

# **ESTADO ACIDO-BASE, GASES ARTERIALES**

## **INTRODUCCION**

La gasometría arterial se ha convertido en uno de los exámenes de mayor importancia en el área médica, su objetivo se centra en evaluar y determinar la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono presentes en la sangre; además permite determinar la acidez (pH) que se contenga en la sangre. Este examen se practica con mayoritariamente en pacientes cuya saturación de oxígeno se encuentre por debajo del 92%, cuando haya sensación de falta de aire, cuando el paciente, viene presentando un cuadro de somnolencia y también quienes posean factores de riesgo que amenacen su integridad.

Este procedimiento es crucial en el chequeo de un paciente, se debe hacer una limpieza con alcohol, y se localiza la arteria, se introduce una aguja normal y realiza una extracción de sangre desde la arteria, por lo regular se acude a la arteria radial, que se encuentra en la muñeca, pero existen otras alternativas como la arteria braquial, o la arteria femoral, en estas locaciones, la sangre sale de manera mucho más abundante, a diferencia de otros análisis de laboratorio; dado que la sangre arterial es sangre oxigenada, que transporta el oxígeno desde el corazón y los pulmones a otras partes del cuerpo, mientras que la sangre venosa regresa al corazón y los pulmones para complementar el oxígeno, es comprensible que existan diferencias muy importantes entre los dos. La cantidad de oxígeno y dióxido de carbono entre los dos tipos de sangre. La cantidad de oxígeno que nos interesa es la cantidad de oxígeno en la sangre arterial para ver si hay suficiente suministro de oxígeno a todo el cuerpo. En efecto, la correcta y oportuna aplicación de este examen, ayudan a preservar la vida de una persona.

La interpretación de los resultados, puede medirse bajo los siguientes datos estandarizados, El pH debe estar entre 7,35 y 7,45. Se considera la presencia de acidosis, cuando el resultado se encuentra por debajo de 7,35. Así mismo se dice que hay presencia de alcalosis cuando los valores sobrepasan de 7,45. Dichos diagnósticos se encuentran presentes en diferentes patologías, de aquí radica la importancia del examen. La gasometría arterial es considerada como el “estándar de oro” para hallar anomalías en el intercambio gaseoso, y del equilibrio ácido-base, se emplea tanto en pacientes críticamente enfermos, como en pacientes estables con enfermedades respiratorias graves, siendo en este último grupo, una herramienta especial, para definir, la necesidad de prescribir la utilización de oxígeno suplementario o ventilación no invasiva en el caso que se presente insuficiencia respiratoria crónica.

El objeto del presente documento es profundizar expositivamente en los tópicos relacionados a los gases arteriales, en donde se determinarán: factores que influyen en los resultados, realización del procedimiento, efectos adversos, categorización de diversas patologías que son determinadas gracias a la aplicación del examen, variantes, valores medibles, elementos dentro del proceso de análisis, entre otros. Con ello se facilitará la comprensión del tema, se sintetizará la extensión teórica

Y se brindarán pautas prácticas para una correcta ejecución del procedimiento.

## GASES ARTERIALES

La gasometría arterial es una técnica de medición respiratoria que permite conocer el estado ácido base, el estado de oxigenación y del dióxido de carbono en la sangre arterial o venosa de un individuo. Es una medida eficaz en la evaluación de la funcionalidad respiratoria que proporciona mediciones directas de iones de hidrógeno (pH), Presión parcial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>), presión parcial del dióxido de carbono (PaCO<sub>2</sub>), y saturación arterial de oxígeno (SaO<sub>2</sub>). Asimismo, es especialmente útil para para continuar la evolución del paciente y analizar la necesidad de prescribir oxígeno suplementario o ventilación no invasiva en caso de insuficiencia respiratoria crónica.

### Indicaciones

La GA está indicada para diagnosticar alteraciones del equilibrio ácido-base, es de utilidad para valorar el intercambio gaseoso pulmonar y sirve en la evaluación a pacientes con enfermedades respiratorias crónicas o pacientes críticamente enfermos. Es empleada en la valoración, seguimiento y evolución de pacientes que han sido intervenidos por distintos trastornos ácido-base tanto respiratorio como metabólico.

- Medir la ventilación alveolar (PaCO<sub>2</sub>), el equilibrio ácido base (PaCO<sub>2</sub> y pH), la oxigenación (PaO<sub>2</sub> y saturación de O<sub>2</sub>), y la función hemodinámica.
- Efectuar el seguimiento de la evolución y gravedad de la enfermedad pulmonar.

En algunos casos se solicita de manera urgente la toma de GA.

<b>Toma Urgente de GA</b>	<b>Control</b>
Neumonía con signos de Insuficiencia Respiratoria	Necesidad de medir la oxigenación o el estado ventilatorio
EPOC reagudizado	Cuantificación de la respuesta a la oxigenoterapia
Paro Cardiorrespiratorio	Sospecha de alteración del equilibrio ácido-base

Coma de cualquier origen	Preoperatorio de resección pulmonar
Insuficiencia cardiaca congestiva con signos de Insuficiencia Respiratoria	Monitorización de la gravedad y progresión de las enfermedades respiratorias
Trombo embolismo pulmonar	Cortocircuito intrapulmonar y capacidad de transporte de oxígeno.
Descompensación diabética	
Intoxicaciones agudas.	
Shock de cualquier etiología	

Tabla 1. Indicaciones de la gasometría toma urgente y control.

