

AMORTIGUADORES (BUFFERS)

Mg.Sc. Dra. Bustamante Cabrera Gladys ¹
Cordon Patiño Catherine²

RESUMEN

La capacidad de regulación del medio ácido o alcalino a través de sustancias denominadas amortiguadoras, es una propiedad bien definida del cuerpo humano, mediante la cual, se establecen relaciones de equilibrio entre elementos ácidos y básicos.

Es de esta forma que la homeostasis corporal, logra mantener las funciones vitales, ante cualquier cambio en el pH del medio, produciendo, excretando o reabsorbiendo sustancias, que se organizarán de dentro hacia fuera de la célula y en forma inversa, cuando los cambios sucedan en cualquier lado de la membrana.

De esta manera, las sustancias que se convierten en reguladoras del pH, reciben el nombre de sustancias "buffer" o "tampones fisiológicos", siendo el más importante, el sistema bicarbonato, al cual se unen con menor intensidad el sistema fosfato y la hemoglobina, así como los sistemas regulatorios pulmonares y renales a partir de la concentración de H⁺, de esta forma, la regulación sanguínea, intersticial y proteica, se entrelazan en una acción compleja, controlando y reponiendo el pH de la sangre, ante cualquier modificación que ponga en riesgo su estabilidad.

La necesidad del conocimiento sobre el tema, permite al clínico orientar su

manejo ante circunstancias que condicionan acidosis o alcalosis.

PALABRAS CLAVE

Sustancias buffer. Tampón fisiológico. Bicarbonato. Fosfato. Acido Carbónico. pH

INTRODUCCION

Todo organismo vivo produce en forma constante ácidos orgánicos resultantes de reacciones metabólicas, catabolismo proteico y otras moléculas activas, lo que genera un grado de acidez a los fluidos intra y extracelulares, que puede ser medido por el pH, el cual puede a su vez ser regulado a partir de los llamados " tampones fisiológicos" o sustancias "buffer", así como por la eliminación de ácidos o bases a través de los pulmones o riñones.^{1,2} Los fluidos orgánicos, así como las sustancias que se encuentran disueltas en ellos, pueden tener cambios en el pH, en función al tipo de ingesta alimenticia y las reacciones metabólicas existentes, por lo que la falta de esta regulación, puede llevar a reacciones indeseables en el organismo. De esta manera la respuesta inmediata producida por las sustancias tampón o buffer (fosfato, bicarbonato y hemoglobina), ante variaciones del pH se constituyen en la primera barrera de defensa para la estabilización de dichos cambios.^{1,3,5}

Los amortiguadores están formados por un ácido débil y su base conjugada o una base débil con su ácido conjugado, de manera que en caso de existir exceso de ácidos, sea la base que reacciona ante tal situación y viceversa.^{2,5} Es así que la formación de aniones GAP (8-16 mEq/L) hacen que se mantenga la electroneutralidad de las soluciones, considerándose a este grupo de

¹ Médico Especialista en Medicina Interna. Docente Emérito UMSA. Mg.Sc. Psicopedagogía y Educación Superior. MBL. Dirección de desarrollo Local. Mg.Sc. Gestión, planificación y evaluación de proyectos. Miembro CNB.

² Univ. Tercer Año Facultad de Odontología UMSA

elementos como la diferencia entre aniones plasmáticos que normalmente no se encuentran (catión más abundante) y los aniones medidos más abundantes. El valor esperado debe oscilar entre 10-14 Meq/L, valor que deberá ser corregido ante la presencia de bajos niveles de albumina.⁶

Tomando en cuenta que el plasma sanguíneo y el fluido intersticial e intracelular tienen composición diferente en la concentración de electrolitos, se comprenderá que cada célula del organismo tiene un sistema propio de regulación de estas concentraciones, donde los aniones bicarbonato, fosfato mono y dibásico y proteínas, se constituirán el sistema regulador más importante, estableciendo pH de 7.35 a 7.45 como valor normal.

Es así que los sistemas amortiguadores pueden ser:

- Sanguíneos: donde interviene proteínas como la hemoglobina (Hb), oxihemoglobina (HbO_2), sistema bicarbonato ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$), sistema fosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$).
- Plasmáticos e intersticiales: donde intervienen el sistema bicarbonato ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$).
- Intracelulares: donde intervienen predominantemente el sistema fosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$) y las proteínas (Hb/HbO_2).³

TEORIA DE ARRENIUS

El físico químico Svante August Arrhenius en 1884 planteó en su tesis doctoral que los iones, formados por carga eléctrica positiva, tenían movilidad en el agua, por lo que eran considerados como elementos conductores de electricidad, y que estos iones aumentan

su disociación mientras mayor sea la dilución de la disolución.

Según este científico las bases son sustancias que producen hidroxilo (OH^-) cuando se disocian al disolverse en agua.

