-Whitney. Las variables categóricas se compararon utilizando la prueba exacta de Fisher o la prueba de chi cuadrada ( $\chi^2$ ), cuando fuese apropiado.

Las pruebas se corrieron en el paquete estadístico SPSS (versión 22.0, Chicago, IL, 2013). Todas las pruebas fueron de dos colas y se consideró significativa una  $p < 0.05$ .

## **DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

**VER CUADRO 4**

## RESULTADOS

Se incluyeron 87 pacientes ingresados a los servicios de terapia intensiva quirúrgica y terapia intensiva pediátrica del Hospital Infantil de México. De los pacientes estudiados, 49 fueron del sexo masculino (56.32%) y 38 del sexo femenino (43.67%); las edades estuvieron entre un mes y los 17 años cumplidos de edad. Si bien cada paciente dispuso de más de una gasometría (fueron 985 gasometrías en estos pacientes, es decir, un promedio de 11.3 gasometrías por paciente), y de todas ellas se presenta el análisis descriptivo (ver adelante, Cuadros 5 y 6, y Figura 2) para fines del análisis estadístico se consideró únicamente una gasometría por cada enfermo, la primera obtenida al ingreso a Terapia Intensiva.

Los resultados de las gasometrías se analizaron por los métodos tradicionales (bicarbonato y exceso de base) y por el método fisicoquímico. Se analizaron los diagnósticos obtenidos por cada uno de los métodos y las diferencias encontradas entre sí (Cuadro 5).

Al tomar en cuenta al total de las 985 gasometrías en 87 pacientes, el abordaje por exceso de base y anion gap permitió la detección de acidosis metabólica en 251 estudios, 120 menos que por el abordaje tradicional por bicarbonato; sin embargo el abordaje por iones fuertes permitió la detección de acidosis metabólica (en diferentes variedades) en 911 gasometrías en total, lo que representó 540 resultados positivos (59.27%) más que por el abordaje tradicional por bicarbonato y 660 más que por el abordaje de exceso de base y anion gap.

Si se analizan únicamente las 87 gasometrías iniciales de los pacientes, el abordaje por bicarbonato detectó 43 con acidosis metabólica, similares a las 36 (25 hiperclorémicas y 11 normoclorémicas) por EB y AG ( $\chi^2 = 26.478$ ,  $p = 0.151$ , NS). Esto fue claramente diferente a lo encontrado por el abordaje fisicoquímico, en el existió alguna variedad de acidosis en 81 de las gasometrías (43 "dilucionales", 29 hiperclorémicas, 9 por aniones no identificados). ( $\chi^2 = 58.58$ ,  $p=0.000$ , significativa, vs bicarbonato y  $\chi^2 = 62.17$ ,  $p = 0.000$ , significativa, vs EB-AG).

En el abordaje fisicoquímico la variedad más común de acidosis fue la asociada a elevación del SIDEFF ( $n=43$ ), seguida de la hiperclorémica ( $n=29$ ) y de la asociada a aniones no identificados ( $n=9$ ). Contrariamente a otros estudios en adultos (REF) la alcalosis asociada a hipoalbuminemia ( $n=3$ ) no fue tan frecuente como factor preponderante, a pesar de que la albúmina tuvo una mediana de 2.9 g/dl (rango 1.3 a 6.7 g/dl), por lo que el efecto alcalinizante



de la albúmina estuvo casi siempre sobrepasado por la acidosis metabólica en este grupo de pacientes graves. El cloro tuvo media de 107.71 y mediana de 107, casi idénticas, con un rango de 81 a 133.

