

## TEMA 1.- EQUILIBRIO ÁCIDO BASE

### CONCEPTOS BÁSICOS DE ÁCIDO / BASE

Las definiciones de ácido y base son un concepto redundante en los exámenes de oposición de TEL. No obstante, no existe una única definición exclusiva como se puede ver en la tabla de abajo. La primera definición fue la de Arrhenius con el principio del desarrollo de la Química, en la que definía un ácido y una base en función de capacidad para ceder protones ( $H^+$ ) o iones hidroxilo ( $OH^-$ ) al agua. Esta teoría fue matizada por Bronsted-Lowry considerándolos como una pareja de elementos con la capacidad de ceder o aceptar protones ( $H^+$ ) respectivamente. Por último, la teoría más ampliamente aceptada hoy en día es la de Lewis en la que se amplía el concepto a la aceptación o cesión de electrones. Ambas teorías te recomiendo que las repases y aprendas. Están muy resumidas en la tabla de abajo.

TEORÍA	Arrhenius (teoría iones en agua)	Brönsted-Lowry (teoría protónica)	Lewis (teoría electrónica)
Definición de ácido	Da iones $H^+$ en agua.	Dador de protones.	Aceptor par de electrones.
Definición de base	Da iones $OH^-$ en agua.	Aceptor de protones.	Dador par de electrones.
Reacciones ácido-base	Formación de agua	Transferencia protónica.	Formación de enlace covalente coordinado.
Ecuación	$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$	$HA + B \rightleftharpoons A^- + BH^+$	$A + :B \rightleftharpoons A:B$
Limitaciones	Aplicable únicamente a disoluciones acuosas	Aplicable únicamente a reacciones de transferencia protónica	Teoría general

### EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

Los ácidos son productos que pueden ser ingeridos directamente en la dieta, o producidos endógenamente por el metabolismo (oxidación de lípidos, oxidación de aminoácidos, etc.). Los ácidos volátiles como el  $H_2CO_3$ , pueden ser eliminados por el pulmón en forma de  $CO_2$ , pero

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



los ácidos no volátiles, no pueden ser eliminados por el pulmón, y deben excretarse a través de la orina.

El organismo, necesita por lo tanto, de mecanismos capaces de mantener constante el pH de los líquidos intra y extra celulares (de 7.35 a 7.45), sin que se altere por la presencia de esos ácidos.

Esto se consigue con la presencia de tampones (ácidos débiles en solución con su base conjugada, capaces de mantener el pH en pequeños márgenes de variación).

El principal tampón extracelular es el bicarbonato, seguido de la hemoglobina, las proteínas plasmáticas y el fosfato, todos ellos actúan de forma instantánea en la reducción del pH pero el equilibrio ácido - base final, lo realizan las células tubulares renales.

## CONCEPTO DE ÁCIDOSIS Y ALCALOSIS EN EL ORGANISMO HUMANO.

Se define acidosis y alcalosis de la siguiente manera:

Acidosis: aumento de la concentración de hidrogeniones (pH sangre arterial <7,35)

Alcalosis: disminución de la concentración de hidrogeniones (pH sangre arterial >7,45)

Cómo has podido comprobar el margen de pH en el organismo es muy estrecho por lo que está en continuo equilibrio. Este equilibrio es mantenido por los órganos pulmón y riñón ayudados por los diferentes sistemas tampones.

## ACIDOSIS

Se produce cuando existe disminución del pH sanguíneo. Puede estar originado por:

- Acúmulo de CO<sub>2</sub> en el organismo “acidosis respiratoria”. Como consecuencia de una hipoventilación. Los riñones intentan compensarlo.
- Acúmulo de ácidos fijos, como el CO<sub>2</sub> total y tampón, es una “acidosis metabólica”. En este caso, la frecuencia respiratoria se aumenta para intentar compensarlo. Aparece en casos de shock, uremia, ingestión de tóxicos, etc.

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



## ALCALOSIS

Ocurre cuando el pH sanguíneo es superior a 7.45.