Tomado y adaptado de Dr. D. José Albaladejo Méndez. Volviendo a lo básico. Fundación para la formación e investigación universitaria de la región de Murcia. Versión electrónica. Cartagena 2012

### Contraindicaciones

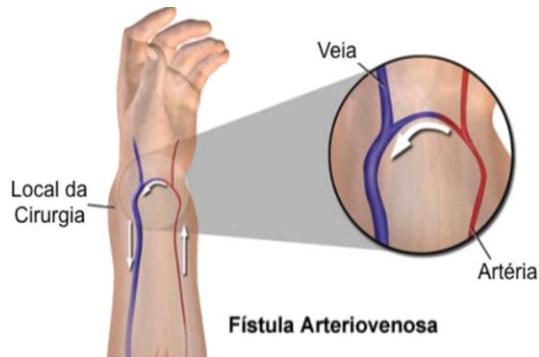
A la hora de tomar la muestra, si la punción se va a realizar en la arteria radial es necesario previamente hacer el Test de Allen para valorar la circulación colateral, en caso de ser positivo, estará contraindicada la punción en esta arteria, El Test de Allen consiste en comprimir ambas arterias (ulnar y radial) a nivel de la muñeca a medida que el paciente abre y cierra su puño en repetidas ocasiones, seguidamente, se le pide que deje su mano extendida y relajada y procedemos a liberar la arteria cubital, se contabilizan los segundos que tarda la mano en recuperar su coloración habitual (rosado), el procedimiento se repite liberando la arteria radial, cuando la mano recupera su color más rápido, se considera que hay dominancia de la arteria evaluada. El tiempo adecuado de relleno sanguíneo será de 7 segundos.



Imagen 1 indicaciones de la prueba de Allen.

Tomado y adaptado de Medina C. Test de Allen [Internet]. 2018 [citado 13 agosto 2021].

- Evidencia de proceso infeccioso o lesión en el sitio de punción.
- Coagulopatía o tratamiento con dosis medias-altas de anticoagulante.
- Evidencia de enfermedad vascular periférica de la extremidad seleccionada.
- Presencia de fístula arteriovenosa.



### Técnica

Elegir la zona de punción (radial, femoral o braquial), utilizar el equipo de seguridad necesario antes y después de la prueba (guantes desechables, cubre bocas y gafas), de preferirse la arteria radial para la toma de la muestra, el paciente estará en sedente con la muñeca en hiperextensión, podrá colocar una toalla o soporte para tener mayor comodidad y se hará la prueba de Allen. Al comprobar que es apto, se localiza el sitio exacto de punción palpando con los dedos, se ubica una parte proximal y una parte distal de la arteria y justo en medio se realiza la punción directa, se forma un ángulo de 45° entre la aguja y la piel de manera que entre en sentido contrario al flujo de la sangre, o por medio de un catéter arterial.

Idealmente debe obtenerse un flujo de sangre pulsátil, en las jeringas especiales para gasometría el émbolo no se encuentra en la parte más inferior sino que deja un espacio de unos milímetros de aire, en este caso la sangre arterial llenará dicho espacio de manera automática, en las agujas de insulina heparinizadas la sangre debería ser capaz de elevar el émbolo de forma pasiva obteniéndose entre 1 y 2 ml la cantidad de la muestra necesaria dependerá del equipo que se utilice para analizar la sangre (6) después de haber obtenido la muestra se retira la aguja rápidamente y presionar el sitio para evitar la formación de hematoma.

## PARÁMETROS (OXIGENACIÓN, VENTILACIÓN, DIFUSIÓN, PERFUSIÓN)

### PH y concentración de H<sup>+</sup> en los líquidos corporales

Líquido extracelular	Concentración de H <sup>+</sup> mEq/L	pH
Sangre arterial	4,0 x 10 <sup>-5</sup>	7,40
Sangre venosa	4,5 X 10 <sup>-5</sup>	7,35
Líquido intersticial	4,5 X 10 <sup>-5</sup>	7,35
Líquido intracelular	1 X 10 <sup>-3</sup> a 4 X 10 <sup>-5</sup>	6,0 a 7,4
Orina	1 X 10 <sup>-2</sup> a 1 X 10 <sup>-5</sup>	6,0 a 8,0
HCL gástrico	160	0.8

**Oxigenación:** El oxígeno es un elemento de gran importancia para el desarrollo de diversas funciones a nivel celular, ya que otorga energía; la deficiencia en el proceso de oxigenación, causa que los tejidos se abastezcan de energía proveniente de otras fuentes metabólicas, siendo este el causante de daños en diversos sistemas del cuerpo humano. La evaluación del presente parámetro permite conocer con certeza el procedimiento a emplear, bien sea oxígeno suplementario, intubación orotraqueal, o ventilación mecánica no invasiva, según sea el caso del paciente.