El abordaje por bicarbonato detectó 53 casos de problemas mixtos (60.9%), 33 simples (37.9%) y un caso sin desequilibrios ácido-base (1.1%). El abordaje por EB-AG consideró 29 casos mixtos, 41 simples y 17 casos sin alteración aparente. Esto es esperado en parte, ya que el enfoque del exceso de base y del anion gap es básicamente hacia los problemas metabólicos, por lo que prácticamente no toma en cuenta la parte respiratoria. En el abordaje fisicoquímico se encontraron 70 problemas mixtos (80.5%) y 17 simples (19.5%), es decir, todos tuvieron algún tipo de desequilibrio. La diferencia en la detección de problemas mixtos en el abordaje con bicarbonato vs el fisicoquímico: bicarbonato, 53 (60.9%) vs 70 (80.5%) fue significativa ( $\chi^2 = 63.12$ ,  $p = 0.000$ ).

Las cifras de lactato fueron más dispersas, (curtosis 3.449), con una mediana de 1.6 (media 2.9), con un rango entre 0.3 y 16.0 mmol/L.

Se encontraron otros trastornos durante el análisis de las gasometrías. Se presentó hipoalbuminemia (tomando como valor de corte 3 g/dL) en 565 de los resultados obtenidos (57.36%). Se detectaron 316 casos de hiperlactatemia, de los cuales, 115 presentaron hiperlactatemia grave con más de 5 mmol/L (11.68%); hiponatremia en 418 muestras (42.44%), hipernatremia en 102 muestras (10.36%), hipokalemia en 459 muestras (46.6%), hiperkalemia en 6 (0.61%) e hipocalcemia en 841 (85.38%).

## DISCUSIÓN

Los principales hallazgos de este estudio, son, primero que el abordaje de una gasometría por iones fuertes permitió la detección de componentes de acidosis metabólica hasta en 44% más que el abordaje por las reglas del bicarbonato y hasta 52% más que el abordaje por exceso de base y AG.

Existe controversia sobre cuál es la medición más adecuada del componente metabólico en las alteraciones ácido base para su diagnóstico. Hace algunas décadas surgió el gran debate “trans-Atlántico” sobre si era más confiable utilizar el bicarbonato o el exceso de base para el análisis de un trastorno del equilibrio ácido-base.<sup>14</sup> En el estudio publicado por Dubin y colaboradores, se encontró que dichas determinaciones son intercambiables, cuando se trata de problemas metabólicos, no así en los respiratorios, cuyo componente puede no ser analizado por el enfoque del EB-AG. Más recientemente, Stewart y otros investigadores propusieron la “diferencia de iones fuertes” para caracterizar el estado ácido base. Este método tiene la virtud de facilitar que el clínico entienda mejor la importante participación de diversos electrolitos en el equilibrio ácido-base, particularmente los iones “fuertes” (totalmente disociados en el plasma). Dada la frecuencia de alteraciones electrolíticas y metabólicas en el grupo de pacientes pediátricos críticamente enfermos, este abordaje parece ser de particular relevancia en las terapias intensivas. Es decir, el entendimiento del equilibrio ácido-base debe ir más allá del bicarbonato. Gunnerson y Kellum<sup>15</sup> consideraron que ambos métodos, los tradicionales y el fisicoquímico, podrían dar resultados prácticos similares, ya que aunque se detecten más problemas y alteraciones metabólicas con el enfoque fisicoquímico, lo que deberá aún demostrarse en el futuro, es si esta mayor detección de alteraciones subyacentes, se traduce en la necesidad de un mayor número de intervenciones terapéuticas significativas. El presente estudio exploratorio justifica ampliamente el efectuar un estudio mayor en donde se tomen en cuenta además variables tales como índices de gravedad, de disfunciones orgánicas y mortalidad. Esto se vuelve más importante, ya que en fecha reciente se han descrito nuevos marcadores que podrán simplificar más el abordaje fisicoquímico.<sup>14, 16, 17</sup>

## **CONCLUSIONES**

1. El abordaje de Stewart puede identificar componentes alterados de forma individual, en particular en trastornos ácido base mixtos, que pueden no ser evidentes por los abordajes tradicionales con bicarbonato y exceso de base y anion gap.
2. Debe resolverse aún si esta mayor detección de anomalías en el equilibrio ácido-base, se traducen o no en la necesidad de intervenciones terapéuticas, así como debe también investigarse el posible impacto de estas alteraciones en el estado funcional y pronóstico de vida de los pacientes.

