Capítulo 2

Intercambio de gases en el pulmón

Gas exchange in the lung

Camilo Alejandro Erazo Escobar
Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-4904-7438
camilo.erazo00@usc.edu.co

Alejandro Segura Ordóñez
Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia
Universidad del Valle. Cali, Colombia
https://orcid.org/0000-0001-8925-2244
alejandro.segura00@usc.edu.co

Resumen

Introducción: El proceso de intercambio gaseoso es un tema de mucho interés, debido a que explica cómo actúan los distintos cambios fisiológicos en el cuerpo humano, al enfrentarse a distintas alturas a nivel del mar y como las leyes físicas de los gases actúan dentro del pulmón; así mismo, las adaptaciones fisiológicas que se realizan en todo el cuerpo humano para poder lograr un óptimo transporte de oxígeno y dióxido de carbono. Se tiene como objetivo dar a entender los distintos factores que hacen parte de este proceso, desde que ingresa el aire a los pulmones hasta el momento que es eliminado. **Materiales y métodos:** Se realizó una búsqueda bibliográfica de libros,

Cita este capítulo / Cite this chapter

Erazo Escobar CA, Segura Ordóñez A. Intercambio de gases en el pulmón. En: Carvajal Tello N, editora científica. Técnicas de fisioterapia respiratoria: Perspectivas de práctica basada en la evidencia. Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali; 2021. p. 45-72.

de artículos científicos de tipo explicativos, analíticos y experimentales y revisiones bibliográficas en las bases de datos: Scielo, ScienceDirect, Elsevier, entre los años de 2011 y 2021, en relación al intercambio de gases. **Resultados:** Se reconoce los distintos procesos fisiológicos que se dan dentro del pulmón para tener un buen proceso de intercambio gaseoso y así lograr un adecuado aporte de oxígeno a los tejidos, y la adecuada eliminación del dióxido de carbono. Teniendo en cuenta que para que este proceso sea idóneo, se requiere de un aporte de varios mecanismos internos; si se produce una alteración de uno o varios mecanismos causa un deficiente intercambio gaseoso, produciendo una reducción en el oxígeno o un aumento del dióxido de carbono a nivel del líquido sanguíneo. **Conclusiones:** Se invita a continuar una investigación más profunda relacionada con el intercambio de gases en el pulmón, para así tener un mejor abarcamiento y aplicación en las distintas situaciones que se pueden presentar, ya sea en estados de normalidad o patológicos que pueden estar produciendo alteraciones a nivel pulmonar.

Palabras clave: intercambio gaseoso pulmonar, leyes de los gases, presión atmosférica, ventilación, perfusión, hemoglobina, oxígeno, dióxido de carbono, transporte de oxígeno y dióxido de carbono, difusión.

Abstract

Introduction: The gas exchange process is a topic of great interest because, it explains how the different physiological changes act in the human body when facing different heights at sea level and how the physical laws of gases act within the lung and, thus even the physiological adaptations that are made throughout the human body in order to achieve optimal transport of oxygen and carbon dioxide. The objective is to understand the different factors that are part of this process, from when the air enters the lungs until the moment it is eliminated. **Materials and methods:** A bibliographic search of books, explanatory, analytical and experimental scientific articles, bibliographic reviews, was carried out in the databases: Scielo,

ScienceDirect, Elsevier, between the years 2011 and 2021, in relation to the gas exchange. **Results:** The different physiological processes that occur within the lung are recognized to have a good gas exchange process, and thus achieve an adequate supply of oxygen to the tissues, and the adequate elimination of carbon dioxide. Taking into account that for this process to be suitable, a contribution of several internal mechanisms is required, if an alteration of one or more mechanisms occurs, iit causes a deficient gas exchange producing a reduction in oxygen or an increase in carbon dioxide at the level blood fluid. **Conclusions**: It is invited to continue a more in-depth investigation related to the gas exchange, in order to have a better coverage and application in the different situations, that may occur either in normal or pathological states that may be producing these alterations at the pulmonary level.

Keywords: gas exchange, laws of gases, atmospheric pressure, ventilation, perfusion, hemoglobin, oxygen, carbon dioxide, transport of oxygen and carbon dioxide, diffusion.

Introducción

Con el inicio de varios estudios a través de los años, se fue dando a conocer el principal papel de la respiración con las diferentes investigaciones acerca de las propiedades químicas de los gases, surgiendo que el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, ocurre en los tejidos de todo el cuerpo humano, dando como resultado que el proceso de la respiración aborda varias áreas de estudio como son química, bioquímica y fisiología.

