

# Conocimiento histórico del estado ácido-base; importancia para el abordaje clínico

*Historical Knowledge of the Acid-Base State; Importance for the Clinical Approach*

Wilder Villamil-Parra<sup>1</sup>, Luisa Fernanda Moscoso-Loaiza<sup>2</sup>

1. Docente asistente del Departamento del Movimiento Corporal Humano, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.

2. Docente Facultad de Enfermería, Fundación Universitaria Sanitas. Bogotá D.C., Colombia

AUTOR RESPONSABLE:

Wilder Villamil Parra

wavillamilp@unal.edu.co

## Resumen

El estado ácido-base es el resultado de toda reacción química ocurrida en el cuerpo; por lo cual, se puede comprender como el reflejo del comportamiento de todas las soluciones biológicas en el organismo. El actual entendimiento del estado ácido-base, el conocimiento sobre el comportamiento de los mecanismos amortiguadores de  $H^+$  y su incidencia sobre la función sistémica es resultado de una integración histórica con múltiples visiones sobre el tema.

El objetivo de este artículo fue hacer un recorrido histórico sobre los postulados realizados por Brønsted, Lowry, Henderson, Hasselbalch, Stewart, Siggaard-Andersen y otros autores referentes del estado ácido-base, reconociendo su implicación en el actual abordaje clínico. Se llevó a cabo una revisión documental sistematizada de artículos y publicaciones científicas consultadas en las plataformas PubMed, EMBASE y SciELO.

Los conocimientos teóricos alrededor del estado ácido-base se presentan como un sustento fundamental para el establecimiento de un concepto claro sobre los problemas clínicos de los pacientes y para la resolución de hipótesis terapéuticas. El manejo y comprensión de la base conceptual del estado ácido-base se presenta como una oportunidad para aumentar la correlación clínica y la fisiopatológica previo a un manejo terapéutico que pueda incidir sobre la dinámica respiratoria y ventilatoria, el metabolismo y la exigencia propia de estrategias terapéuticas en diferentes condiciones de salud.

**Palabras claves:** equilibrio ácido-base, tampones, toma de decisiones.

## Abstract

The Acid-Base state is the result of all the chemical reactions that occur in the body; therefore, it can be understood as a reflection of the behavior of all biological solutions in the body. The current understanding of the Acid-Base state, the knowledge about the behavior of the buffer mechanisms of  $H^+$  and its incidence on the systemic function is the result of a historical integration with multiple views on the subject.

The objective of this article was to do a historical review of the postulates made by Brønsted, Lowry, Henderson, Hasselbalch, Stewart, Siggaard-Andersen, and other authors' references of the Acid-Base state, recognizing their involvement in the current clinical approach. A systematized documentary review of scientific articles and publications consulted on the PubMed, EMBASE, and SciELO platforms was carried out.

Theoretical knowledge around the Acid-Base state is presented as a fundamental support for the establishment of a clear concept about the clinical problems of patients and for the resolution of ther-

apeutic hypotheses. The management and understanding of the conceptual basis of the Acid-Base state are presented as an opportunity to increase the clinical and pathophysiological correlation prior to therapeutic management that can influence respiratory and ventilatory dynamics, metabolism, and the specific requirement of therapeutic strategies in different health conditions.

**Keywords:** Acid-Base Equilibrium, Buffers, Decision Making.

## Introducción

El estado ácido-base es el resultado de cada reacción química ocurrida en el cuerpo; es el reflejo del comportamiento de todas las soluciones biológicas en el organismo, de la disociación y concentración de  $H^+$  en las soluciones, y las respuestas complejas de múltiples sistemas para el mantenimiento de concentraciones intra y extracelulares de aniones y cationes. Por consiguiente, la naturaleza ácido-base no se debe comprender como condición de equilibrio estático, sino como una dinámica activa entre sustancias cambiantes de pH y amortiguadores bicarbonatos o no bicarbonatos, para el mantenimiento de la electroneutralidad.<sup>1</sup>

De acuerdo con Guyton (1991), todo proceso anabólico y catabólico genera como resultado la liberación de  $H^+$  a soluciones biológicas (ácido), o la reacción de una molécula para la eliminación de ion (base).<sup>2</sup> La mayor o menor capacidad de una molécula en disociarse en una solución determina su comportamiento como ion fuerte o débil, respectivamente; de igual manera, la capacidad de eliminación de  $H^+$  es el determinante para que la base sea fuerte o débil. Estos aspectos y sus dinámicas son los que establecen al pH como indicador de relación de la concentración de  $H^+$  en una solución.<sup>3</sup>