El método para evaluar la oxigenación en los gases arteriales consiste en medir la presión arterial de oxígeno, (PaO<sub>2</sub>) y anexo a ello la saturación de oxígeno, que bien puede ser la resultante en una pulsioximetría. Se considera que el porcentaje adecuado de oxígeno en sangre es de entre el 95% y el 100%, por debajo de este valor 80% se considera hipoxemia y se caracteriza por la falta de aire. En medio del proceso han sido asignados algunos rangos para determinar la normalidad o anormalidad en este tipo de evaluaciones, y sugiriendo algunas etiologías, dichos índices son: PaFI (PaO<sub>2</sub>/ FIO<sub>2</sub>) y la D(A-a)O<sub>2</sub> (diferencia alveolo-arterial de oxígeno) Es importante mencionar que los valores presentados anteriormente, son a nivel del mar, por lo que en locaciones geográficas altas, esto puede variar, y el resultado verse afectado.

A continuación, se definirán algunos conceptos técnicos con el fin de poseer entera claridad, para de tal manera proceder a realizar una correcta evaluación.

### **Saturación de Oxígeno (SO<sub>2</sub>)**

Corresponde al porcentaje de oxígeno, que puede hallarse en una muestra de sangre, los valores adecuados para definir una condición normal, en la presión alveolar de oxígeno son 94 a 97% sobre el nivel del mar, dicho valor disminuye de manera lineal hasta cierto punto, dado el caso que el paciente presente un resultado del 75% de saturación, la PaO<sub>2</sub> se encuentra cerca de 40mmHg, ello depende por supuesto de diversas situaciones como el estado hemodinámico del paciente, patologías como hipotermia o vasoconstricción pueden influir en el resultado; la oximetría utiliza sistemas de infrarrojo para la ejecución, colocándose en los dedos de la mano, pie o el lóbulo de una de las orejas del paciente.

Este primer momento es un factor clave en el desarrollo de la evaluación, no debe nunca tener en baja estima el resultado de saturación de oxígeno, ya que ello nos permite un primer acercamiento a una respuesta acertada, es nuestra

responsabilidad de nosotros como profesionales, emplear de manera correcta los procedimientos a los pacientes que nos han asignados.

<b>NIVELES DE SATURACIÓN DE O<sub>2</sub></b>	
<b>95% - 100%</b>	Normal
<b>91% - 94%</b>	Hipoxemia Leve
<b>86% - 90%</b>	Hipoxemia Moderada
<b>&lt; O = 85%</b>	Hipoxemia Severa

### **Presión arterial de oxígeno (PaO<sub>2</sub>)**

En los gases arteriales es utilizada la medición de la presión arterial de oxígeno, como un método de análisis directo en la sangre, este equivale al 5% del oxígeno contenido en la misma, cuando el nivel se encuentra inferior a 60 mmHg u 80 a niveldel mar, ello indica que el paciente requiere asistencia para mejorar el nivel de saturación de oxígeno en la sangre; cuando se evidencie una alteración en elprocedimiento debe clasificarse en normoxia, hipoxia, hiperoxia o hipoxemia, según sea el caso.

<b>Relación Entre La Saturación de O<sub>2</sub> y PaO<sub>2</sub></b>	
<b>SaO<sub>2</sub></b>	<b>PaO<sub>2</sub> en mmHg</b>
100%	677
98,4%	100
95%	80
90%	59
80%	48
73%	40
60%	30
50%	26
40%	23
35%	21

30%	18
-----	----

### Diferencia Alveolo – Arterial O<sub>2</sub>

Si bien sabemos que es importante una correcta interpretación de análisis, para poder concluir de manera acertada, el primer factor a tener en cuenta en el proceso es la altura de la ciudad en la que nos encontremos, por ejemplo, Bogotá es una ciudad que se encuentra a una altura de 2630 metros sobre el nivel del mar, mientras que Cali cuenta solo cuenta con 1018, ello quiere decir que los resultados deben ser

$$D(A-a) = O_2 = PAO_2 - PaO_2 \text{ VN5 } -10\text{mmHg a nivel del mar}$$

Seguindo los ejercicios anteriores usamos los datos en la ecuación anterior:

$$D(A-a) O_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$D(A-a) O_2 = 70,2 - 60$$

$$D(A-a) O_2 = 10,2\text{mmHg}$$

En Bogotá, el gradiente es menor de 3,14 sin embargo en la práctica clínica es común los valores hasta 10mmhg y aumentan con la edad (en el adulto mayor es de 38mmHg)

evaluados siguiendo estos criterios, pues los resultados que, en un lugar, pueden parecer malos, en otro puede que no lo sea. me permito citar a Pinilla (2020) en su libro, donde expone el siguiente ejemplo:

Ejemplo tomado de Bases fisiológicas para la interpretación de gases

Como se puede observar en el ejemplo planteado, los resultados evidenciados en la ciudad de Bogotá, son distintos y deben interpretarse de manera cuidadosa, según bases fisiológicas.

Las principales diferencias que pueden considerarse, aquí son:

-La poca solubilidad del oxígeno, que retrasa la difusión de este a través de la membrana.

-Hiperventilación que causa aumento en el PAO<sub>2</sub>.

