

TEMA 39: EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE. GASOMETRIA ARTERIAL Y VENOSA

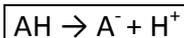
1. INTRODUCCION

El valor central alrededor del cual gira lo que denominamos equilibrio ácido-base es la concentración de iones hidrógenos o hidrogeniones $[H^+]$.

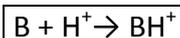
Esta concentración es muy baja y debe mantenerse dentro de unos límites muy estrechos para el normal funcionamiento celular; esto debe ser así porque los H^+ poseen una alta reactividad química. Los hidrogeniones son tan activos que, pequeños cambios en su concentración, pueden alterar procesos fisiológicos y reacciones enzimáticas, ya que estas al ganar o perder H^+ pueden cambiar su configuración molecular y, por tanto, su funcionalidad, con los consiguientes trastornos en el metabolismo celular.

2. DEFINICIÓN DE ÁCIDO Y BASE

* **Ácido:** toda sustancia capaz de ceder H^+



* **Base:** toda sustancia capaz de aceptar H^+



Los ácidos y bases pueden caracterizarse en función de su disociación como ácidos y bases fuertes o débiles. En el caso de los fuertes la disociación es casi total y en el caso de los débiles la disociación es parcial.

En el caso de un ácido débil la reacción que tendrá lugar estará desplazada hacia la izquierda cuanto más débil sea el ácido, y por lo tanto menos se disocie.

Un ácido fuerte posee poca afinidad por H^+ y por lo tanto se disocia fácilmente.

Una base fuerte posee elevada afinidad por H^+ , mientras que una base débil posee escasa afinidad.

3. CONCEPTO DE pH

Se define pH como el logaritmo decimal del inverso de la $[H^+]$.

$$pH = \log 1/[H^+] \text{ o } pH = -\log [H^+]$$

De esta forma la neutralidad viene indicada por un valor de $pH = 7$.

Las soluciones acidas tienen una elevada concentración de H^+ por lo que su pH será menor a 7. Por el contrario, las soluciones básicas tienen una baja concentración de H^+ y su pH será mayor a 7.

La concentración de iones H^+ libres en sangre se mantiene normalmente constante, lo cual da un valor de pH sanguíneo comprendido entre **7,35 y 7,45** (los valores compatibles con la vida estarían entre 6,8 y 7,7).

El organismo produce continuamente ácidos no volátiles y CO_2 como consecuencia del metabolismo, estas moléculas generadoras de H^+ modificarán la concentración de estos iones y el valor del pH.

Es necesario que el organismo mantenga el pH dentro del estrecho margen debido a que modificaciones del pH provocan una alteración del funcionamiento enzimático, de la incorporación y regulación celular de metabolitos y de minerales, de la conformación de los componentes estructurales biológicos y de la liberación y captación de oxígeno.

El **equilibrio ácido-base** estudia los mecanismos que mantienen los valores de los iones hidrógeno de los líquidos corporales dentro de los límites normales.

Las células son muy sensibles al pH del medio extracelular. Un descenso por debajo de 6,8 o un ascenso por encima de 7,7 pueden resultar letales.

4. DISOLUCIONES REGULADORAS, AMORTIGUADORAS O TAMPÓN

Los valores de pH en el organismo deben mantenerse en márgenes muy estrechos. Para conseguirlo, el cuerpo humano dispone de varios sistemas, siendo el eje central de los mismos las disoluciones reguladoras, amortiguadoras o tampón.

Se define una disolución tampón la que es capaz de disminuir o "amortiguar" las variaciones de pH en el medio en el que se encuentra.

Estas disoluciones pueden estar formadas por ácidos o bases.

Al añadir a estas disoluciones ácidos y/o bases se produce un cambio mínimo en el pH.

Uno de los tampones más importantes que existe en el organismo es el Tampón Carbónico/Bicarbonato:



Este tampón es el más importante del plasma debido a:

- Su elevada concentración
- El H_2CO_3 puede ser disociado en CO_2 y H_2O , y el CO_2 eliminado por el sistema respiratorio, o aumentar como resultado del mecanismo amortiguador.
- El HCO_3^- puede ser eliminado o conservado por el sistema renal.

Por tanto los riñones y pulmones aumentan la eficacia de este tampón, al suministrar o eliminar H_2CO_3 y HCO_3^- a medida que se necesita.

Los amortiguadores o tampones constituyen la primera línea de defensa en la regulación del pH.