## **LIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

La principal limitación del estudio es que no se toman en cuenta determinaciones ácido-base de forma secuencial y podría ser de utilidad no solamente conocer el diagnóstico del estado ácido-base sino la gravedad del mismo y por tanto la utilidad en el momento de diagnosticar y dar un pronóstico al paciente grave en terapia intensiva.

Cuadro 1: Abordaje clásico del equilibrio ácido base

Desorden primario	Cambios esperados [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (mEq/L o mmol/L)	Cambios esperados PCO <sub>2</sub> (mmHg)	Cambios esperados en el EB (mmol/L)
Acidosis metabólica	<22	= 1.5 x HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) + (8 ± 2) = 40 + SBE	< -5
Alcalosis metabólica	>26	= (0.7 x HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) + 21 ± 2) = 40 + (0.6 x SBE)	> +5
Acidosis respiratoria aguda	= [(PCO <sub>2</sub> - 40)/10] + 24	>45 o Δ pH = 0.008 x (PCO <sub>2</sub> - 40)	= 0
Acidosis respiratoria crónica	= [(PCO <sub>2</sub> - 40)/3] + 24	>45 o Δ pH = 0.003 x (PCO <sub>2</sub> - 40)	= 0.4 x (PCO <sub>2</sub> - 40)
Alcalosis respiratoria aguda	= [(40 - PCO <sub>2</sub> )/5] + 24	<35 o Δ pH = 0.008 x (40 - PCO <sub>2</sub> )	= 0
Alcalosis respiratoria crónica	= [(40 - PCO <sub>2</sub> )/10] + 24	<35 o Δ pH = 0.017 x (40 - PCO <sub>2</sub> )	= 0.4 x (PCO <sub>2</sub> - 40)

Modificado de Carrillo López H, Chávez A, Jarillo Quijada A. Acid-Base Balance and Disorders. En: Pediatric Critical Care. 4ª Edición. Fuhrman, Zimmerman Editores. Editorial Elsevier. 2011. 963 – 997.

Cuadro 2: Variables epidemiológicas y diagnósticos de ingreso a terapia intensiva

<b>Edades</b>	<b>1 mes – 17 años (7.65)</b>
<b>Sexo</b>	<b>Número de pacientes (n= 87)</b>
Masculino	49 (56.3%)
Femenino	38 (43.6%)
<b>Diagnósticos</b>	
Infecciones	25 (28.7%)
Cardiopatías	4 (4.5%)
Oncológicos	9 (10.3%)
Hepatopatías	4 (4.5%)
Estatus epiléptico	4 (4.5%)
Nefropatías	1 (1.1%)
Posoperatorio de cirugía abdominal	6 (6.8%)
Posoperatorio de neurocirugía	9 (10.3%)
Posoperatorio de cirugía cardiovascular	20 (22.9%)
Enfermedades inmunológicas	1 (1.1%)
Posoperatorio de otorrinolaringología	3 (3.4%)
Cetoacidosis	1 (1.1%)

Cuadro 3: Criterios diagnósticos para el abordaje de trastornos del equilibrio ácido-base