El actual entendimiento del estado ácido-base, el conocimiento sobre el comportamiento de los mecanismos amortiguadores de  $H^+$  y su incidencia sobre la función sistémica es resultado de una integración histórica de conocimientos, con múltiples visiones sobre el tema. El postulado presentado por Naunyn que define «la estabilidad del medio ambiente implica un organismo tan perfecto que puede compensar y contrarrestar continuamente las variaciones externas»<sup>4</sup>; la definición de ácido como una sustancia que libera io-

nes de hidrógeno al momento de entrar en contacto con agua, presentada en 1880 por Arrhenius<sup>5</sup>; la postura que establece que el estado ácido-base es determinado en parte por electrolitos (Na y Cl) de Van Slyke<sup>6</sup> y su premisa sobre la curva de curva de equilibrio de CO<sub>2</sub><sup>7</sup>; fueron eventos que permitieron el desarrollo de posteriores entendimientos que a la fecha se aplican para la comprensión de esta temática.

Históricamente, científicos como Bronsted, Lowry, Henderson, Hasselbalch, Stewart, Siggaard-Andersen han contribuido a la comprensión básica del equilibrio ácido-base. Dentro de los nichos históricos más relevantes se encuentra el postulado de Bronsted/Lowry quienes establecieron de forma individual, pero paradójicamente en el mismo momento, que «las moléculas contienen átomos de hidrógenos que se disocian en soluciones e H<sup>+</sup>; y estas a su vez se presentan como sitios de recombinación con H<sup>+</sup>», lo que activa un ciclo de disociación y recombinación.<sup>8</sup> Este aporte permite comprender que la actividad de H<sup>+</sup> en soluciones químicas puede variar con gran amplitud y que cambios mínimos pueden impactar cuantiosamente sobre las reacciones enzimáticas.

Para la cuantificación del comportamiento ácido o base, Sorensen desarrolló la unidad pH para describir la acidez de una solución. Definió al pH como un logaritmo negativo de concentración de iones de hidrógeno. De esta manera, se origina la afirmación de que un pH bajo corresponde a concentraciones altas de H<sup>+</sup>; por consiguiente el pH alto es referencia de un descenso de H<sup>+</sup> en la solución.<sup>8</sup> Henderson y Hasselbach<sup>9</sup> desarrollaron matemáticamente una ecuación que vincula las variables intervinientes para el nivel de pH, estableciendo una fórmula de disolución regulador o tampón que permite, a partir de la constante de disociación del ácido o de la base y de las concentraciones de equilibrio ácido o base, conocer químicamente las propiedades y pH de una mezcla amortiguadora.

A principios de los años ochenta, Stewart<sup>10</sup>, tomando como base las posturas de Arrhenius y Naunyn, presenta un nuevo enfoque para análisis y estudio de los trastornos ácido-base, basado en: (1) la neutralidad de electrones, (2) la conservación de la masa y (3) la disociación de electrolitos. Este enfoque establece que la PCO<sub>2</sub>, la diferencia de iones, la concentración de ácido débil y la temperatura son los factores influyentes en la disociación de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y, por ende, en el amortiguamiento y estabilidad ácido-básica de un sistema. Consecutivamente, el aporte de Stewart permitió la comprensión del comportamiento de tras-

tornos metabólicos que afectan el pH (alcalosis y acidosis metabólica) y por ende facilitó la comprensión de diversas estrategias terapéuticas para el manejo de líquidos.<sup>10</sup>

Dentro del desarrollo del comportamiento y amortiguamiento del pH, Siggaard-Andersen, basado en los postulados de Van Slyke<sup>11</sup>, estableció que «el exceso de base se puede definir como la cantidad de ácido fuerte que se debe agregar a la muestra de sangre para devolver la muestra a pH 7,40 después del equilibrio mientras se mantiene la presión parcial de dióxido de carbono a 40 mmHg» aspecto que desarrolló y evolucionó hasta definir la base-exceso (BE) como el número de miliequivalentes adicionales de ácido o base que se deben agregar a un litro de sangre para normalizar el pH 37 °C, teniendo en cuenta la PaCO<sub>2</sub> y el nivel de pH; postulado que facilita el entendimiento del componente metabólico y se presenta como una herramienta clínica práctica y confiable para la toma de decisiones terapéuticas.<sup>12</sup>