Este capítulo está enfocado principalmente en la función pulmonar que consiste en lograr el adecuado intercambio de los gases, para así mismo garantizar la funcionalidad que el cuerpo necesita, de forma que el oxígeno sea capaz de cumplir con las demandas metabólicas de cada uno de los tejidos y la eliminación del dióxido de carbono. El intercambio de los gases se realiza a través de las paredes alveolares

debido a los cambios en las presiones pulmonares; el aire entra y sale de los pulmones y produce cambios en el tamaño de la cavidad torácica, dicho intercambio se produce por difusión en los alveolos que se encuentran rodeados por los capilares.

En el presente capítulo se expone como la presión barométrica y la presión parcial de los gases tienen efectos a nivel pulmonar, las distintas leyes físicas que interactúan en el proceso de la respiración, la difusión de los gases, la relación ventilación perfusión de los gases inspirados.

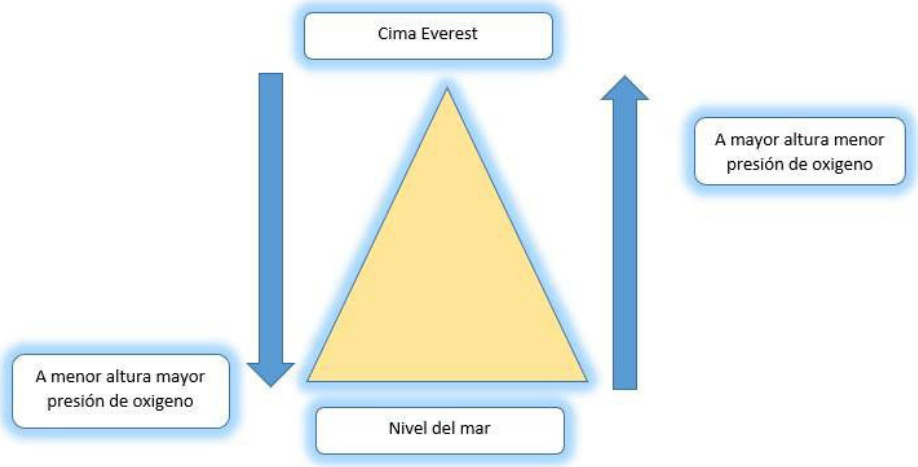
Por último, respecto al transporte de oxígeno y dióxido de carbono se detalla cómo influye la hemoglobina en estos procesos y así mismo sus cambios en la curva de disociación de la hemoglobina.

Presión barométrica

Es la fuerza que se ejerce sobre la tierra por el peso atmosférico, es cambiante de acuerdo con el clima y la zona geográfica. Es decir, que en zonas de altas elevaciones tienen menos presión, ya que poseen menor atmósfera sobre ellas y en bajas elevaciones es lo contrario, para medirla se utiliza un elemento llamado barómetro (1).

Una vez finalizada esta operación, se medirán las propiedades físicas macroscópicas de un gran número de moléculas de gas no visibles a simple vista. A nivel molecular, la presión medida se genera por la fuerza de una sola molécula de gas que choca con otros objetos, como la pared de un recipiente que contiene estos gases (1). La figura 8 muestra el concepto de presión barométrica con relación a la altitud.

Figura 8. Concepto de presión barométrica y altitud.



Fuente: Elaboración propia.

Presión parcial de los gases del aire (efectos de la altura sobre los gases)

El consumo de oxígeno se realiza de acuerdo con la demanda metabólica del ser humano durante el proceso de respiración y para mantener una homeostasis en los tejidos, el oxígeno debe pasar por difusión a través de la membrana; la cantidad de oxígeno disuelto dentro de los tejidos y las células depende de varios factores que incluyen: presión barométrica, condiciones climatológicas (temperatura, humedad relativa, latitud, altitud), así como procesos fisiológicos y patológicos (2).

La formación de los gases en la atmosfera se encuentra dividida en diferentes porcentajes que son:

- Nitrógeno (N_2): 78%
- Oxígeno (O_2): 21%
- Dióxido de carbono (CO_2): 0,03%
- Otros gases: 1%

La tabla 3 muestra la composición de los gases en la atmosfera.

