

Capítulo III

Gases Venenosos

Poisonous Gases

Diana Patricia Jiménez Duran*

<https://orcid.org/0000-0001-8738-1552>

Introducción

Los gases venenosos son considerados reflejo del estado metabólico; éstos permiten detectar la extracción y entrega de oxígeno a los tejidos y el aumento o disminución de la tasa metabólica tisular, obteniendo una mayor tasa de extracción de oxígeno y provocando un descenso en los niveles de saturación venosa. Los organismos aerobios complejos requieren de sistemas de captación, transporte y aporte de oxígeno para que éste llegue a los tejidos, lugar en donde es pieza fundamental del metabolismo energético, en el que se realiza la síntesis de ATP, molécula energética necesaria para la economía celular. Este transporte de oxígeno es un proceso que requiere del complejo y completo acoplamiento de los sistemas respiratorio, cardiovascular y sanguíneo, responsables de la oxigenación tisular (1).

*Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia

✉ diana.jimenez01@usc.edu.co

Cita este capítulo

Jiménez Duran, DP. Gases venenosos. En: Estupiñan Pérez, VH. Ed. científico. *Bases para la interpretación y análisis de gases arteriovenosos*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2020. p.101-114.

Se establece una correlación entre el aporte y la demanda de oxígeno a nivel tisular, y ha sido la base para el monitorio de parámetros gasométricos en sangre venosa central como en saturación venosa central; estos indicadores del estado metabólico tisular nos permiten evaluar el aporte de oxígeno, y evaluar la respuesta al tratamiento del volumen y tono vascular con terapia hídrica y farmacológica; minimizando el riesgo de transfusiones y sobre carga hídrica, disminuyendo así la morbi-mortalidad. Según los estudios en pacientes críticos, el estado de perfusión tisular, se puede observar en el procedimiento de toma de gases arteriales y venosos, que nos arroja por medio de fórmulas matemáticas y nos da un resultado para identificar el estado que se encuentra el paciente en cuanto al aporte y consumo de oxígeno y perfusión tisular, La gasometría venosa se constituye como una de las pruebas diagnósticas principales para valorar la perfusión tisular. En el medio local, regional y nacional se evidencian estudios que demuestran la utilidad de gases venosos, en comparación con los gases arteriales (2).

La función del sistema cardiorrespiratorio es suministrar nutrientes y oxígeno a los tejidos para el mantenimiento de la función celular normal(3), de modo que la reducción de la disponibilidad de oxígeno en los tejidos es causa frecuente de descompensación fisiológica. La forma más práctica de obtener una idea del balance entre la oferta y la demanda de oxígeno es a través de su medición en sangre venosa, lo que convierte a la oximetría venosa en el reflejo del equilibrio entre el suministro (DO_2) y el consumo del citado gas (VO_2).

Oxígeno: demanda. La cantidad de oxígeno necesaria para satisfacer los requisitos metabólicos de todos los tejidos del cuerpo se denomina demanda de oxígeno. Los tejidos y los órganos necesitan oxígeno, pero no pueden almacenarlo para utilizarlo en el futuro.

Oxígeno: consumo. La cantidad de oxígeno realmente utilizada por los tejidos se denomina consumo de oxígeno. Es la diferencia entre el oxígeno suministrado por el sistema y la cantidad de oxígeno devuelto al corazón por el sistema venoso.

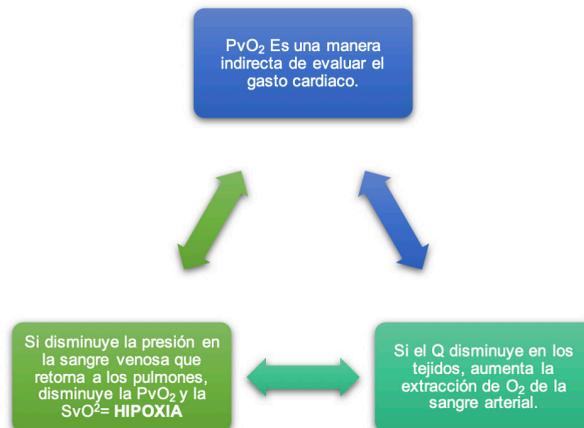
Consumo de Oxígeno = Demanda de oxígeno. En ciertas enfermedades, algunos tejidos son incapaces de asimilar o procesar el oxígeno necesario. En estos tejidos el consumo de oxígeno es menor a su demanda, lo que lleva a una hipoxia de los tejidos locales.