<b>Abordaje tradicional (basado en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y EB)</b>
<p>1) Trastornos simples</p> <p>a. Acidosis metabólica: ↓ pH, ↓ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ↓ EB, <math>PCO_2 = HCO_3^- \times 1.5 + 8 \pm 2</math></p> <p>b. Alcalosis metabólica: ↑ pH, ↑ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ↑ EB, <math>\Delta PCO_2 = 0.6 \times \Delta HCO_3^-</math></p> <p>c. Acidosis respiratoria: ↓ pH, ↑ PCO<sub>2</sub>, <math>HCO_3^- = 0.1 \times \Delta PCO_2</math></p> <p>d. Alcalosis respiratoria: ↑ pH, ↓ PCO<sub>2</sub>, <math>HCO_3^- = 0.2 \times \Delta PCO_2</math></p>
<p>2) Trastornos mixtos: respuesta secundaria al proceso primario por fuera de rangos esperados</p>
<b>Abordaje basado en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, EB y anion gap corregido por albúmina</b>
<p>1) Trastornos simples</p> <p>a. Acidosis metabólica: ↓ pH, ↓ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ↓ EB, <math>PCO_2 = HCO_3^- \times 1.5 + 8 \pm 2</math></p> <p>Acidosis metabólica de anion gap elevado: ↑ Anion gap corregido</p> <p>Acidosis metabólica hiperclorémica: ↑ Cl<sup>-</sup></p> <p>b. Alcalosis metabólica: ↑ pH, ↑ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ↑ EB, <math>\Delta PCO_2 = 0.6 \times \Delta HCO_3^-</math></p> <p>c. Acidosis respiratoria: ↓ pH, ↑ PCO<sub>2</sub>, <math>HCO_3^- = 0.1 \times \Delta PCO_2</math></p> <p>d. Alcalosis respiratoria: ↑ pH, ↓ PCO<sub>2</sub>, <math>HCO_3^- = 0.2 \times \Delta PCO_2</math></p>
<p>2) Trastornos mixtos: respuesta secundaria al proceso primario por fuera del rango esperado.</p> <p>Para el caso de la acidosis y alcalosis metabólica: <math>\Delta AG_{CORR} &gt; \Delta HCO_3^-</math></p>
<b>Abordaje de iones fuertes</b>
<p>1) Diferencia de iones fuertes anormal</p> <p>a. Exceso o déficit de agua</p> <p>1. Acidosis dilucional: ↓ SID, ↓ Na<sup>+</sup></p> <p>2. Alcalosis por concentración: ↑ SID, ↑ Na<sup>+</sup></p> <p>b. Exceso o déficit de cloro</p> <p>1. Acidosis hiperclorémica: ↓ SID, ↑ Cl<sup>-</sup></p> <p>2. Alcalosis hipoclorémica: ↑ SID, ↓ Cl<sup>-</sup></p> <p>c. Exceso de aniones no identificado: ↓ SID, ↑ SIG<sub>CORR</sub></p>
<p>2) Ácidos débiles no volátiles:</p> <p>a. Albúmina sérica</p> <p>1. Acidosis hiperalbúminémica: ↑ albúmina</p> <p>2. Alcalosis hipoalbúminémica: ↓ albúmina</p>

Modificada de: Dubin A, Menises M, Masevicius F. Et al. Comparison of three different methods of evaluation of metabolic acid-base disorders. Crit Care Med. 2007; 35(5): 1264 – 1270.

Cuadro 4: Descripción de variables

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Escala de medición</b>
pH	pH	Continua	--
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonato	Continua	mmol/L
EB	Exceso de base	Continua	mmol/L
PCO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	Continua	mmHg
SID	Diferencia de iones fuertes	Continua	mmol/L
Na <sup>+</sup>	Sodio sérico	Continua	mmol/L
K <sup>+</sup>	Potasio sérico	Continua	mmol/L
Cl <sup>-</sup>	Cloro sérico	Continua	mmol/L
Ca <sup>2+</sup>	Calcio ionizado sérico	Continua	mmol/L
SIG <sub>CORR</sub>	Gap de iones fuertes (Strong ion gap)	Continua	mmol/L
SID	Diferencia de iones fuertes	Continua	mmol/L
Albúmina	Albúmina sérica	Continua	g/dL
Lactato	Lactato sérico	Continua	mmol/L
AG	Anion gap (brecha aniónica)	Continua	mmol/L
AG <sub>CORR</sub>	Anion gap corregido (brecha aniónica corregida)	Continua	mmol/L