5. EQUILIBRIO ACIDO-BASE

La principal función del sistema cardiorrespiratorio, es suministrar a cada célula del organismo un flujo de sangre en cantidad y calidad apropiadas para que se puedan vivir en condiciones ideales. Esto se logra proporcionando materiales esenciales y retirando los productos nocivos, uno de los principales es el CO_2 , que es transportado por la sangre venosa y eliminado su exceso a través de los pulmones.

Así, los dos órganos capaces de eliminar ácidos que en exceso son nocivos para el organismo, son el pulmón, que elimina ácidos volátiles (CO_2), y el riñón que se encarga de eliminar ácidos no volátiles.

El pH se puede definir como el resultado de la relación existente en un líquido entre las concentraciones de ácidos y de bases.

Podemos representar una fracción en el que el numerador se represente las bases (HCO_3), y en el denominador se representen los ácidos (CO_2). El resultado de esta división sería el pH sanguíneo.

$$\text{HCO}_3 / \text{CO}_2 = \text{pH} = 7.35-7.45.$$

Luego, el organismo tenderá a conservar este equilibrio, eliminando la cantidad necesaria de ácidos o bases para que el resultado de esta relación sea normal y constante.

Si resumimos más esto podemos cambiar los numeradores y denominadores de la anterior ecuación por los principales órganos encargados de su eliminación:

$$\text{RIÑÓN} / \text{PULMÓN} = \text{pH} = 7,35-7,45$$

Esta ecuación resume la regulación fisiológica del pH, el numerador es controlado por el riñón, mientras que el denominador es controlado por el aparato respiratorio.

Si el pH aumenta por encima de 7.45 se dice que es un pH alcalino y el enfermo presenta una alcalosis. Si por el contrario disminuye por debajo de 7.35 se dice que es un pH ácido y el paciente presenta una acidosis.

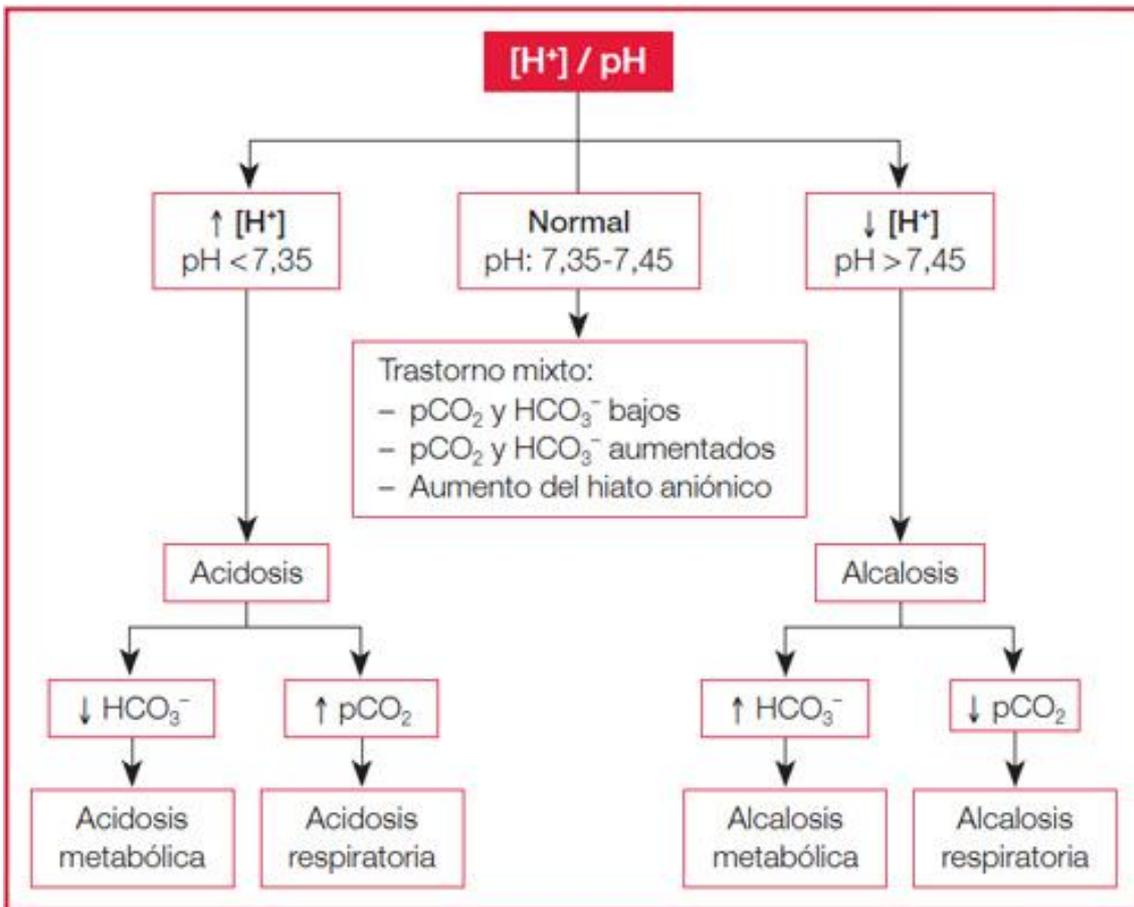
Si la alteración es debida al numerador se la denomina acidosis o alcalosis metabólica, y cuando estos cambios sean causa del denominador la llamaremos acidosis o alcalosis respiratoria.