Tabla 3. Composición de los gases en la atmósfera

ATMÓSFERA		
Gas	**En el aire**	**A nivel del mar**
N_2	78.09%	593.48 mm/Hg
o_2	20.95%	159. mm/Hg
CO_2	0.03%	0.23 mm/Hg
Ar	0.93%	7.07 mm/Hg
H_2O	0%	0 mm/Hg
Total	100%	760 mm/Hg

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se inicia con el proceso de la respiración, en su trayecto el aire cambia de temperatura y humedad al ingresar por la nariz y siguiendo por el tracto respiratorio superior, ocurre que la presión de oxígeno comienza a disminuir, contrario con lo que pasa con la concentración de agua que aumenta, de esta manera los porcentajes de los gases se ven alterados en sus concentraciones.

La disminución de la presión parcial de oxígeno se ve afectada debido a la adición del vapor de agua a la mezcla de gases, no solo reduciendo el oxígeno sino también a los demás gases presentes en la mezcla (2).

La presión del vapor de agua a una temperatura corporal normal de 37˚C es constante a 47 mm/Hg, observando un resultado de reducción efectiva. A nivel de los alvéolos la presión parcial de oxígeno es 159.22 mm/Hg a 149.37 mm/Hg, que, a nivel del mar, probablemente no se observen cambios fisiológicamente, debido a que representa el 6% de la presión atmosférica (2).

Cuando la presión atmosférica ya es baja, como, por ejemplo, en la cima del Monte Everest, una reducción de 47 mm/Hg en la presión del

vapor de agua representa alrededor del 20% de la presión atmosférica parcial de oxígeno disponible, lo que sería potencialmente mortal (2).

De igual forma, se produce una reducción adicional de la presión de oxígeno durante el recorrido realizado del aire humidificado que inicia en la nariz hasta llegar a los alveolos, producido por el espacio muerto, debido a que estos gases no participan en el intercambio gaseoso y también por los gases inspirados y espirados. La tabla 4 muestra la composición de los gases en la tráquea.

Tabla 4. Composición de los gases en la tráquea.

GAS	EN EL AIRE	A NIVEL DEL MAR
N_2	73.26%	556.78 mm/Hg
O_2	19.65%	149.37 mm/Hg
CO_2	0.03%	0.21 mm/Hg
Ar	0.87%	6.63 mm/Hg
H_2O	6.18%	47 mm/Hg
Total	100%	760 mm/Hg

Fuente: Elaboración propia.

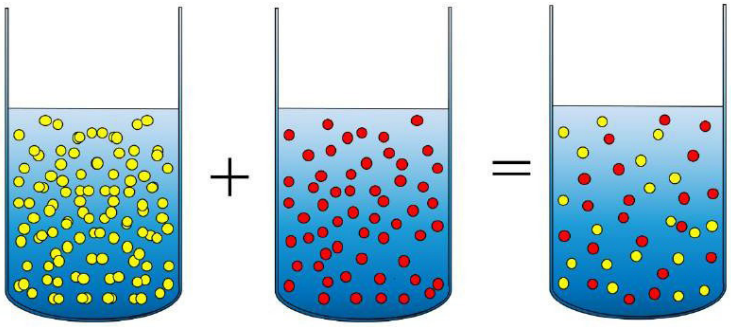
Leyes que rigen los gases

Ley de Dalton

Dalton descubrió, en el año 1801, que la presión total de la mezcla de gases es igual a la suma de las presiones ejercidas por cada gas que componen dicha mezcla (figura 9). La presión ejercida por cada gas sobre la mezcla se llama presión parcial, por lo que la siguiente fórmula matemática se puede utilizar para expresar la ley (3).

$$PTotal = P1 + P2 + P3 + ...Pn$$

Figura 9. Ley de Dalton.



Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, del aire normal la presión barométrica a nivel del mar de 760 mm/Hg, se debe al nitrógeno 593 mm/Hg y al oxígeno 159 mm/Hg, con una contribución menor de gases como el argón y el dióxido de carbono. Al aumentar dicha presión, a una persona que practica buceo, la presión de cada gas cambia de manera proporcional al cambio de la presión barométrica. Si las presiones de algunos gases como el nitrógeno u oxígeno aumentan en sangre, pueden ser tóxicos, por lo anterior es que los tanques de buceo tienen una mezcla especial de gases para evitar lo anterior (3).