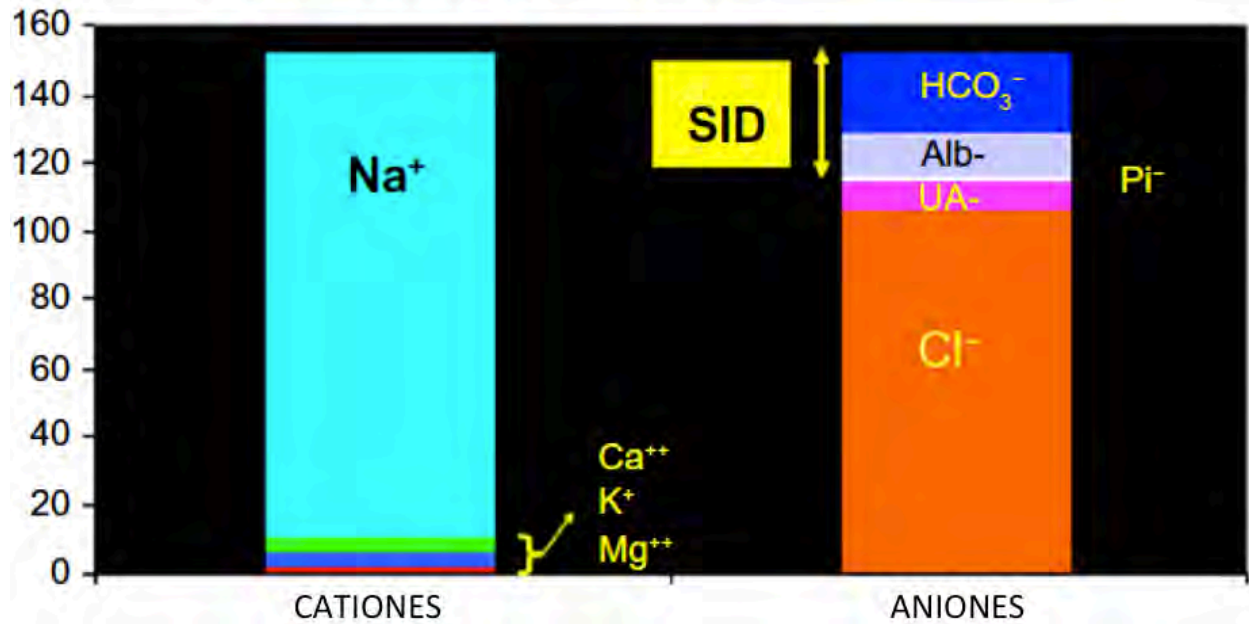
**Cuadro 5: Diagnósticos obtenidos tras análisis de gasometrías**

<b>Abordaje tradicional</b>		<b>Abordaje por EB y AG</b>		<b>Abordaje de iones fuertes</b>	
Acidosis metabólica	371 (37.6%)	Acidosis metabólica hiperclorémica	251 (25.4%)	Acidosis dilucional	406 (41.2%)
		Acidosis metabólica normoclorémica	31 (3.1%)	Acidosis hiperclorémica	398 (40.4%)
				Aniones no identificados	99 (10.0%)
				Acidosis hiperalbuminémica	0
Alcalosis metabólica	190 (19.2%)	Alcalosis metabólica	83 (8.4%)	Alcalosis hipoclorémica	0
				Alcalosis por concentración	8 (0.8%)
				Alcalosis hipoalbuminémica	39 (3.9%)
Acidosis respiratoria	54 (5.4%)	Acidosis respiratoria	43 (4.3%)	Acidosis respiratoria	2 (0.2%)
Alcalosis respiratoria	246 (24.9%)	Alcalosis respiratoria	350 (35.5%)	Alcalosis respiratoria	4 (0.4%)
Trastornos mixtos	487 (49.4%)	Trastornos mixtos	243 (24.6%)	Trastornos mixtos	748 (75.9%)