Si bien los postulados teóricos presentados no cuentan con un consenso global para el entendimiento del estado ácido-base, el desarrollo conceptual ha permitido comprender fisiológicamente el papel de los amortiguadores bicarbonatados y no bicarbonatados y precisa el funcionamiento de los sistemas amortiguadores. De esta forma, la regulación del estado ácido-base es dada por: (1) todos los líquidos corporales contienen múltiples sistemas de taponamiento, los cuales aparecen y se adaptan rápidamente para combinarse con un ácido o una base, lo que previene la alteración descomunal de la concentración de H<sup>+</sup>; (2) la regulación de la PCO<sub>2</sub> es un factor trascendental para el estado ácido-base, de manera que si la concentración de H<sup>+</sup> cambia drásticamente, se inhiben o se estimulan los centros respiratorios para modificar el patrón ventilatorio, el nivel de CO<sub>2</sub> a nivel corporal y, por ende, normalizar la concentración de H<sup>+</sup>; (3) la concentración de H<sup>+</sup> es regulada de igual forma por el sistema renal, lo que modifica su capacidad de absorción, secreción y absorción de electrolitos (aniones y cationes), aumenta la excreción de ácidos por la orina o modifica la producción de ácido neto; esto favorece la armonización de la homeostasis por estabilización de concentración de H<sup>+</sup>.

Las dinámicas antes expresadas son la conclusión de la función mayor o menor de los tapones de bicarbonato y del sistema de tapones de las proteínas. Por lo cual, los desórdenes de acidosis o alcalosis respiratoria y acidosis o alcalosis metabólica siempre serán nivelados al máximo por soluciones biológicas de ta-

ponamiento con compuestos bioquímicos que inciden en el funcionamiento global de sistemas como el respiratorio y el renal.

Mencionado lo anterior, es necesario que el grupo interprofesional tratante de condiciones clínicas conozca los avances científicos históricos sobre el estado ácido-base, los comportamientos fisiológicos desarrollados en el organismo para el equilibrio del pH y los cambios moleculares que se presentan al interior y exterior de la célula para optimizar el funcionamiento corporal. Pese a que el estado ácido-base en el cuerpo humano es uno de los procesos fisiológicos más importantes y, por ende, más complejos y que la terminología en sí misma puede ser un desafío, entonces, es necesario el conocimiento en profundidad de los aspectos directos e indirectos que inciden sobre el pH,  $\text{PCO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , para establecer un diagnóstico óptimo, un tratamiento acorde a la patología y un seguimiento infalible a la evolución clínica.

El manejo y comprensión de la base conceptual de los trastornos ácido-base se presenta como una oportunidad para aumentar la correlación clínica y la fisiopatológica previo a un manejo terapéutico que pueda incidir sobre la dinámica respiratoria y ventilatoria, el metabolismo y la exigencia propia de estrategias terapéuticas en diferentes condiciones de salud. Los conocimientos teóricos alrededor del estado ácido-base se presentan como un sustento fundamental para establecer un concepto claro sobre los problemas clínicos de los pacientes, para la resolución de hipótesis terapéuticas y para la proyección de planes de tratamiento a lo largo del tiempo.

**Conflictos de interés:** los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

## Referencias

1. Henderson LJ. The Theory of Neutrality Regulation in the Animal Organism. *American Journal of Physiology-Legacy Content* 1908; 1;21(4):427–48.
2. Guyton AC. *Textbook of medical physiology*. 8th ed. Saunders. Philadelphia, 1991; pp 1014.
3. Hamilton PK, Morgan NA, Connolly GM, Maxwell AP. Understanding Acid-Base Disorders. *Ulster Med J* 2017;86(3):161–6.
4. Wigley LTM. Theories of Solutions. *Nature* 1912;90(2244):245–245.
5. Severinghaus JW, Astrup PB. History of blood gas analysis. II. pH and acid-base balance measurements. *J Clin Monit* 1985;1(4):259–77.
6. Smogorzewski MJ. Historical perspective on the role of the kidney in acid-base regulation. *J Nephrol* 2009;(22) 14:108–14.
7. Siggaard-Andersen O. The van Slyke equation. *Scand J Clin Lab Invest Suppl* 1977;146:15–20.
8. Gennari FJ. Trastornos acidobásicos y su tratamiento. Ediciones Journal (Buenos Aires) 2010;1:19-24.
9. Slawuta P, Glińska-Suchocka K. Comparison of the utility of the classic model (the Henderson-Hasselbach equation) and the Stewart model (Strong Ion Approach) for the diagnostics of acid-base balance disorders in dogs with right sided heart failure. *Pol J Vet Sci* 2012;15(1):119–24.
10. Fores-Navales B, Diez-Fores P, Aguilera-Celorio LJ. Assessment of acid-base balance. Stewart's approach. *Rev Esp Anestesiología Reanimación* 2016;63(4):212–9.
11. Siggaard-Andersen O, Fogh-Andersen N. Base excess or buffer base (strong ion difference) as measure of a non-respiratory acid-base disturbance. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica Suppl* 1995;107:123–8.
12. Kasagi T, Imai H, Miura N et al. Acid-base disturbances in nephrotic syndrome: analysis using the  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$  method (traditional Boston model) and the physicochemical method (Stewart model). *Clin Exp Nephrol* 2017;21(5):866–76.