El cálculo de la cantidad venosa de oxígeno (CvO_2) en sangre mezclada debe realizarse a partir de las mediciones obtenidas mediante catéter de Swan-Ganz implantado en la arteria pulmonar donde se encuentra la mezcla de la sangre venosa procedente de todos los tejidos corporales y justo antes de oxigenarse en los pulmones (4).

Presión venosa mezclada de oxígeno (PvO_2)

Es la presión de oxígeno en la arteria pulmonar (en su defecto puede utilizarse la de la aurícula derecha) y representa el oxígeno que le sobró al organismo después de extraer de la arteria lo que necesitó. Normalmente su valor es de 35 mmHg y es tal vez el parámetro aislado que mejor aplica sobre el acoplamiento de aporte y consumo de oxígeno celular. $PvO_2 = 25-35$ mmHg, rango normal.

Figura 31. Efectos de la presión venosa de oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

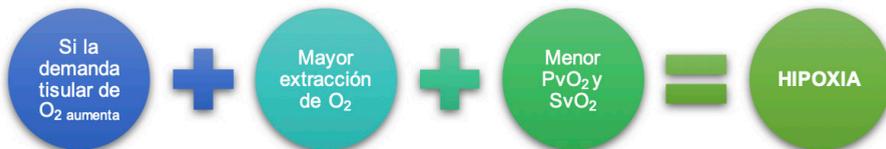
Saturación venosa central de oxígeno ($ScvO_2$) y saturación venosa mixta de oxígeno (SvO_2)

La saturación venosa mixta de oxígeno (SVO_2) y la saturación venosa central de oxígeno ($SVCO_2$) son los mejores indicadores para reflejar el aporte tisular de oxígeno y de la perfusión, ya que estos evalúan los determinantes de la relación aporte y consumo de oxígeno (DO_2/VO_2), en comparación con otras variables monitorizadas rutinariamente; en una persona sana la SVO_2 se encuentra en el rango entre el 60% y 80% (2).

La $ScvO_2$ representa las saturaciones venosas regionales con un valor normal de ~70%. La SvO_2 es normalmente un poco mayor que la $SvCO_2$, ya que no está mezclada con la sangre venosa del seno coronario. Aunque los valores pueden ser diferentes, siguen la misma tendencia.

Cuando la SVO_2 se encuentra disminuida es decir el valor de la SVO_2 está por debajo del 60%, esto está relacionado con que el suministro de oxígeno no es suficiente o la demanda de oxígeno ha aumentado (5).

Figura 32. Relación entre demanda y consumo.



Fuente: Elaboración propia

Las causas por las cuales SvO_2 disminuye en términos generales son:

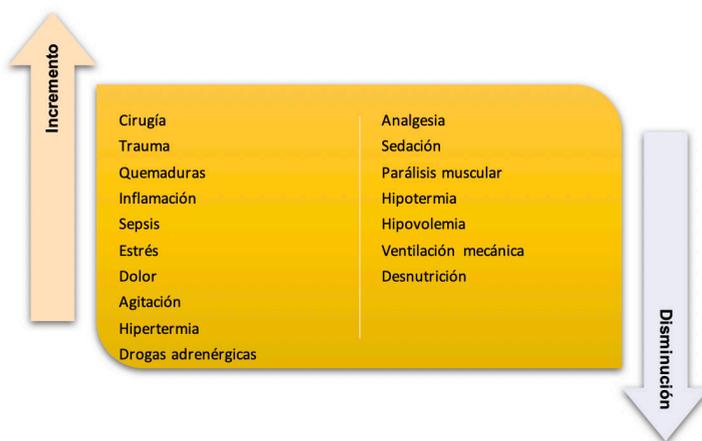
1. Hipoxemia.
2. Aumento en el VO_2 .
3. Disminución del gasto cardíaco.
4. Disminución de la hemoglobina.