Se pueden clasificar las alteraciones ácido-básicas en:

1. Disminución de bicarbonato: **acidosis metabólica**
2. Aumento de bicarbonato: **alcalosis metabólica**

3. Disminución de anhídrido carbónico: **alcalosis respiratoria**

4. Aumento de anhídrido carbónico: **acidosis respiratoria**



5.1. Acidosis metabólica

Es una situación que se define por un aumento de la concentración de H⁺ con el consiguiente descenso del pH, con una disminución de bicarbonato.

Cuando el numerador disminuye, por un descenso del nivel de HCO₃⁻, el pH disminuirá también, y nos encontramos en una situación de acidosis (pH < 7.35).

$$\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2 = \text{pH} < 7.35$$

El organismo tiende a volver el pH a un valor normal para lo que intenta disminuir el denominador, aumentando el nivel de ventilación (hiperventilando) y así descender el CO₂, llevando la ecuación de nuevo a un equilibrio, situación llamada acidosis metabólica compensada.

También para compensarlo se produce un aumento de la reabsorción renal de bicarbonato.

Las alteraciones en la analítica son:

- pH < 7.35.
- HCO₃ < 22 mEq/l.
- PaCO₂ < 35 mmHg (si hay compensación).

Son posibles causas:

- Pérdida de bicarbonato por diarrea.
- Producción excesiva de ácidos orgánicos por enfermedades hepáticas, alteraciones endocrinas, shock o intoxicación por fármacos.
- Excreción inadecuada de ácidos por enfermedad renal.
- Aumento de ácido láctico
- Cetonuria

Los signos más frecuentes son respiración rápida y profunda, aliento con olor a frutas, cansancio, cefalea, abotargamiento, náuseas, vómitos y coma en su más grave expresión.

Para el tratamiento debemos administrar bicarbonato, la pauta de administración dependerá si la acidosis metabólica es aguda o crónica.

5.2. Acidosis respiratoria

Cuando el denominador aumenta se producirá un descenso en el resultado de la división, disminuyendo el pH.

Como se debe esta variación a una modificación del CO₂ se denomina acidosis respiratoria.

$$\text{HCO}_3 / \text{CO}_2 = \text{pH} < 7.35$$

Para restaurar el equilibrio el organismo trata de aumentar las bases, eliminando el riñón una orina ácida y recuperando bicarbonato, situación denominada acidosis respiratoria compensada. También se produce una hiperventilación, disminuyendo el CO₂.

En la analítica encontramos:

- pH < 7.35.
- HCO₃ > 26 mEq/l (si hay compensación).
- PaCO₂ > 45 mmHg.

Lo puede producir:

- Depresión del SNC por fármacos, lesión o enfermedad.
- Asfixia
- Hipoventilación por enfermedad pulmonar, cardiaca, musculoesquelética o neuromuscular.

Podemos encontrar en el paciente diaforesis, cefaleas, taquicardia, confusión, intranquilidad y nerviosismo.

5.3. Alcalosis metabólica

Si es el numerador el que aumenta se producirá un aumento del pH, o sea una alcalosis, y al ser producida por un aumento de las bases o HCO_3 se llamará metabólica.

$$\text{HCO}_3 / \text{CO}_2 = \text{pH} > 7.45$$

El organismo para compensar producirá una hipoventilación para aumentar el nivel de CO_2 , llevando el pH a un valor normal. También el riñón disminuye la reabsorción de bicarbonato, por tanto la orina será alcalina.

Las alteraciones analíticas son:

- pH > 7.45.
- $\text{HCO}_3 > 26 \text{ mEq/l}$.
- $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$ (si hay compensación).

Puede producirse por:

- Pérdida de ácidos por vómitos prolongados o por aspiración gástrica.
- Pérdida de potasio por aumento de la excreción renal (como es al administrar diuréticos).
- Ingestión excesiva de bases.
- Tratamientos prolongados con corticoides
- Diabetes descompensada
- Poliuria

El paciente puede presentar los siguientes síntomas: respiración lenta y superficial, hipertonía muscular, inquietud, fasciculaciones, confusión, irritabilidad, e incluso en casos graves, coma.