Ley de Henry

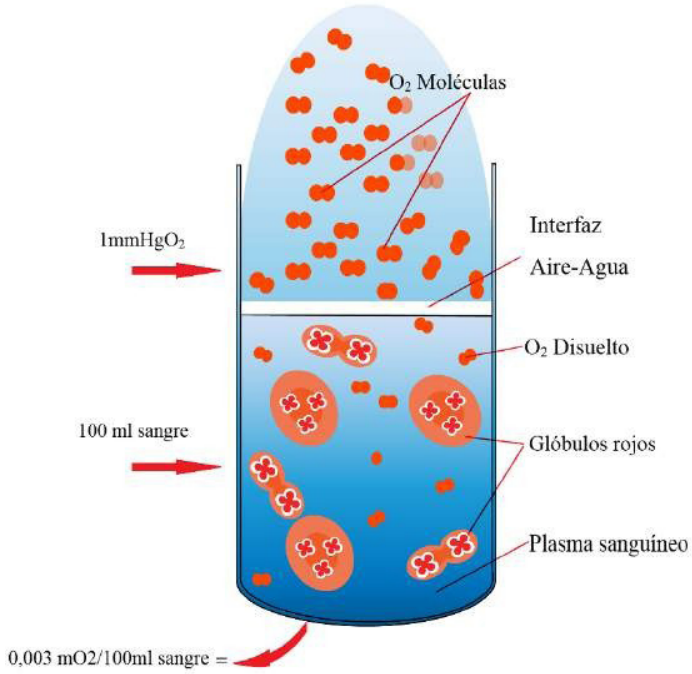
El químico William Henry descubrió en el año 1803, que una cantidad de dicho gas disuelta en un líquido a una temperatura constante es proporcional a la presión parcial de dicho gas sobre el líquido (figura 10) (3).

Esta ley se resume en la siguiente ecuación matemática:

$$P=KH^{*}\,C$$

P: Presión parcial del gas
KH: Constante de Henry
C: Concentración del gas

Figura 10. Ley de Henry.



Fuente: Elaboración propia.

Ley de Boyle

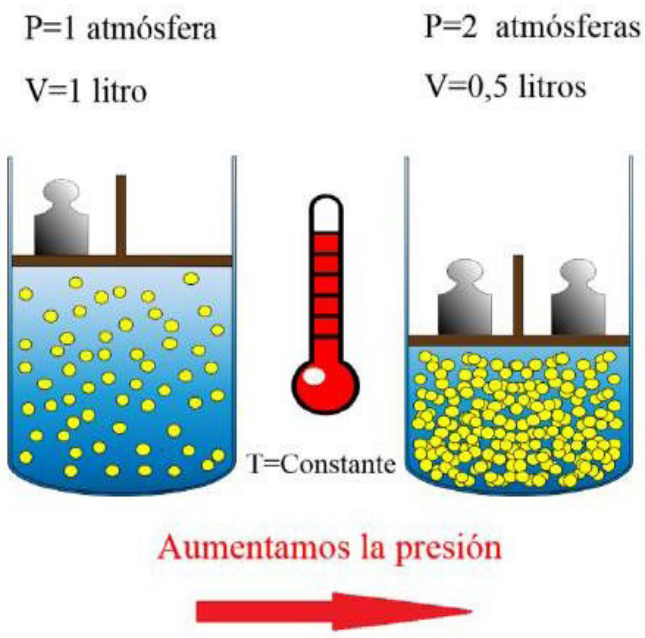
Boyle descubrió en el año 1662, que la presión ejercida por un gas es inversamente proporcional a su volumen, siempre que se encuentre a una temperatura y porción de gas constante, es decir, que si la presión del gas aumenta, su volumen disminuye; por el contrario, cuando la presión del gas disminuye, su volumen aumenta. En términos matemáticos se expresa con la siguiente ecuación:

$$P1 + V1 = P2 + V2$$

Dicha ley se suele utilizar para interpretar los efectos de la altitud sobre los gases en espacios cerrados en el cuerpo del ser humano; también, para calcular el volumen total de gas intratorácico mediante

un examen de pletismografía corporal, que va a medir la capacidad funcional y la fuerza de las vías aéreas. Cuando empieza a aumentar la altitud, la presión atmosférica empieza a bajar, por lo tanto, según la Ley de Boyle, la expansión del volumen se produce en espacios cerrados (figura 11) (3).

Figura 11. Ley de Boyle.