- Alcalosis respiratoria. Ocurre secundariamente a una hiperventilación, como consecuencia del aumento de la concentración de la pCO<sub>2</sub> en sangre. Los riñones intentan compensarla, disminuyendo la secreción de ácidos fijos, o la reabsorción del CO<sub>3</sub>H-
- Alcalosis metabólica. Aparece cuando existen perdidas de ácidos fijos o ganancia de bases. Se puede deber a vómitos prolongados, aspiración nasogástrica, o ingestión excesiva de antiácidos, aunque también aparece asociado al síndrome de Cushing, o el hiperaldosteronismo. Se intenta compensar disminuyendo la frecuencia respiratoria.

## pH SANGUÍNEO

Podemos definir el pH como el logaritmo negativo de la concentración de protones. Sus valores normales se ven afectados por la presencia de sustancias ácidas o básicas en sangre y es de suma importancia mantenerlo dentro de unos márgenes concretos para evitar importantes modificaciones de todos los procesos metabólicos, de ahí la importancia de los tampones.

## MÉTODOS ANALÍTICOS DE MEDIDA DEL pH

Para determinar el pH se utiliza sangre total o plasma, siendo adecuada para ello tanto la sangre arterial, como la venosa, o la capilar. Normalmente el pH venoso es 0.0003 unidades menor que el arterial. Cuando intentamos medir el pH en el laboratorio, es muy importante tener en cuenta:

- Almacenar las muestras en frío, pues a temperatura ambiente se agilizan los procesos metabólicos como la glucólisis que producen ácidos y disminuyen los valores del pH.
- Añadir a las muestras fluoruro sódico para evitar la actividad glucolítica de los leucocitos.

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



- Es preferible añadir plasma, pues la actividad anhidrasa carbónica de los eritrocitos, también modifica el pH.
- No utilizar oxalatos como anticoagulantes, pues aumentan el pH, ni tampoco citrato o EDTA, pues lo disminuyen, es preferible heparina.

## MÉTODOS ELECTROMÉTRICOS

Para medir el pH se usa un sistema de electrodo de vidrio, el cual presenta dos partes:

- El electrodo de referencia o de calomelanos.
- El electrodo de vidrio.

El electrodo de referencia, mantiene un potencial constante, y el de vidrio desarrolla un potencial proporcional a la concentración del ión hidrógeno en la solución problema. La sangre total o el plasma problema, se colocan a un lado de la membrana de cristal, y al otro se coloca una solución estándar con concentración de hidrogeniones conocida.

La técnica se basa en medir el potencial creado a través de la membrana que separa ambas concentraciones con concentración de hidrogeniones desigual.

## MÉTODOS DE TITULACIÓN

Son poco utilizados. Para evaluar el equilibrio ácido-base, hay que cuantificar no solo el pH, sino:

- La pCO<sub>2</sub>.
- La pCO<sub>2</sub> total.
- El exceso de base.

Todo esto nos dará información para evaluar el equilibrio ácido-base e identificar las causas de las posibles alteraciones.

## BASES FISIOLÓGICAS BÁSICAS

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



La función básica del pulmón es la de intercambiar gases. La medición de ellos en sangre arterial, es por lo tanto una buena guía para conocer el estado del funcionamiento pulmonar.

En cada inspiración, el oxígeno atmosférico llega a los alvéolos pulmonares, desde allí, por difusión, llega a la sangre. Para transportar el oxígeno, se utiliza la hemoglobina, presente de forma abundante en los eritrocitos. Su existencia permite transportar de 30 a 100 veces más oxígeno del que se pudiera transportar disuelto en sangre.

Como la presión parcial del oxígeno en los alvéolos, es mayor que en el resto del pulmón, por gradiente de presión, el oxígeno pasa desde los alvéolos a los capilares sanguíneos. Las arterias, transportan el oxígeno hasta las células donde la  $pO_2$  es menor que en la sangre arterial, produciéndose difusión en sentido a favor de las células.

Con el dióxido de carbono, ocurre justamente el proceso contrario, los gradientes de presión, lo van llevando desde las células hasta el alvéolo, donde es expulsado en cada espiración.

Los procesos metabólicos, por su parte producen grandes cantidades de ácidos y de dióxido de carbono; los volátiles son eliminados por el pulmón, pero los no volátiles son transportados por la sangre hasta el lugar de su eliminación, y dada su naturaleza, son capaces de alterar el equilibrio ácido-base y el pH sanguíneo.