-Incremento de la FIO<sub>2</sub>

### Cociente o Índice a/A de O<sub>2</sub> = PaO<sub>2</sub>/PAO<sub>2</sub>

Este se representa mediante la siguiente fórmula:

$$a/A PO_2 = 1 - (A - a PO_2) / PAO_2$$

$$\text{PaO}_2 / \text{PAO}_2$$

$$60/72 = 0,83$$

Fórmula tomada de Bases fisiológicas para la interpretación de gases

La PAO<sub>2</sub> puede evidenciarse en el numerador y denominador de la ecuación, por lo tanto, se elimina la presencia de la FIO<sub>2</sub> sobre la PAO<sub>2</sub>, los rangos de valor normal van de 0,74 a 0,77 cuando de aire ambiental se trata y de 0,80 a 0,82 al respirar FIO<sub>2</sub> 1,0 (11)

### **Contenido Capilar de Oxígeno**

Hace referencia al flujo de sangre que incrementa la concentración de oxígeno una vez que este pasa por los capilares pulmonares funcionales, por ello para la representación en la fórmula se utiliza la saturación alveolar de oxígeno (SAO<sub>2</sub>) y la presión alveolar de oxígeno (PAO<sub>2</sub>). A continuación, la fórmula.

$$\text{Cc}'\text{O}_2 = (1,34 * \text{Hb} * \text{SAO}_2) + (0,003 * \text{PAO}_2) \text{ VN } 20 - 25 \text{ vol } \%$$

$$\text{Cc}'\text{O}_2 = (1,34 * 15 * 0,99) + (0,003 * 70,2)$$

$$\text{Cc}'\text{O}_2 = (19,9) + (0,2)$$

$$\text{Cc}'\text{O}_2 = 20,1 \text{ vol } \%$$

Fórmula tomada de Bases fisiológicas para la interpretación de gases

### **Contenido Arterial de Oxígeno**

Hace referencia al flujo sanguíneo que ha atravesado la unidad alveolo-capilar endonde recibe oxígeno y libera CO<sub>2</sub>, luego se mezcla con sangre que viene de unidades alveolares disfuncionales, en este proceso se generan cortocircuitos intrapulmonares ehipoxemia. Ejemplo

$$\text{CaO}_2 = (1,34 * \text{Hb} * \text{SaO}_2) + (0,003 * \text{PaO}_2) \text{ VN } 18 - 20 \text{ vol } \%$$

$$\text{CaO}_2 = (1,34 * 15 * 0,95) + (0,003 * 60)$$

$$\text{CaO}_2 = (19,0) + (0,2)$$

$$\text{CaO}_2 = 19,2 \text{ vol } \%$$

Fórmula tomada de Bases fisiológicas para la interpretación de gases

En el ejemplo puede evidenciarse el uso de SaO<sub>2</sub> 95%, pero para realizar los calculas se aplica en forma decimal, por otro lado, la PaO<sub>2</sub> en su rango normal 60mmHg; del mismo modo se ejecuta en los cálculos venosos. El CaO<sub>2</sub> juega un papel fundamental ya que compone la fórmula de disponibilidad o aporte de oxígeno a los tejidos, y ello depende del gasto cardiaco, además de la

hemoglobina y oxígeno unido a esta, de igual forma depende del oxígeno que se ha disuelto en el plasma, en el cual se ofrecen las células según el metabolismo lo requiera.  $DO_2 = Gc \times CaO_2 \times 10$

### Ventilación

Hace referencia a la secuencia de movimientos de aire hacia el alveolo por inspiración, y hacia el exterior por la expiración, que en sus niveles normales presenta el siguiente indicador.

**Presión arterial de CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) = 35-45mmHg**

Teniendo en cuenta lo anterior una presión arterial mayor a 45mmHg se puede considerar una hipoventilación que es una respiración demasiado superficial que no satisface las necesidades del cuerpo. Por consiguiente, la hipercapnia se produce cuando la ventilación alveolar se reduce o no logra aumentar adecuadamente en respuesta a una elevación de la producción de CO<sub>2</sub>. Por otro lado la hiperventilación se define como el índice o volumen corriente se respirar elimina más dióxido de carbono que el que puede producir el cuerpo esta se produce cuando la presión arterial es menor de 35mmHg por consiguiente la hipocapnia es todo lo contrario a la hipercapnia ya que es una disminución del dióxido de carbono disuelto en el plasma sanguíneo,

Hipoventilación = Hipercapnia = >45mmHg

Hiperventilación = Hipocapnia = < 35mmHg

Valores normales de los gases en los niños y adultos a nivel del mar

Parámetro	Característica	Variable
pH	Adultos – niños Recién nacidos 2 meses- 2 años	7,35-7,45 7,32- 7,49 7,34-7,46
PaCO <sub>2</sub>	Adultos- niños Niños < 2 años	35-45 mmHg 26-41 mmHg
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Adultos- niños Recién nacidos/lactantes	21-28 meq/L 16-24 meq/l
PaO <sub>2</sub>	Adultos- niños Recién nacidos	80-100 mmHg 60-70 mmHg
SaO <sub>2</sub>	Adultos – niños Ancianos Recién nacidos	95-100 % 95 % 40-90 %
Posibles valores críticos		Ph < 7.25 - > 7,45 pO <sub>2</sub> < 40 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <18- >40 SaO <sub>2</sub> < 75 %

Tomado de interpretación de Elías Vieda Silva. Gases arteriales y venosos. Manejo integral del paciente crítico. Página 107

**Ventilación Alveolar:** Consiste en el proceso continuo de renovación, del gas alveolar, dicho proceso requiere una cantidad determinada de aire para que consiga llegar a los alveolos periféricos del área, mediante el árbol traqueo bronquial y la mecánica ventilatoria.