Cuando la SVO_2 se encuentra aumentada, es decir el valor de la SVO_2 está por encima de 80%, esto se da debido a que la demanda de oxígeno ha disminuido o la demanda de oxígeno ha aumentado. La causa por las cuales se aumenta la SVO_2 puede ser por deficiencia de tiamina ya que, en presencia de deficiencia de esta, la PDH no logra convertir el piruvato en acetil-CoA que ingresa al ciclo de Krebs para producir trifosfato de adenosina (ATP) utilizando oxígeno, y por lo tanto el consumo de oxígeno se reduce en varios tejidos.

Consumo de oxígeno (VO_2)

Se refiere a la cantidad de oxígeno consumida por las células en la unidad de tiempo de un minuto, para garantizar la producción de energía y con ello el metabolismo celular. Es importante aclarar, que lo que determina la magnitud del consumo de oxígeno por las células, son las necesidades metabólicas de las mismas, pero lo que lo limita, es la disponibilidad del oxígeno en los tejidos (DaO_2). Existe una relación de dependencia fisiológica entre estos dos factores, DaO_2 y VO_2 .(6) Las condiciones clínicas que pueden afectar el VO_2 se exponen en la siguiente tabla:

Figura 33. Causas de aumento y disminución de consumo de oxígeno



Fuente: Elaboración propia.

Fórmula:

$$VO_2: (GC \times D(A-V) O_2)$$

Aporte de oxígeno (DO_2)

El sistema cardiovascular tiene a su cargo llevar una cantidad determinada de oxígeno a la célula, consistente en la cantidad de oxígeno necesaria para satisfacer los requerimientos metabólicos de los tejidos del cuerpo.

DO_2 : ($CaO_2 \times G.C \times 10$). Donde:

CaO_2 : Contenido arterial de oxígeno

GC: Gasto cardiaco: se define como la cantidad de sangre que expulsa el ventrículo izquierdo en un minuto. Para sostener adecuadamente el GC se necesita una bomba eficaz, volumen sanguíneo circulante suficiente a la superficie corporal y la hemoglobina dentro de valores normales (7).

Figura 34. Variables que afectan la entrega de oxígeno a los tejidos.



Fuente: Elaboración propia.

El aporte de oxígeno es presentado a la célula, la cual en condiciones basales extrae un 25%-30%. Este valor, denominado tasa de extracción de oxígeno (TextO_2) es decir, es la fracción de oxígeno suministrado a la microcirculación que es absorbido; describe, por tanto, el balance entre el DO_2 y el VO_2 en un tejido cuyos valores normales se encuentran entre 0,2 y 0,3, lo que indica que sólo se utiliza entre el 20% y el 30% del oxígeno (6).

Transporte de oxígeno

El oxígeno transportado por la sangre se encuentra en dos formas:

1. Disuelto como una solución simple, y en pequeña cantidad de 3 mL de O_2 en 1 l de plasma, cuyos valores normales varían entre 75 y 100 mmHg. de presión parcial de O_2 en sangre arterial (PaO_2), al aire ambiente y de 40 mmHg de presión parcial de O_2 en sangre venosa (PvO_2).
2. En mayor cantidad se encuentra unido con la hemoglobina, en forma de oxihemoglobina. Fisiológicamente la hemoglobina no se satura totalmente por el O_2 , y al máximo poder de transporte se le llama capacidad de O_2 de la hemoglobina. Cuando relacionamos los valores de la cantidad real de transporte o contenido de oxígeno, con la capacidad de O_2 , tenemos como resultado, al multiplicarlo por 100, la saturación de O_2 , en porcentaje de la hemoglobina, que se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SaO}_2 \text{ de la Hb \%} = \frac{\text{Contenido de O}_2 \text{ de la Hb}}{\text{Capacidad de O}_2 \text{ de la Hb}} \times 100$$

Luego, 1 gr. de hemoglobina saturada al 100 %, es capaz de transportar 1,34 mL de O_2 , por lo que se llega a la conclusión que, a través de la hemoglobina, se transporta gran parte del O_2 hacia los tejidos y las células.