La gasometría arterial permite medir el intercambio de  $O_2$  y de  $CO_2$  entre el pulmón y la sangre, y también el estado del equilibrio ácido-base del organismo.

La medición del pH,  $pO_2$ , y  $pCO_2$  en sangre arterial es imprescindible en el diagnóstico y control de la insuficiencia respiratoria.

## TRANSPORTE DE GASES POR LA SANGRE.

### TRANSPORTE DE OXÍGENO

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



El 97% del oxígeno presente en sangre se transporta en combinación con la hemoglobina, solo el 3% del oxígeno sanguíneo se transporta en el plasma y en el citoplasma del eritrocito.

La curva de disociación de la oxihemoglobina en sangre presenta forma sigmoidal. Si la curva es modificada hacia la derecha, la hemoglobina pierde afinidad por el oxígeno y necesita una mayor pO<sub>2</sub> para llegar a saturarse.

Son factores que modifican la curva hacia la derecha:

- El aumento de la temperatura.
- El aumento de la pCO<sub>2</sub>.
- La disminución del pH.
- La altura.

Si la curva se modifica hacia la izquierda, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno está aumentada y se llega a la saturación con una menor pO<sub>2</sub>.

La cantidad de oxígeno unido a la Hb, no solo depende de la pO<sub>2</sub>, sino de otros muchos factores entre los que destacan, la pCO<sub>2</sub>, el pH, los fosfatos, y la altura.

## TRANSPORTE DE CO<sub>2</sub>

La sangre transporta dióxido de carbono en las siguientes formas:

- 70 % en forma de anión bicarbonato.
- 7 % disuelto en plasma.
- 23 % en forma de carbamilo-hemoglobina unido a proteínas plasmáticas.

## RECOGIDA DEL ESPÉCIMEN

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



Existen varios tipos de recipientes recomendados para la recogida de sangre arterial. Uno de los preferidos es la jeringa de vidrio, que debe ajustar perfectamente con su émbolo. Se introduce en la jeringa aproximadamente 1 ml de heparina, con la que se lubrifica el recipiente y posteriormente es expulsada.

De esta forma queda el espacio muerto lleno de heparina. La aguja a utilizar puede ser del calibre 23 o superior, la jeringa de vidrio presenta los inconvenientes de su alto coste inicial, la facilidad de rotura y la necesidad de esterilización.

Otros recipientes de recogida, cada vez más utilizados son las jeringas de plástico desechables, y los tubos de vacío. Las jeringas de plástico desechable presentan sobre las de cristal las ventajas, de no ser frágiles, no necesitar esterilización, son baratas y presentan perfecto ajuste émbolo-cuerpo de la jeringa.

En cuanto a los tubos de vacío existen distintas opiniones, para muchos autores (la mayoría) pueden producir alteraciones en la presión parcial de los gases como consecuencia de la succión que ejercen. Otros autores los definen como recipientes satisfactorios.

La sangre venosa, más fácil de obtener, puede dar valores correctos de pH aunque los dará incorrectos para la pCO<sub>2</sub> alveolar y la saturación de oxígeno arterial.

La sangre capilar arterializada, como la obtenida del dedo se puede emplear para determinar pH y pCO<sub>2</sub>, pero no para la pO<sub>2</sub>.

## MANIPULACIÓN

Una vez, extraída la sangre, la jeringa es el recipiente definitivo. Para cerrarla herméticamente, se suele pinchar en un corcho. No se debe doblar la aguja, ya que presenta un riesgo innecesario y no se asegura el cierre hermético, (se le deben eliminar las burbujas de aire, previamente).

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



Debe ser colocada rápidamente en un recipiente con hielo o en agua helada, para evitar el consumo de oxígeno y la liberación de dióxido de carbono. No debe nunca transportarse a temperatura ambiente.

La muestra de sangre arterial no necesita ninguna manipulación, el estudio de gases se realiza en sangre completa, solo hay que realizar el análisis en los primeros 15 minutos, pues una mayor conservación podría modificar los gases disueltos.