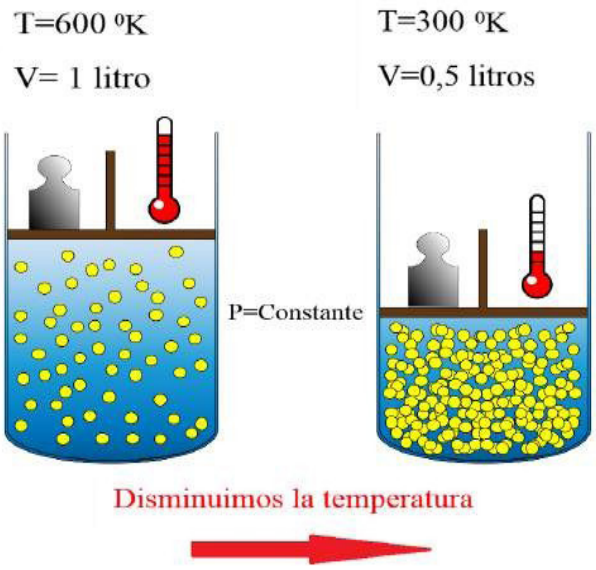
Fuente: Elaboración propia.

Ley de Charles

Charles en el año de 1787 descubrió que el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura a una presión constante, por consiguiente, si el volumen aumenta, de igual forma aumenta la temperatura y por contrario, si el volumen disminuye la temperatura disminuye (figura 12). Esta ley se expresa con la siguiente ecuación matemática:

$$V1 / T1 = V2 / T2$$

Figura 12. Ley de Charles.



Fuente: Elaboración propia.

Un ejemplo claro, es cuando un recipiente que contiene un gas y es sometido a una mayor temperatura, por el proceso de que sus partículas tienden a expandirse, este va a colapsar.

A nivel respiratorio del ser humano, cuando cambia la temperatura va a generar un cambio en el volumen intrapulmonar, como, por ejemplo, en una persona en estado de hipotermia, el tamaño de los gases a nivel alveolar va a disminuir y por el contrario en una persona en estado febril, el tamaño en los alvéolos pulmonares tiende a aumentar (3).

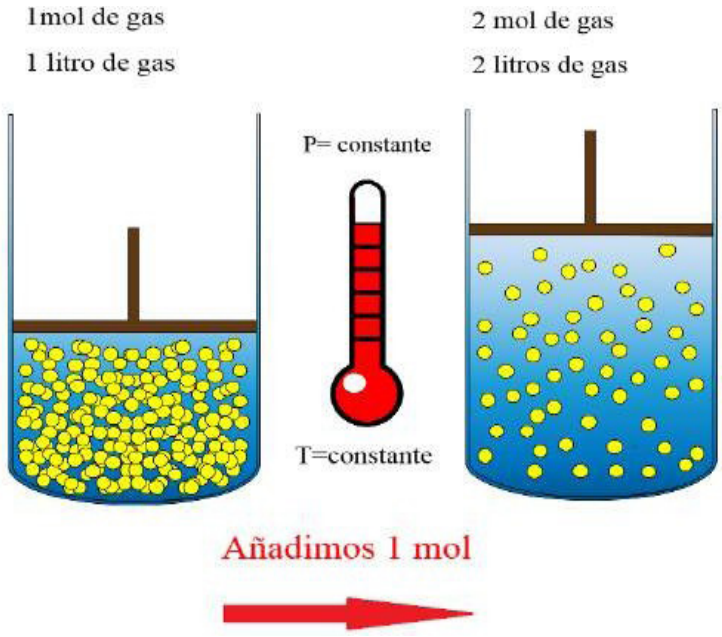
Ley de Avogadro

Avogadro en el año 1811 descubrió que en un gas a temperatura y presión constante, una misma cantidad de partículas, presenta el mismo volumen; es decir, que el volumen del gas es directamente proporcional a la cantidad de partículas de dicho gas, por consiguiente, cuando

aumenta la cantidad del gas, aumenta el volumen y por el contrario, si disminuye la cantidad de gas va a disminuir el volumen (figura 13). Esta ley se puede interpretar con la siguiente fórmula matemática:

$$V1 / n1 = V2 / n2$$

Figura 13. Ley de Avogadro.