Si tenemos en cuenta que la mayor cantidad de oxígeno se transporta en forma de Hb oxidada, o lo que es lo mismo, hemoglobina saturada de oxígeno pero, de cualquier manera, siempre existe una cantidad diluida en el plasma que guarda cierta relación con la Hb saturada, sería práctico poder calcular el contenido arterial de oxígeno transportado por la sangre, lo que se puede hacer con el uso de la fórmula:

$$\mathbf{CaO_2} = (1.34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2) + (0.0031 \times \text{PaO}_2) \quad \text{Valor Normal} = 16 \text{ Vol\%}$$

Dónde:

1,34: Constante para calcular el oxígeno transportado que está ligado a la Hb.

0,0031: Constante para calcular el oxígeno que está diluido en el plasma.

PaO₂: Es un parámetro muy útil para evaluar la captación o ventilación alveolar, pero informa muy poco con relación al transporte, puesto que pueden existir infinitos valores de PaO₂, para el mismo valor de saturación de la Hb.

$$\mathbf{CcO_2} = (1.34 \times \text{Hb} \times \text{ScO}_2) + (0.0031 \times \text{PAO}_2) \quad \text{Valor Normal} = 18 \text{ Vol\%}$$

$$\mathbf{CvO_2} = (1.34 \times \text{Hb} \times \text{SvO}_2) + (0.0031 \times \text{PvO}_2) \quad \text{Valor Normal} = 12 \text{ Vol\%}$$

Tabla 39. Causas de aumento y disminución de contenidos

CONTENIDO	DISMINUCIÓN	AUMENTO
CAPILAR	Anemia (niveles de hemoglobina efectiva bajos). Acidosis. Aumento de la 2,3 DPG. Aumento de la temperatura (fiebre). Hipoventilación alveolar.	Hipotermia. Alcalosis. Disminución de la 2,3 DPG.
ARTERIAL	Anemia (niveles de hemoglobina efectiva bajos). Acidosis. Aumento de la 2,3 DPG. Aumento de la temperatura (fiebre). Hipoxemia.	Hipotermia. Alcalosis. Disminución de la 2,3 DPG.
VENOSO	Anemia. Hipoxemia. Disminución del gasto cardíaco. Consumo de oxígeno aumentado.	Hipotermia Choque de cualquier etiología.

Fuente: Elaboración propia.

Difusión

La diferencia alvéolo arterial de oxígeno (DAaO₂): Nos informa del estado de la difusión del oxígeno a nivel del alveolo y el capilar pulmonar, se debe evaluar con reserva cuando existe cardiopatía con cortocircuito.

$$DAaO_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$PAO_2 = (PB - PvH_2O) \times FiO_2 - PCO_2$$

Su valor normal es 5 -15 mmHg.

Con respecto a la diferencia arteriovenosa de oxígeno (D(a-v) O₂), nos informa la cantidad de oxígeno que se consumió en el tejido instantáneamente y que estadísticamente, en condiciones normales, es de 2,3 mMol/l o 5,1 mL/d L, dependiendo la unidad de medida que se utilice para el valor de la hemoglobina, que se expresa mediante la fórmula siguiente:

$$D(a-v) O_2: (CaO_2 - CvO_2) \text{ Valor normal } 3 - 5$$

Tasa de extracción de oxígeno

Este proceso de extracción establece una diferencia de contenido de O_2 entre la arteria y la vena [$D(a-v) O_2$]. Una vez extraído el oxígeno por la célula, quedará un sobrante en la célula denominado reserva venosa de O_2 y bien expresada por la PvO_2 . Que se expresa mediante la siguiente formula:

$$\text{Text}O_2 = \frac{D(a-v) O_2 \times 100}{CaO_2}$$

Valor normal 20-30%

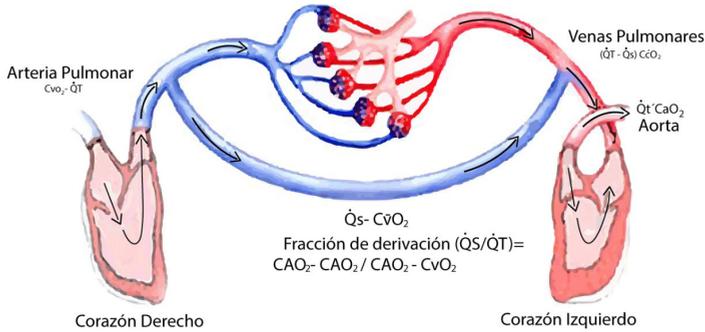
Cortocircuito intrapulmonar (Stunt – QS/QT)