**Relación entre ventilación y difusión alveolar:** Cuando la eficiencia del intercambio de gases se encuentra en su punto más alto, en el momento en que la presente unión se estrecha en perfecta armonía, es decir cuando la ventilación recibida por cada unidad, equivale a la cantidad de flujo capilar que la perfunde, sin embargo, no se alcanza una homogeneidad en todo el órgano. Cuando un alveolo manifiesta un cociente  $V/Q$  bajo, ello quiere decir que su ventilación es considerablemente baja respecto a la perfusión recibida, y por ende no se realiza un adecuado intercambio de gases, llegando incluso a un punto realmente crítico considerado shunt, que significa que las unidades pulmonares se encuentran en un estado de perfusión, pero con carencia de ventilación. De igual modo cuando el cociente  $V/Q$  es alto, ello indica que la perfusión es baja en relación con la ventilación.

## **PROCESO DE DIFUSION (FISIOLOGIA DE LOS GASES) CURVA DE DISOCIACION DE LA HEMOGLOBINA**

**Difusión:** es el paso de un gas a través de la membrana alveolo capilar, es un proceso pasivo, no consume energía, se produce por el movimiento aleatorio de sus moléculas que atraviesan la membrana alveolo-capilar de forma proporcional a sus presiones parciales. Este proceso por supuesto es pasivo, puesto que no consume energía, es producido gracias al movimiento aleatorio de sus propias moléculas, que atraviesan la membrana alveolo-capilar de manera sincrónica y correspondiente a las presiones parciales de cada uno de sus lados.

La ley de Graham afirma que la tasa de difusión de un gas corresponde de manera inversa a la raíz cuadrada de su densidad, por ello los gases se distribuyen de mejor manera, cuando las condiciones de temperatura se encuentran en índices altos.

Para Henry, en su ley propone que la disolución de un líquido es correspondiente a la proporción temporal de dicho gas, y a su coeficiente soluble; entendido esto se puede afirmar que el  $CO_2$  se distribuye a través de los tejidos aproximadamente 20 veces más rápido que el Oxígeno, puesto que el peso molecular presenta similitud,

pero la solubilidad es 24 veces mayor.

En el caso de Fick, sustenta que la transferencia del gas a través de la

membranaes correspondiente de manera inversa a la proporción de su espesor, y es conjuntamente proporcional a la superficie de intercambio representada en  $\text{cm}^2$ , al gradiente de presiones parciales a cada lado de la membrana ( $P_1-P_2$ , mmHg) y al coeficiente de difusión del gas (D).  $V_{\text{Gas}} = A/T \times (P_1-P_2) \times D$

**Los factores que rigen la difusión son:**

1. La permeabilidad de la membrana
2. La presión parcial del gas
3. La solubilidad del gas

Estas son los principales factores que hacen parte de la difusión, mediante estos ítems se permite construir el paso a paso de un procedimiento que arrojará resultados certeros en el diagnóstico.

**Medición de la capacidad de difusión.**

Para medir la capacidad de difusión se realiza una prueba de valoración de la capacidad de difusión del monóxido de carbono (DLCO) que sirve para determinar la eficacia del mecanismo de transferencia del oxígeno ( $\text{O}_2$ ) desde los alveolos pulmonares hasta la sangre, y el monóxido de carbono (CO) desde la sangre hacia los pulmones.

La medición directa de la capacidad de difusión del Oxígeno es difícil, es por ello que se recurre a un método indirecto.

El método de respiración única. Este método consiste en hacer que el individuo exhale hasta el volumen residual (VR) y luego realice una inhalación rápida de más del 90% de la capacidad vital de un gas que contiene Monóxido de carbono (CO). la respiración se detiene durante 10 segundos para permitir la difusión del gas y posteriormente se le indica que exhale dentro de un detector de gas. Aquí se determina la concentración final de CO y se observa que la concentración inicial de CO en el gas alveolar no es la misma concentración de CO en el gas inspirado que se administró al paciente. ya que este gas se debe diluir en el aire que existe en el pulmón después de la espiración máxima, es decir el (VR) y en el aire del espacio muerto. Para conocer la concentración de gas que existe en el espacio alveolar se debe administrar un gas trazador, generalmente el helio (He). Este es un gas inerte que no se difunde a través de la membrana alveolo-capilar. Al conocer la concentración inicial de He y volumen de gas inspirado, se mide con el espirómetro la concentración final de He por medio del aire exhalado, midiendo el volumen final en el que el He se ha disuelto. (volumen alveolar y el espacio muerto).

Volumen inspirado X (He)=Volumen final X (Heg)

Al conocer el volumen final se podrá calcular la concentración de CO alveolar inicial FACO

$FACO = \text{Volumen inspirado} \times (\text{CO insp.}) / \text{Volumen final}$

El uso de Helio también permite calcular el Volumen alveolar (VA)

$VA = (\text{volumen inspirado} - \text{espacio muerto}) \times (\text{He}) / (\text{He g})$

Cuando el intercambio de  $\text{O}_2$  entre los pulmones y la sangre es defectuoso los valores de DLCO disminuyen.

## **Perfusión**

Hace referencia al proceso de circulación pulmonar, esta es fundamental en el intercambio gaseoso; la composición del gas puede ocasionar cambios en dicho proceso; aunque suele presentarse con diversas similitudes, la circulación pulmonar posee enormes rasgos diferenciales con respecto a la circulación sistémica.