Fuente: Elaboración propia

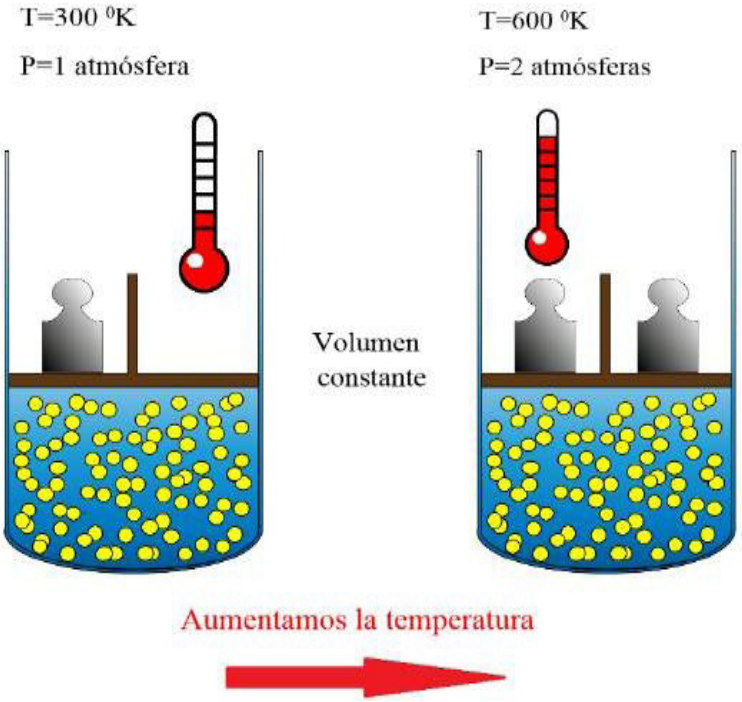
En cuanto a nivel pulmonar dicha ley explica que cuando se inspira poco aire va a ocupar menos espacio en el pulmón, esto se ve reflejado en la expansión, por el contrario, si se ingresa más aire al pulmón va a ocupar mucho más espacio, por consiguiente, se obtiene una expansión pulmonar mayor (3).

Ley de Gay- Lusacc

Gay Lusac descubrió en el año 1802, que la presión de un gas es directamente proporcional a su misma temperatura, por lo que si la temperatura aumenta, la presión también aumenta, por el contrario, si la temperatura disminuye la presión de dicho gas va a disminuir. Dicha ley se expresa con la siguiente fórmula matemática (figura 14) (3).

P1 / T1 = P2 / T2

Figura 14. Ley de Gay- Lusacc



Fuente: Elaboración propia.

Ley de Fick

La ley de Fick describe el proceso de circulación del gas a través de la membrana alveolar-capilar, ocurre a través del proceso de difusión y se expresa con la siguiente fórmula matemática.

$$V\text{ ' gas} = D * A * \Delta P / T$$

- **V ' gas** = Tasa de difusión del gas a través de la membrana permeable.
- **D** = Coeficiente de difusión del gas.
- **A** = Área de superficie.
- **ΔP** = Diferencia de presión del gas a través de la membrana.
- **T** = Espesor de la membrana.

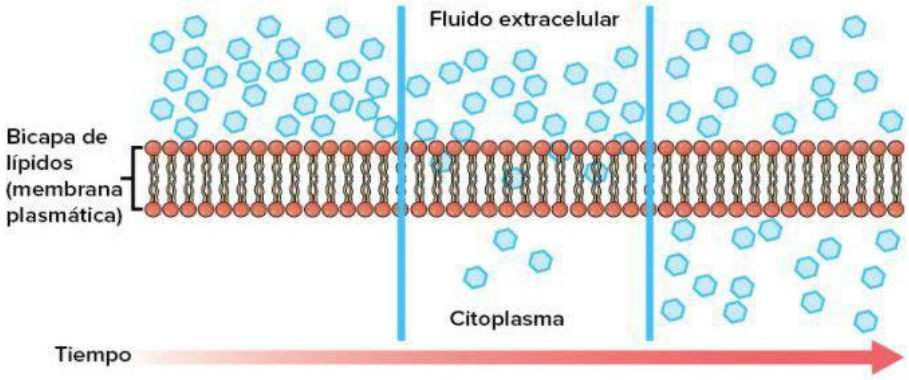
Esta ley considera que la difusión de los gases a través de la membrana depende de los siguientes agentes, tales como: las propiedades químicas de la membrana, el gas y como éstos interactúan.

Independientemente de las propiedades específicas de cada gas y la membrana, la ley de Fick ha establecido que la tasa de difusión de dicho gas es proporcional al área de la superficie (A) e inversamente proporcional al espesor de la membrana (T) (4).

Difusión de los gases

Es el proceso mediante el cual una sustancia tiende a desplazarse de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración, hasta que esta sea igual a nivel de los dos espacios. Las moléculas pueden moverse por difusión a través del citosol celular o también, se difunden a través de la membrana plasmática, pero cuando la desigualdad de concentración a través de una membrana es desfavorable, en ese momento la célula tiene que gastar energía, forzando a un movimiento en contra del gradiente de concentración al que se le conoce como transporte activo (figura 15) (5).

Figura 15. Difusión.