5.4. Alcalosis respiratoria

Si ahora es el denominador el que sufre una disminución cayendo el CO_2 por una hiperventilación se eleva el pH produciéndose una alcalosis, que al estar producida por el CO_2 se denomina respiratoria.

$$\text{HCO}_3 / \text{CO}_2 = \text{pH} > 7.45$$

Para equilibrar de nuevo la ecuación el organismo disminuye el número de bases eliminando el riñón una orina alcalina, encontrándonos entonces con una alcalosis respiratoria compensada.

En la analítica aparece:

- pH > 7.45.
- $\text{HCO}_3^- < 22 \text{ mEq/l}$ (si hay compensación).
- $\text{PaCO}_2 < 35 \text{ mmHg}$.

Puede estar producido por:

- Hiperventilación por dolor, ansiedad o mala regulación del ventilador.
- Estimulación respiratoria por fármacos, enfermedad, hipoxia, fiebre o ambiente caluroso.
- Bacteriemia por Gram negativos.

El paciente presentará respiraciones rápidas y profundas, parestesias, ansiedad y fasciculaciones.

6. GASOMETRÍA ARTERIAL Y VENOSA

El término gasometría significa medición de gases en un fluido cualquiera. Se puede realizar una gasometría en cualquiera líquido biológico, pero donde mayor rentabilidad diagnóstica tiene es en la sangre, pudiéndose realizar en sangre venosa y en sangre arterial.

La gasometría sirve para evaluar el estado del equilibrio ácido-base (se utiliza preferentemente la sangre venosa) y para conocer la situación de la función respiratoria (sangre arterial).

La gasometría se realiza mediante un analizador de gases, que mide directamente los siguientes parámetros:

- pH, se expresa en unidades absolutas
- Presión parcial de CO_2 (PCO_2), se expresa en mmHg
- Presión parcial de O_2 (PO_2), se expresa en mmHg
- Bicarbonato sódico (HCO_3^-), que se expresa en mEq/l
- Saturación de oxígeno (SO_2).

Los valores normales de estos parámetros varían entre sangre venosa, arterial y capilar (en caso de niños).

GASOMETRÍA			
	Arterial	Capilar	Venoso
PH	7,35-7,45	7,35-7,45	7,32-7,42
pCO ₂	35-45	35-45	38-52
pO ₂	70-100	60-80	24-48
HCO ₃	19-25	19-25	19-25
TCO ₂	19-29	19-29	23-33
O ₂ Saturación (%)	90-95	90-95	40-70

6.1. OBTENCION DE LA MUESTRA

La obtención de una muestra de sangre para una gasometría se ha de realizar en condiciones de máxima asepsia, como en cualquier otra prueba invasiva.

La sangre venosa periférica se puede obtener de cualquier vena de las extremidades.

La sangre arterial se puede obtener de cualquier arteria, siendo las más comúnmente utilizadas la radial, femoral y humeral; pero la más fácil, menos dolorosa y agresiva y menos peligrosa es la radial.

La punción arterial es dolorosa y tiene riesgos de hemorragia y trombosis. Por tanto, es una técnica que se tiene que utilizar solamente en casos perfectamente indicados y que sean absolutamente imprescindibles.

Si elegimos la arteria radial, antes de iniciar la punción debemos realizar el test de Allen, para asegurarnos que la arteria funciona perfectamente y no corre peligro la vascularización de la zona. El test de Allen asegura la perfusión de sangre hacia la mano por parte de las arterias radial y cubital. Si se rompe la arteria en la punción o se forma un trombo y no funciona la otra arteria, quedara comprometida la vascularización de la mano.



Tras localizar el área de pulso, se toma una muestra de sangre de la arteria

ADAM

La muestra se recoge en jeringas con anticoagulante, siendo la heparina sódica la que se usa normalmente. Debe evitarse la entrada de aire en la jeringa, por ello una vez extraída la muestra debe permanecer hermética, para lo cual puede taponarse la jeringa.

Una vez realizada la extracción la jeringa debe colocarse inmediatamente en hielo y debe ser analizada lo antes posible, no debiendo transcurrir más de 10-15 minutos desde la toma al análisis. Si no existe posibilidad de realizar el análisis, ese tiempo la muestra debe permanecer en frío. La razón es que la sangre aun en la jeringa, continua consumiendo oxígeno y produciendo CO₂, lo que se traduce en una

disminución de pO_2 y aumento de pCO_2 . Estos cambios se producen más lentamente cuando las muestras están en frío, ya que se frena el metabolismo de los hematíes.