La circulación pulmonar consiste en un proceso de circuito con presión baja, aproximadamente entre 10-20mmHg, el cual posee un gran poder para captar un enorme número de vasos elásticos, y de algunos que permanecen normalmente en crisis, y pueden ser adheridos en el proceso.

Las arteriolas pulmonares permanecen temporalmente muscularizadas, son de textura delgada y su elasticidad es destacable, pero ello a su vez hace que sean poco resistentes a la perfusión.

En la red capilar se logra evidenciar como el torrente sanguíneo, fluye de manera laminar, con poca resistencia facilitando así el intercambio de gases. Cuando el proceso de perfusión presenta una presión baja, algunos segmentos capilares permanecen cerrados, cuando dicho flujo aumenta pueden adherirse y abrirse. Los vasos pre-capilares y los capilares forman el 40-50% de la resistencia vascular total pulmonar.

La circulación pulmonar es un proceso de alto flujo, baja resistencia, baja presión y una enorme capacidad de contención que permite una influencia en la capacidad de reserva, esto favorece de manera considerable al intercambio de gases, evita que los fluidos entren al intersticio, y contribuye al desarrollo óptimo de la función ventricular derecha con un bajo consumo energético.

El circuito pulmonar recibe todo el impacto cardiaco pero sus presiones son inferiores que las sistémicas y la presión de la arteria pulmonar se encuentran en un rango de 25-30 mmHg.

Mediante el desarrollo de una actividad física las presiones pulmonares se aumentan poco, pese a que el flujo aumenta 3-5 veces, los capilares que estaban abiertos se distienden y aumenta su flujo hasta el doble y se reclutan capilares que estaban colapsados, triplicándose el número de capilares abiertos. La actividad física aumenta más la función cardiaca que el gradiente de presión vascular pulmonar por lo que no aumenta la resistencia vascular pulmonar. Todos estos sistemas son coayudantes en la prevención de un edema pulmonar.

Una de las recomendaciones principales que se les brinda a los pacientes, es a que adopten un estilo de vida saludable, y que recurran a la práctica cotidiana de ejercicio físico, pues ello trae un sin número de beneficios, no solo a nivel cardíaco y respiratorio, si no a la salud en términos generales.

Una correcta ejecución procedimental, en la evaluación de gases, permite desde un inicio poseer las pautas adecuadas para determinar las etiologías, que pueden desencadenar problemas de salud de mayor envergadura.

Una adecuada interpretación depende de una previa preparación académica, espacio en donde se afianzan los principales conceptos, las distintas metodologías, los manuales de operación, y por supuesto la contra indicaciones, y precauciones a tener en cuenta en el desarrollo del proceso.

La perfusión tisular depende de dos parámetros (hemoglobina y el gasto cardíaco), y, a su vez, el gasto cardíaco depende de la frecuencia cardíaca.

La Perfusión tisular se puede evaluar por medio de parámetros globales, como saturación venosa mixta, saturación venosa central, déficit de base y lactato sérico, y de parámetros específicos (tonometría gástrica, CO<sub>2</sub> sublingual, espectrofotometría infrarroja) para la comprensión de estos se debe tener en cuenta el transporte de O<sub>2</sub> (DO<sub>2</sub>), Consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) y la tasa de extracción de Oxígeno (EO<sub>2</sub>).

### **Equilibrio Ácido-Base**

El sistema que controla la respiración funciona como un sistema en donde se retroalimenta de forma negativa, el PaCO<sub>2</sub> y el pH arterial, impulsan los receptores químicos periféricos con mayor énfasis en los descensos de PaO<sub>2</sub>. Los receptores químicos centrales se encuentran posicionados al lado cerebral de la barrera hematoencefálica y responde al incremento de la PaCO<sub>2</sub> y de la H<sup>+</sup> que generan la disminución de pH en el líquido cefalorraquídeo, lo que genera cambios en la ventilación alveolar. La acidosis metabólica, el incremento de la H<sup>+</sup> estimula el centro de ventilación buscando un equilibrio mediante la depuración de CO<sub>2</sub>, ello lleva a aumentar el pH sanguíneo hacia la normalidad, si a esto se le suma la hipoxia, el estímulo de la ventilación es mayor. En las situaciones de alcalosis metabólicas, el sistema funciona de manera inversa; el control respiratorio no puede normalizar del todo la H<sup>+</sup>, la eficacia es del 50-75% lo que corresponde a una ganancia de retroalimentación de 1-3, esto significa que H<sup>+</sup> aumenta por la adición de un ácido.

**HCO<sub>3</sub>**: El bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) es un ion determinante en el componente metabólico (renal) del estado ácido-básico. Este ion puede medirse directamente

por la cifra de bicarbonato o indirectamente por el contenido de CO<sub>2</sub>. La relación entre bicarbonato y pH es directamente proporcional. El bicarbonato está elevado en la alcalosis metabólica y disminuido en la acidosis metabólica. **(art gm)**

**pH:** Es la concentración plasmática de iones de hidrogeno y se expresa como el logaritmo negativo de la concentración de H<sup>+</sup>. El mecanismo general por el cual la enfermedad y nuestra acción terapéutica influyen en el pH es la alteración y la regulación del ácido carbónico básicamente por el componente respiratorio y de los ácidos no carbónicos mediante el componente metabólico del equilibrio ácido-base. Por tanto, conforme disminuye la concentración de estos ácidos aumenta el pH y viceversa.