Esta teoría ha sido criticada por muchos estudiosos quienes aseguran que el concepto de ácido ha sido limitado a especies químicas que contienen hidrógeno, mientras que el concepto de bases, limitan a todas las especies que contienen hidroxilo, además que su referencia sobre la disociación de estas sustancias, se refiere a aquellas donde hay base acuosa, excluyendo a las reacciones que suceden en lugares donde hay ausencia de agua.⁶⁻⁷

BICARBONATO

El bicarbonato es una sal ácida derivada del ácido carbónico, de sabor ácido y de color blanco amarillento y constituye el principal amortiguador ácido-básico del organismo.

Este elemento químico se origina del metabolismo del ácido carbónico cuando este pierde uno o dos protones y tiene la capacidad de alcalinizar el medio donde se encuentra disuelto.

FOSFATOS

La vía de las pentosas fosfato, es una vía secundaria del metabolismo de la glucosa, con el fin de generar reducción de NADPH^+H^+ , producir pentosas como la ribosas-5-P, para la formación de ácidos nucleicos y la formación de monosacárido fosfato, para la producción de CO_2 .

El HCO_3^- producido al interior de la célula, luego del proceso tampón de la hemoglobina difunde por la membrana del glóbulo rojo e intercambia con iones

cloro (Cl^-) del plasma, mediante el mecanismo denominado “*desplazamiento del cloruro*”

HEMOGLOBINA

Es una proteína globular que se encuentra en gran cantidad en los glóbulos rojos, siendo el transportador de O_2 desde los pulmones hacia todos los tejidos del cuerpo, así como del CO_2 y de H^+ de los tejidos hacia los pulmones.

Su anillo imidazólico, fijado con una histidina proximal, le permite tener el efecto tampón, Es decir que la oxigenación de la Hb aumenta la acidez del medio, al intervenir el H^+ en dicha fijación, mientras que la desoxigenación aumenta su capacidad de base.

El momento en el que el CO_2 llega al eritrocito reacciona con el H_2O , por acción de la anhidrasa carbónica, produciendo (90%) y carbamino Hb (7%). El H_2CO_3 pasa directamente a HCO_3^- , liberando un H^+ , que se une a la desoxi Hb, produciendo desoxi Hb^+ , reteniendo dos hidrogeniones por cada O_2 que pierde. De esta forma la mayor cantidad de CO_2 es transportado, produciéndose un proceso inverso a nivel pulmonar.

MECANISMO DE REGULACION DE LOS AMORTIGUADORES BICARBONATO

Normalmente, el producto del metabolismo de las células, es la producción de protones, que son sustancias ácidas, que de no ser eliminadas, aumentarían la acidez del espacio intersticial y del plasma. Así producidos los ácidos, el primer sistema en intervenir es el del bicarbonato que usa su base conjugada logrando la formación de ácido carbónico, el que circula por el torrente circulatorio,

llegando a los pulmones, donde se descompone por acción de la anhidrasa carbónica, en agua y dióxido de carbono ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), siendo este último eliminado por los pulmones.

Se comprende entonces que el CO_2 formado en los tejidos corporales, es arrastrado por el sistema bicarbonato en forma de ácido carbónico, y que la reacción enzimática en la que interviene la anhidrasa carbónica en el glóbulo rojo, cuenta además con la participación de la hemoglobina en su forma básica y ácida, facilitando la conversión del CO_2 , expelido en la respiración.

Este sistema amortiguador bicarbonato, básico e importante, puede en algún momento, ser superado por la producción de ácidos, y el consumo de toda la fuente de bicarbonato, activando de esta manera la reposición de dicho anión a nivel renal, sistema fisiológico que empieza a extraer del cuerpo el bicarbonato en forma de H_2CO_3 , el que por acción de la misma anhidrasa carbónica, disocia a esta molécula, convirtiéndola en HCO_3^- más hidrogeniones (H^+), esta última sustancia se intercambia por sodio (Na), de forma tal, que por cada molécula de Na filtrada, se elimina un hidrogenión por la orina, acidificando de esta forma, este fluido orgánico, el cual deberá de igual forma que todos los fluidos del cuerpo, mantener un pH óptimo, que en su caso es de aproximadamente 6, el que puede sin embargo, ser modificado en caso de excreciones exageradas o insuficientes de hidrogeniones, lo que producirá cambios en la fisiología renal.

Como se ha visto hasta el momento, la regulación del pH en los sistemas orgánicos es importante, de tal forma que se debe mantener un pH sanguíneo de 7,4 y una proporción de $\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$ de 20:1.²

MECANISMO DE REGULACION DE LOS AMORTIGUADORES FOSFATO

Si bien el pH corporal, permite la vida mientras se encuentre entre 7,00 y 7,80, los procesos relacionados a acidosis se encuentran con un pH menor a 7,35, mientras que la alcalosis se presenta cuando el pH supera los 7,45, con las consiguientes alteraciones respiratorias y metabólicas.