Cuadro 6: Variables medidas y calculadas del estado ácido base en los pacientes

VARIABLES	PACIENTES (n = 985)	RANGO DE REFERENCIA
pH	7.41 (6.96 – 7.67)	7.35 – 7.45
paCO <sub>2</sub> (mmHg)	34.0 (6.8 – 88.5)	35 – 45
Sodio (mEq/L)	136 (111 – 172)	135 – 145
Potasio (mEq/L)	3.5 (1.6 – 8.4)	3.5 – 5
Calcio (mEq/L)	0.87 (0.2 – 9.86)	2.3 – 2.7
Cloro (mEq/L)	109 (80 – 155)	101 - 107
Albúmina (g/dL)	2.82 (0.99 – 4.6)	3.8 – 4.9
Bicarbonato (mEq/L)	21.94 (3.5 – 48.3)	21 – 27
Anion Gap	9.42 (-24 – 43.1)	<17
Anion gap corregido por albúmina	10.12 (-23.38 – 43.88)	<17
Anion gap corregido por lactato	7.75 (-24.68 – 42.08)	<17
Exceso de base	-2.1 (-28.4 – 15.9)	-2.7 – 2.3
Diferencia de iones fuertes aparente (SID app)	29.85 (-0.02 – 61.79)	35 – 42
Diferencia de iones fuertes efectiva (SID eff)	22.73 (3.98 – 49.64)	35 – 42
Lactato mmol/L	2.4 (0.1 – 16)	<2
Gap de iones fuertes (SIG)	7.12 (-25.73 – 41.98)	<6

Figura 1: Electroneutralidad del plasma

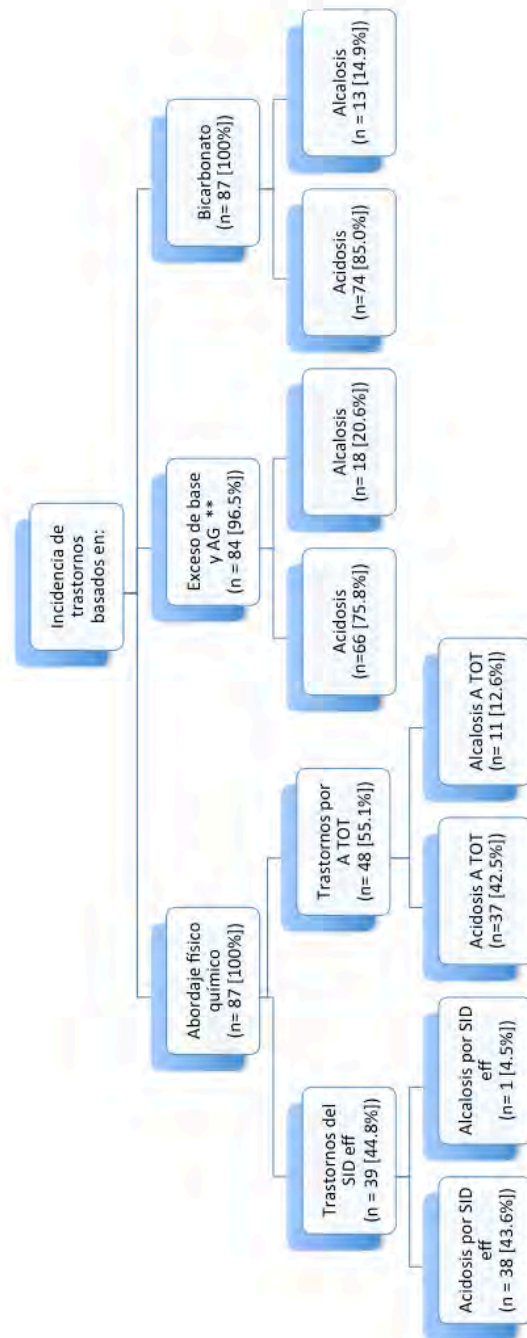


Na+: sodio sérico	Alb- : albúmina sérica
K+: potasio sérico	SID: Diferencia de iones fuertes
Ca <sup>++</sup> : calcio sérico	UA-: aniones no medibles
Mg <sup>++</sup> : magnesio sérico	Pi-: fósforo sérico
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : bicarbonato	

Figura 1. Electroneutralidad del plasma. Abreviaturas: alb: albúmina; UA: aniones no medibles; Pi: fosfatos; SID: diferencia de iones fuertes.