El pH mide la alcalinidad (>7.45) o la acidez (<7,35). Este aumenta en la alcalosis respiratoria o metabólica y disminuye en la acidosis metabólica y respiratoria. **(art)**

## **ALCALOSIS Y ACIDOSIS**

### **ANALISIS DE GASES VENOSOS**

Se conoce como demanda de oxígeno, la cantidad de oxígeno necesaria para saciar los requisitos metabólicos de todos los tejidos del cuerpo, estos necesitan de oxígeno, pero no pueden acapararlo para usarlo en el futuro.

El consumo de oxígeno es la cantidad de oxígeno que realmente es utilizada por los tejidos. Es la diferencia entre el oxígeno entregado por el sistema y la proporción de oxígeno devuelto al corazón por el sistema venoso.

En ciertas patologías, algunos tejidos son incapaces de procesar el oxígeno esencial. En estos tejidos la demanda de oxígeno es mayor a su consumo lo que conlleva a una hipoxia de los tejidos locales.

#### **Oxígeno ScvO<sub>2</sub> y SvO<sub>2</sub>**

Los niveles de saturación de oxígeno (SaO<sub>2</sub>) en la hemoglobina de la sangre arterial van desde 90% - 98% y la saturación venosa mixta de oxígeno (SvO<sub>2</sub>) va de 60 % - 80%. Los valores de la saturación venosa central de oxígeno (ScvO<sub>2</sub>) representan las saturaciones venosas regionales con un valor normal de ~70%.

La ScvO<sub>2</sub> es normalmente un poco mayor que la SvO<sub>2</sub>, ya que no está mezclada con la sangre venosa del seno coronario. Estas son medidas de relación entre el consumo de oxígeno y el suministro de oxígeno al cuerpo. (..)

El equilibrio de oxígeno es necesario para la vida.

SvO2 = Es el valor control del equilibrio de Oxígeno	
60% y el 80%	Individuo sano
Menor al 60%	El suministro de oxígeno no es suficiente o su demanda ha aumentado
Por encima del 80%	La demanda de oxígeno ha descendido o el suministro ha aumentado

Cuando el equilibrio entre la demanda de oxígeno y el suministro se ve afectado, el cuerpo lo compensa mediante tres mecanismos:

1. Aumenta la frecuencia cardiaca o gasto cardiaco

Respuesta principal a la disminución del suministro o al crecimiento de la demanda.

2. Incrementa la extracción de oxígeno

Los tejidos captan más oxígeno de la sangre arterial. Esto resulta en un menor retorno de oxígeno al sistema venoso y, por tanto, a una lectura más baja de la SvO2 (**.art gm**)

3. Desvía el flujo sanguíneo

El flujo sanguíneo se redirige a las zonas en las que el oxígeno es más necesario. Este flujo redirigido no se puede medir a partir de una visión clínica y, por consiguiente, no otorga señales precoces de advertencia.

### **Presión venosa mezclada de oxígeno (PvO2)**

Es la presión de oxígeno en la arteria pulmonar y representa el oxígeno que le restante que vuelve al organismo luego de sustraer de la arteria lo que necesitó.

PvO2= 25-35 mmHg, rango normal.

PvO2= 28-35 mmHg, desacople compensado

Nos referimos a desacople compensado cuando hay una reducción del aporte en relación con el requerimiento celular, bien sea por fracaso en el aporte o por un exceso en el consumo no compensado. En general, no hay una descompensación metabólica y por ende rara vez habrá acidosis metabólica.

PvO2=25-35 mmHg	Rango normal.
PvO2=20-28mmHg	Desacople compensado: hay desacople grave y generalmente causa un metabolismo anaeróbico que se traduce en acidosis metabólica. Es una urgencia metabólica.

PvO <sub>2</sub> = menos de 20 mmHg	Gravísimo desacople: si no se actúa rápido el paciente fallecerá.
PvO <sub>2</sub> = mayor de 45 mmHg	Exceso de aporte o disminución en el consumo. Frecuentemente se ven casos de disminución del consumo de oxígeno como hipotermia o choque de cualquier etiología.

### **Estado ácido base, Interpretación de los gases sanguíneos**

En química se llaman ácidos a aquellas sustancias que liberan iones de Hidrógeno y Bases a aquellas sustancias que pueden captar iones de hidrógeno, con el descubrimiento de estas sustancias se comprende la regulación del equilibrio del ion de hidrógeno con los demás iones del organismo, la manera de medir la acidez o alcalinidad es a través del pH.

El pH es la forma en que se expresa la acidez en términos del logaritmo en base 10 negativo de los iones de hidrógeno en una solución.

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log_{10} [\text{H}^+] \\ \text{pH} &= \log_{10} 1/[\text{H}^+] \\ \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \end{aligned}$$

Tomado de bases fisiológicas para la interpretación de gases sanguíneos.

En la sangre los valores normales de pH se encuentran en el rango de 7,35-7,45. Fuera de estos existen varios riesgos y problemas fisiológicos, y valores inferiores a 6,8 y superiores a 7,8 no son compatibles con la vida. La manera de mantener un equilibrio es controlando la ingesta y excreción corporal de los ácidos y bases en el cuerpo, así como también controlando la regulación de las concentraciones de los amortiguadores fisiológicos presentes en la sangre, las células, los riñones y los pulmones.