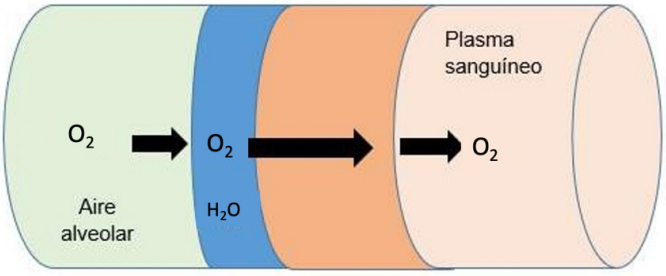


Fuente: Arrazola A. Biología De La Membrana Celular. Nefrología. 2014;14(4):418–26.

Grosor de la membrana

Para que se realice una correcta difusión desde la parte alveolar hacia el plasma, se debe pasar por las siguientes estructuras: membrana capilar, capa de agua, neumocitos tipo 1, intersticio celular, célula epitelial, finalizando con el plasma (figura 16) (5).

Figura 16. Grosor de la membrana.



Fuente: Elaboración propia.

En algunos casos debido a agentes patológicos se presentan variantes a nivel de las barreras de agua, o en caso de infecciones como pus, problemas en el intersticio como sucede en el edema pulmonar, van a producir un incremento del grosor de la membrana, lo que ocasiona que la velocidad en el transporte de oxígeno desde el alvéolo hasta la sangre sea más lenta (5).

Solubilidad del gas

Los gases que pasan a través de la membrana son el oxígeno y el dióxido de carbono, en cuanto a estos dos gases la solubilidad del CO_2 es mayor que a la del oxígeno; en cuanto a los gases que se encuentran en el ambiente que son: nitrógeno 78%, oxígeno 21% y otros gases 1% (5).

Gradiente de presión

El flujo siempre va a ir desde el lugar de mayor concentración hacia el lugar de menor concentración; por ejemplo, si en un lado se tienen 300 moléculas y en el otro lado 70 moléculas, se va a hacer el paso desde las 300 hacia las 70, en cuanto más desigualdad se presente en los lados, se va a observar alterada la velocidad del transporte (5).

Área de contacto

Depende de a qué porcentaje de alvéolos les llega oxígeno para poder realizar el proceso de intercambio gaseoso, es decir, que entre más grande sea el área de contacto a nivel alveolar, será mayor la capacidad de transportar el oxígeno a la sangre; un ejemplo claro en donde se refleja una área de contacto disminuida en patologías infecciosas como, por ejemplo, la neumonía, debido a que una cantidad de alvéolos van a estar ocupados por líquido, por lo que el oxígeno no va a lograr llegar al capilar, como consecuencia, no se logra un adecuado transporte de oxígeno a la sangre (5).

Efecto del ciclo inspiración espiración

Relación ventilación perfusión

La ventilación (V) es el volumen de un gas que es inspirado y espirado por los pulmones en ciclos de tiempo, por lo general en un minuto. Se puede calcular de la siguiente forma matemática: multiplicando el volumen corriente, el cual es el volumen de aire inspirado y espirado durante una respiración, por la frecuencia respiratoria de un minuto, por la perfusión (Q), es el volumen total de sangre que llega a los capilares pulmonares en un tiempo determinado.

La relación que existe entre ventilación y perfusión V/Q para proporcionar una eficacia en la función pulmonar, puede variar según el área del pulmón; las diferencias proporcionales para diferentes áreas por debajo del corazón van a tener mayor perfusión en la relación a la ventilación, esto es debido a la gravedad, que se observará reducida a la proporción ventilación / perfusión, debido a que la gravedad experimenta unos cambios en la ventilación y la perfusión, por medio de los siguientes mecanismos:

- La presión pleural es mayor a nivel de las bases pulmonares, lo que provoca que los alvéolos tiendan a tener mejor ventilación y sean más dóciles.

- La presión hidrostática es menor en los vértices pulmonares, porque se observa como resultado un menor flujo y disminución de la perfusión.

Cuando la gravedad aumenta junto con la perfusión, las zonas apical y media del pulmón son las que experimentan un aumento en la perfusión, de igual manera aumenta el gasto cardiaco (6).

Discrepancia entre ventilación y perfusión

En algunos casos se presenta un desequilibrio entre el flujo de sangre alveolar y la ventilación alveolar, esto se observa reflejado entre la relación ventilación / perfusión. Cuando esto pasa y dicha relación disminuye producto de una ventilación inadecuada, se ve afectado el intercambio gaseoso a nivel alveolar y debido a esto aumentan las presiones parciales de oxígeno y dióxido de carbono.