El sistema de amortiguación de los fosfatos, permite de igual forma, pero con menor participación, la regulación del pH sanguíneo, a través de la formación del fosfato monoácido (HPO_4^{2-}) en fosfato diácido (H_2PO_4^-) que será excretado por la orina, el protón eliminado será intercambiado de la misma manera como se explicó anteriormente, por un ión Na^+ .⁸⁻¹⁰

MECANISMO DE ACCION DEL SISTEMA REGULADOR DE LAS PROTEINAS

Las proteínas involucradas en la formación y transporte del ácido carbónico, se orientan principalmente a la hemoglobina, elemento que participa en forma importante en la amortiguación de las sustancias. Es de esta forma, que la desoxihemoglobina se convierte en un regulador de mejor calidad que la oxihemoglobina, en el sentido que la capacidad de captación de oxígeno por los tejidos mejora la capacidad de regulación de la Hb, constituyéndose en la proteína de mejor y mayor capacidad de tampón, en relación a otras proteínas plasmáticas.

La capacidad de amortiguación de las proteínas se debe a la presencia de:

- a) Grupos ionizables de las cadenas laterales de los aminoácidos (AA): aspartato (Asp), glucosa (Glu), lisina (Lys),

arginina (Arg), histamina (His), tirosina (Tyr), cisteína (Cys).

- b) Grupos COOH y NH_2 terminales.

El grupo imidazólico de la histidina será el principal responsable del poder de amortiguación de las proteínas ante cambios del pH, debido a que su pK está cerca a 7. Es así que cuando se encuentra un pH bajo, los grupos ionizables se protonan y su carga es positiva, mientras que si el pH es alto, los grupos se desprotonan y su carga se hace negativa.⁹⁻¹⁰

La hemoglobina al ser una proteína globular, que tiene la capacidad de transportar oxígeno, regula la producción de H^+ , de dos formas:

- a) mediante un efecto amortiguador, combinándose con H^+ , en este caso su capacidad procede de los grupos ionizables, con un pK cercano al pH dentro del eritrocito, pero no puede amortiguar la cantidad total de H^+ que fue generado por el transporte de CO_2 y eso explica la pequeña diferencia del π que existe entre la sangre arterial y venosa.
- b) mediante un mecanismo izohídrico, denominado efecto de Bohr, el que consiste en la disminución de la afinidad de la hemoglobina por el O_2 , cuando el pH disminuye.

BIBLIOGRAFIA

1. Túnez Fiñana I., Galván Cejudo A., Fernández Reyes E. pH y amortiguadores: Tampones fisiológicos. URL disponible en: <http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/06%20pH%20AMORTIGUA%20DORES.pdf> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013

2. Vega Avila E., Konigsberg Fainstein M., La importancia biológica de los sistemas amortiguadores. URL disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/cont actos/anterior/n42ne/sistam.pdf> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013
3. Martin A. M. Soluciones reguladoras de pH. URL disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/SOLUCIONES%20REGULADORAS%20DE%20pH.pdf> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013.
4. Hidrólisis y soluciones buffer. URL disponible en: http://www.qui.utfsm.cl/~qui010/docs/Acidos_y_Bases_III_Hidrolisis_y_Soluciones_Buffer.pdf Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013.
5. Ruiz Márquez M.J., Ortiz García C., Sánchez Luque J.J. Trastornos del equilibrio ácido base.
6. Medicina Interna División Clínica . Hospital General de Agudos Dr. Cosme Argerich. Acidosis metabólica. URL disponible en: http://www.intramed.net/sitios/libro_virtual/pdf/41.pdf Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013
7. Reacciones Acido base. Cap 3. URL disponible en: http://www.geocities.ws/iq_comision1/apuntes/problemas/Cap3_1.pdf Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013
8. Lehninger, Mathews, Stryer, Voet. Tema 22 Ruta de las pentosas fosfato. URL disponible en: http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_Farmacia/R-T22-pentosas-11.pdf Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013
9. Curso de biomoléculas. Universidad del país Vasco. URL disponible en: <http://www.ehu.es/biomoleculas/index.htm> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013
10. Capítulo 8. Los amortiguadores fisiológicos. URL disponible: <http://www.fundabiomed.fcs.uc.edu.v e/cap82.pdf> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013.
11. Brandan N., Aguirre M.V. Cátedra de Bioquímica Hemoglobina 2008: 1-10. URL disponible en: <http://www.med.unne.edu.ar/catedras/bioquimica/pdf/hemoglobina.pdf> Fecha de acceso: 26 de octubre del 2013.