#### **Amortiguadores de pH en los líquidos corporales.**

Un amortiguador es una sustancia que se puede unir a los H<sup>+</sup>, atrapando iones y restableciendo el equilibrio, sin eliminarlos ni añadirlos. Entre los más importantes encontramos: Sistema de amortiguación del bicarbonato, el sistema de amortiguación del bicarbonato, el sistema de amortiguación fosfato y el sistema

amortiguador de las proteínas.

### **Regulación respiratoria del equilibrio ácido base**

Uno de los sistemas más rápidos en cuanto a la depuración del  $\text{CO}_2$  son los pulmones, capaces de restablecer en equilibrio de los  $\text{H}^+$  en el cuerpo, y esto lo logra en un tiempo pequeño (algunas horas), comparado con los riñones. Su eficiencia es del 50-75 %, lo que significa que es más potente que los amortiguadores químicos.

### **Control Renal del equilibrio ácido-base**

Los riñones eliminan el exceso de ácido o base en la sangre, y es el filtro último, con la mayor eficiencia en comparación con los métodos anteriores, pero que tiene un tiempo de respuesta largo. Las diferentes formas en que sucede este proceso son: Amortiguación de  $\text{H}^+$  secretados por el fosfato filtrado y producción de amonio a partir de glutamina.

Para evaluar el estado ácido base existen varios modelos fisiológicos, principalmente encontramos la ecuación de Henderson-Hasselbalch (H-H) quienes desarrollaron un modelo matemático que explica las alteraciones del estado ácido-base; Otro método fue hacer una prueba de sangre y determinar la concentración de bicarbonato en el plasma de la sangre llamado *bicarbonato estándar o real*. Y otros métodos fueron desarrollados a partir de la base exceso, sea estándar o de fluido extracelular.

### **Generalidades fisiológicas de los trastornos ácido-base**

Una de las generalidades es la acidosis respiratoria la cual produce un incremento del ácido carbónico que a su vez ocasiona un incremento del ion hidrogeno y del bicarbonato. Otra muy común es la alcalosis respiratoria, la cual ocurre en los estados de hiperventilación y se soluciona respirando en una bolsa para lograr reinhalación. También se encuentra la acidosis metabólica producida por la degradación excesiva de grasas o ciertos aminoácidos y/o sustancias ingeridas. Si el aparato respiratorio no logra compensar, busca compensar el riñón secretando  $\text{H}^+$  para luego excretarlo y reabsorbiendo  $\text{HCO}_3$ . Alcalosis metabólica, es otra

generalidad fisiológica, que puede producir trastornos ácido-base, puede ocurrir por vómitos excesivos que ocasionan pérdida de contenido gástrico o ingesta excesiva de antiácidos que contiene bicarbonato. En este caso los procesos de amortiguación involucran los amortiguadores sanguíneos, el aparato respiratorio y renal.

### **Interpretación de los gases sanguíneos Análisis del estado ácido-base en los gases arteriales.**

Una de las primeras cosas a hacer antes de realizar el análisis es verificar si los gases son veraces y confiables, esta confiabilidad se da al observar con detenimiento los resultados de los gases sanguíneos, teniendo en cuenta las variables que pueden existir dependiendo de la altura sobre el nivel del valor, y los rangos de valores para los diferentes grupos de personas si esto no se toma en cuenta se puede incurrir en errores preanalíticos.

Es importante calcular la H<sup>+</sup> aplicando la ecuación de Kassirer y Bleich la cual es adaptada de la ecuación H-H y se compara con la tabla de equivalencia de pH y H<sup>+</sup> con la tira de gases. Además, se debe tener en cuenta el estado clínico del paciente y conocimiento de la historia clínica como ejemplo tenemos que:

Por ejemplo: pH 7,40

$$H^+ = 24 * \frac{PCO_2}{HCO_3^-}$$

PaCO<sub>2</sub> = 40 mmHg

HCO<sub>3</sub>

- = 24 mEq/L

H<sup>+</sup> (nmol/L) = 24 \* 40/24 = 40,

Tomado de bases fisiológicas para la interpretación de gases sanguíneos.

Como se ve en la anterior imagen se comprueba la correspondencia de los datos y la confiabilidad de ellos debido a que el valor obtenido corresponde a un pH de 7,40.

La clasificación del pH se puede dar de la siguiente manera:

Normal	7,35-7,45
Acidosis	<7,35
Alcalosis	>7,45

Se consideran trastornos mixtos cuando se encuentra acidosis respiratoria + acidosis metabólica o alcalosis respiratoria + alcalosis metabólica

### **Evaluación de los mecanismos de compensación**

Las alteraciones respiratorias pueden ser agudas y crónicas, y se determinan en un periodo de 24 a 48 horas de haberse iniciado la alteración. Entre las más comunes encontramos la acidosis respiratoria aguda, la acidosis respiratoria crónica, la alcalosis respiratoria aguda, la alcalosis respiratoria crónica.

De todo lo mencionado, lo más difícil de diagnosticar es la acidosis metabólica, es por eso que es donde más se han desarrollado métodos para el diagnóstico como el DIF y el ATOT.