Sin tener en cuenta lo que sucede en algunas patologías, normalmente existe un pequeño grado de cortocircuito intrapulmonar, referente a aquellos alvéolos bien ventilados y mal perfundidos, o aquellos bien perfundidos pero mal ventilados; este cortocircuito anatómico, varía con la edad, 15% en el neonato, si se tiene en cuenta el agujero oval y el conducto arterioso, las venas de Tevesio y la circulación bronquial, lo que disminuye con la edad, hasta un 3% y que justifica el porqué nunca la saturación de la sangre arterial puede ser del 100% (8).

Teniendo en cuenta estas condiciones, y en este caso nos referimos a los que aumentan el shunt intrapulmonar, pues traería como efecto, la disminución en la captación, por disminución del gradiente en todos aquellos alvéolos que no son bien perfundidos, a pesar de estar bien ventilados; se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Shunt: } \frac{CcO_2 - CaO_2}{CcO_2 - CvO_2} \times 100 \quad \text{Valor Normal} = 3 - 5\%$$

Figura 35. Consumo y extracción de oxígeno



Fuente: Elaboración propia.

Caso clínico

Paciente de 72 años, hombre con estatura 1.68 cm que ingresa a la Unidad de Cuidados Intensivo por presentar cuadro de evolución de 72 horas de dolor opresivo, irradiado a hombro y cuello; al ingreso toman EKG donde se evidencia cambios electrocardiográficos compatibles con IAM, 2 horas a su ingreso presenta aumento de trabajo respiratorio, disnea de medianos a pequeños esfuerzos, toman gases arteriovenosos.

Gases Arteriales		Venosos	
Ph	7,36	PvO ₂	23 mmHg
CO ₂	30 mmHg	SvO ₂	50%
HCO ₃ ⁻	16 mEq/l	Hb	5,3 gr/dl
BE	9	FiO ₂	1
PaO ₂	82 mmHg		
SaO ₂	96%		

Bibliografía

1. Dpto de Ciencias Fisiológicas. Relación DO_2 Vrs VO_2 . Guías Lab [Internet]. 2002;2. Available from: <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Medicina/fisiologia/nguias/other/vo2do2all.pdf>
2. Gámez Duque A. Profesor Asistente, Departamento de Medicina Interna, Fernández G. Director Unidad de Cuidados Intensivos. Álvaro Augusto Gutiérrez. Ex-director Hospital San Juan de Dios, Montenegro G. Unidad de Medicina Inter CP. Revista de la Facultad de Medicina. Bogotá; 2000;48:67–76.
3. Baigorri-González F, Lorente Balanza JA. Oxigenación tisular y sepsis. *Med Intensiva*. 2005;29(3):178–84.
4. Golay X, Johanna Silvennoinen M, Zhou J, Clingman CS, Kauppinen RA, Pekar JJ, et al. Measurement of tissue oxygen extraction ratios from venous blood T2: Increased precision and validation of principle. *Magn Reson Med*. 2001;46(2):282–91.
5. Cano MB, Luna MS, Fernandez MDE, López MV, Rodríguez JP, Jiménez JQ. Transporte y consumo de oxígeno y saturación de oxígeno en aurícula derecha en un modelo experimental de shock séptico neonatal. 1996;44:149–56.
6. Ferreruela M, Raurich JM, Llompарт-Pou JA, Colomar A, Ayestarán I. Efecto de la FiO_2 sobre la medición del VO_2 y la VCO_2 con el monitor metabólico E-COVX. *Med Intensiva*. 2017;41(8):461–7.
7. García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Puesta al día en medicina intensiva. monitorización hemodinámica en el paciente crítico. *Med Intensiva*. 2011;35(9):552–61.
8. Rubín G, Rodríguez G, Reverón F. Oxigenación tisular [Internet]. 2016. p. 1,2,54. Available from: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/williamsoler/oxigenacion_1_2.pdf