La determinación es muy delicada y puede ser influida por:

- El número de leucocitos.
- La temperatura.
- El manejo inadecuado.
- El tiempo.

## VALORES CRÍTICOS OXÍGENO

La cantidad de oxígeno presente en sangre, al igual que la de CO<sub>2</sub>, suele expresarse en unidades de presión parcial. La pO<sub>2</sub> mide la cantidad de oxígeno que pasa del pulmón a la sangre y hay varios factores que pueden afectarla como:

- La correcta circulación sanguínea.
- La capacidad pulmonar.
- El estado del aparato respiratorio.

Los valores de referencia de pO<sub>2</sub>, están influenciados, por lo tanto por todos estos factores, pero en general:

- Para jóvenes adultos 80 mm Hg. es el límite inferior.
- Para individuos de edad avanzada 70 mm de Hg. es el límite inferior.

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



Anoxia es el término general para la oxigenación insuficiente, hipoxemia es la oxigenación deficiente de la sangre y anoxemia u anoxihemias es la disminución del oxígeno en sangre.

Cualquier grado de hipoxemia puede ser compensado temporalmente por el organismo, pero la privación total de oxígeno lleva a la muerte en pocos minutos al no poseer el organismo reserva alguna. Se han descrito casos de supervivencia con  $pO_2$  de solo 7.5 mm de Hg.

## DIÓXIDO DE CARBONO: $CO_2$

El  $CO_2$  es transportado desde los tejidos hasta los pulmones, donde es expulsado a través de la respiración. Con la  $pCO_2$  se refleja la eficacia de la excreción pulmonar y la cantidad de  $CO_2$  generado por el metabolismo. Los valores normales de  $pCO_2$  en sangre arterial son de 32 a 45 mm de Hg.

## HIPOCAPNIA

Es la disminución de  $CO_2$  en sangre por debajo de los valores normales, puede ser consecuencia de:

- Fallo en el hígado.
- Shock séptico y hemorrágico.
- Lesión craneal.
- Septicemia.

## HIPERCAPNIA

Es el aumento de  $CO_2$  en sangre por encima de los valores normales, puede ser consecuencia de:

- Asma.
- Enfisema.
- Bronquitis crónica.

# TEMA 1. EQUILIBRIO ÁCIDO BASE



La relación entre los gases presentes en el pulmón por ventilación y los que existen en sangre se representa por V/Q y recibe el nombre de cociente de ventilación-perfusión.

La pO<sub>2</sub> arterial disminuye, a la vez que la pCO<sub>2</sub> aumenta, en los siguientes casos:

- Hipoventilación.
- Desigualdad V/Q.
- Defectos de difusión.

## ESTUDIO ANALÍTICO

Para medir la pCO<sub>2</sub> se emplea el electrodo de Severinghaus. Se trata de un electrodo de pH rodeado de una solución electrolítica que está separada de la sangre por una membrana permeable al CO<sub>2</sub>. El material que compone la membrana suele ser caucho, teflón o silicona. El pH de la solución depende de la pCO<sub>2</sub> en equilibrio con la sangre.

Para determinar la pO<sub>2</sub> se emplea el método del electrodo polarigráfico de Clark para el oxígeno.

Consiste en una solución electrolítica de CLK que sumerge ánodo y cátodo, separada de la sangre por una membrana.

En este sistema se aplica un voltaje de polarización constante al ánodo de plata cloruro de plata, y al cátodo, de alambre de platino. El oxígeno se reduce en el electrodo y su reducción, modifica el potencial eléctrico, en forma proporcional a la velocidad de reducción. Esta última, claro está, varía en función de la tensión de oxígeno presente en la sangre.

Los electrodos del pO<sub>2</sub> y del pCO<sub>2</sub>, deben ser calibrados previamente con un gas o un líquido de presión parcial de oxígeno conocida.

## INTERPRETACIÓN

La gasometría arterial puede indicar ciertas anomalías, pero no su grado de anormalidad, ni tampoco son suficientes para un diagnóstico etiológico específico. Por ejemplo, puede presentar los mismos valores de gases en sangre una persona con obstrucción crónica de las vías respiratorias que un cardíaco con edema pulmonar, un asmático que un paciente con neumonía.