Modificada de Kishen R, Monroe P, Jacobs R, et al. Facing acid-base disorders in the third millennium – the Stewart approach revisited. Int J of Nephrology and Renovascular Dis. 2014; 7: 209 – 217.

Figura 2: Incidencia de trastornos metabólicos ácido-base



\*\* Los tres pacientes que no se presentan incluidos en este gráfico tuvieron como diagnóstico un problema de base respiratorio o bien ninguna alteración del equilibrio ácido base.

SID eff: Diferencia efectiva de iones fuertes; A TOT: Ácidos totales no medibles; AG: Anion gap

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 
- <sup>1</sup> Al-Khadra E. Disorders of the Acid-Base Status. En: Pediatric Nephrology in the ICU. Editorial Springer-Verlag. Kiessling et al. Editores. Alemania, 2009.
- <sup>2</sup> Berend K. Acid-base pathophysiology after 130 years: confusing, irrational and controversial. *J Nephrol.* 2013; 26(2):254 – 265.
- <sup>3</sup> Broughton J, Kennedy T. Interpretation of Arterial Blood Gases by Computer. *Chest.* 1984; 85(2): 148 – 149.
- <sup>4</sup> Carrillo López H, Chávez A, Jarillo Quijada A. Acid-Base Balance and Disorders. En: Pediatric Critical Care. 5ª Edición. Fuhrman, Zimmerman Editores. Editorial Elsevier. 2011. (En prensa).
- <sup>5</sup> Vieda Silva E. Interpretación de gases arteriales y venosos. En: Manejo Integral del Paciente Crítico. Quintero L Editor. 103 – 120.
- <sup>6</sup> Kellum JA. Determinants of plasma acid-base balance. *Crit Care Clin.* 2005; 21(2): 329 – 346.
- <sup>7</sup> Schwartz WB, Relman AS. A critique of the parameters used in evaluation of acid-base disorders. *N Eng J Med.* 1963; 268: 1382 – 1388.
- <sup>8</sup> Figge J, Jabor A, Kazda A, Fenci V. Anion gap and hipoalbuminemia. *Crit Care Med.* 1998; 26: 1807 – 1810.
- <sup>9</sup> Stewart PA. Modern quantitative acid-base chemistry. *Can J Physiol Pharmacol.* 1983; 61: 1444 – 1461.
- <sup>10</sup> Story D. Bench-to-bedside review: a brief history of clinical acid-base. *Critical care.* 2004; 8: 253 – 258.
- <sup>11</sup> Kishen R, Monroe P, Jacobs R, et al. Facing acid-base disorders in the third millennium – the Stewart approach revisited. *Int J of Nephrology and Renovascular Dis.* 2014; 7: 209 – 217.
- <sup>12</sup> Camusano A et al. Desequilibrio ácido base en pacientes en sala de terapia intensiva. *Rev Cub Hosp Mil.* 2001; 30 (supl): 9 – 12.
- <sup>13</sup> Hingson DN, Irwin RS, Pratter MR, et al. A computerized interpretation of arterial pH and blood gas data: Do physicians need it? *Respiratory Care.* 1982; 27: 809 – 815.
- <sup>14</sup> Vázquez García JC, Pérez Padilla R. 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.
- <sup>15</sup> Gunnerson KJ, Kellum JA. Acid-base and electrolyte analysis in critically ill patients: are we ready for the new millennium? *Curr Opin Crit Care.* 9:468 – 473.
- <sup>16</sup> Gunnerson KJ, Kellum JA. Acid-base and electrolyte analysis in critically ill patients: are we ready for the new millennium? *Curr Opin Crit Care.* 9:468 – 473.

---

<sup>17</sup> Balasubramanyan N, Havens PL, Hoffman GM. Unmeasured anions identified by the Fencil-Stewart methods predict mortality better than base excess, anion gap, and lactate in patients in the pediatric intensive care unit. *Crit Care Med.* 1999; 27: 1577 – 1581.