Antes del análisis la muestra debe homogeneizarse mezclándola suavemente. Y si se han formado burbujas de aire en la jeringa, cubrir el cono de esta con una gasa y expulsar las burbujas lo más rápidamente posible cerrando la jeringa con el tapón y agitarla de nuevo para disolver la heparina.

6.2. PRINCIPALES PARÁMETROS DE UNA GASOMETRIA

A. pH

Mide la resultante global de la situación del equilibrio ácido-base.

Por su relación con la PCO_2 este se considera que tiene un componente respiratorio, y por su relación con la concentración de bicarbonato se considera que tiene un componente metabólico, pudiendo distinguirse entre desequilibrios respiratorios y metabólicos.

En sí mismo, no es un parámetro de valoración de la función respiratoria.

B. Niveles de pCO_2

Mide la presión parcial de dióxido de carbono en sangre, es decir, la cantidad de CO_2 disuelto en sangre.

Se trata de un parámetro de gran importancia diagnóstica, pues tiene estrecha relación con una parte de la respiración: la ventilación (relación directa con la eliminación de CO_2). Así, cuando existe una PCO_2 baja significa que existe una hiperventilación o hipocapnia, y al contrario, cuando existe una PCO_2 elevada significa una hipoventilación o hipercapnia.

Las causas comunes de una hipocapnia son:

- Tratamiento ventilatorio excesivo.
- Hiperventilación psicogénica.
- Compensatoria de la acidosis metabólica.
- Secundaria a una afección nervioso central.
- Secundaria a hipoxia.

Las causas comunes de una hipercapnia son:

- Enfermedad pulmonar.

- Depresión del sistema nervioso central, primaria o secundaria a sedación o analgésicos.
- Tratamiento ventilatorio, utilizando como estrategia la hipercapnia permisiva o una ventilación alveolar demasiado baja.

C. Niveles de pO₂

Mide la presión parcial de oxígeno en sangre, es decir, el oxígeno disuelto en sangre.

Es un parámetro de gran utilidad, ya que evalúa la otra parte de la respiración: la oxigenación (captación de oxígeno del aire atmosférico). Una PO₂ baja significa que existe hipoxemia y una PO₂ elevada, una hiperoxia.

Los valores de la PO₂ en ancianos son menores que en un adulto, pero mayores que en los recién nacidos.

D. Niveles de bicarbonato

Mide la situación del componente básico del equilibrio ácido-base, o sea es la concentración de bicarbonato en el plasma de la muestra.

El bicarbonato real no se obtiene de forma directa, se calcula introduciendo los valores de PH y PCO₂ en la ecuación de Henderson-Hasselbalch:

$$pH = 6,1 + \log \left(\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \right)$$

Un nivel alto de bicarbonato podría ser debido a alcalosis metabólica o a una respuesta compensatoria en la acidosis respiratoria. Los niveles bajos se observan en acidosis metabólica y como mecanismo compensatorio en las alcalosis respiratorias.

E. Saturación de oxígeno

Es la relación entre la cantidad de oxígeno combinado con la hemoglobina presente en el medio y la cantidad máxima de oxígeno que podría estar combinado con la hemoglobina de dicho medio.

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + HHb}$$

HbO₂ → oxihemoglobina

HHb → desoxihemoglobina

De esta definición se deduce que la saturación de oxígeno nos indica la cantidad de oxígeno que está siendo transportado por el plasma.

6.3. OTROS PARÁMETROS EN UNA GASOMETRIA

***Lactato.** Un suministro inadecuado de oxígeno a la mayoría de las células del cuerpo provoca la producción de cantidades excesivas de lactato, por lo que este sirve como marcador del desequilibrio crítico entre la demanda de oxígeno tisular y el suministro de oxígeno.

***Fracción de carboxihemoglobina.** El monóxido de carbono se une reversiblemente al ión ferroso del grupo hemo, pero la afinidad de la hemoglobina por el monóxido de carbono es de 200 a 250 veces mayor que la que tiene por el oxígeno. La carboxihemoglobina es incapaz de transportar oxígeno y además aumenta la afinidad por el oxígeno del resto de los lugares de unión, esto hace que disminuya la capacidad de transporte de oxígeno y que la cesión de oxígeno periférico sea menor.

***Medida del exceso de base.** El exceso de base se utiliza para evaluar el componente metabólico del trastorno ácido-base. El término exceso de base es utilizado para describir situaciones clínicas en las que existe un exceso de bicarbonato o déficit de bicarbonato.

Se calcula a través de una fórmula con los parámetros de pH, $p\text{CO}_2$ y hemoglobina.