Para el manejo en estos casos, la vasoconstricción hipóxica se encarga de que la sangre se desplace a lugares del pulmón que están en una adecuada ventilación; la hemoglobina en los capilares alveolares que están bien ventilados se encuentra saturada, significando que los glóbulos rojos no logran unirse al oxígeno para aumentar la presión parcial de oxígeno. Como resultado la presión parcial de oxígeno en sangre se encuentra disminuida ocasionando una hiperventilación y resultando en unos niveles de dióxido de carbono normales o bajos (7).

Diferencias regionales de la ventilación

Cuando un ser humano se encuentra de pie, la gravedad tiene unos efectos sobre la presión arterial pulmonar (Pa), la presión venosa pulmonar (Pv) y la presión alveolar (PA) dependiendo de las zonas pulmonares; por ejemplo, en el ápex el flujopulmonar es menor y se puede incrementar cuando cambia la zona. Específicamente se distinguen cuatro zonas pulmonares (8).

Zona 1: PA > Pa > Pv . Esta se encuentra en la parte superior del ápex pulmonar, cuando las presiones vasculares son críticamente bajas o cuando la presión alveolar se eleva de manera artificial, por medio de ventilación con presión positiva. Estas circunstancias se dan en el ápice del pulmón bajo circunstancias específicas. La Pa y la Pv deben ser tan bajas que estén por debajo de PA para que se consideren vasos alveolares de zona 1.

Zona 2: Pa > PA > Pv. Estas circunstancias suelen darse desde el pulmón medio hasta el ápice. La zona 2 se distingue porque el valor promedio de la Pa y la Pv son lo suficientemente altas como para encerrar a la PA**.** La resistencia creada por la compresión extravascular disminuye en forma gradual, con la altura pulmonar.

Zona 3: Pa > Pv > PA. Estas condiciones prevalecen en el pulmón medio e inferior. El Flujo es máximo en esta zona y es favorecido por el vector gravitacional incrementando las presiones de perfusión de tal manera que no se presenta el colapso vascular (9).

Zona 4: Pa > Pv > PA. En la base de los pulmones se dan estas circunstancias. Las arterias alveolares de la zona 4 responden de forma similar a las de la zona 3 y se agrandan más a medida que nos acercamos a la base del pulmón. Sin embargo, esta zona responde a vasos extraalveolares, los cuales funcionan de forma diferente debido a que estos vasos extra-alveolares alimentan o drenan los vasos alveolares y el flujo sanguíneo comienza a descender desde su pico a medida que nos acercamos la base extrema de los pulmones.

Transporte de O_2 y CO_2

El transporte del oxígeno hacia los tejidos inicia desde la recaptación de la atmosfera; esto se requiere para la respiración interna, teniendo en cuenta que la solubilidad del oxígeno es muy baja a diferencia de otros gases. Por esto la hemoglobina es la principal y única proteína diseñada para ser la transportadora de oxígeno en la sangre, por medio de la vasculatura sistémica, para de esta manera, poder llevarlo hasta los tejidos y así mismo ayudar en el regreso del dióxido de carbono a los pulmones (10).

El dióxido de carbono es un desecho del metabolismo aeróbico, su comportamiento en la sangre es el siguiente, el 7% de CO_2 permanece disuelto en el plasma sanguíneo, el 23% de CO_2 es transportado por la hemoglobina por medio de los glóbulos rojos unidos a ella, es decir ocupando el espacio del oxígeno, cuando esto ocurre se conoce con el

nombre de carbaminohemoglobina o también como carboxihemoglobina; otra forma de transporte de CO_2 que es la más común consiste en transformarlo en bicarbonato (10).

Los glóbulos rojos tienen dos funciones, cuando pasan por los tejidos y cuando pasan por los pulmones. Cuando pasan por los pulmones lo que se requiere es que el glóbulo rojo se sature de oxígeno, pero al mismo tiempo se necesita que el pulmón cumpla con la otra función que es favorecer la salida de CO_2, estabilizando los estados ácido base del cuerpo humano (10).

Hemoglobina

En el año 1849 en medicina y química se descubre que es una proteína asociada con la función fisiológica encargada de transportar el oxígeno; de esta forma se sabe que el 97% de oxígeno es transportado por medio de la hemoglobina y el 3 % sobrante está diluido en el plasma. La hemoglobina es la encargada de fijar el oxígeno y transportarlo por medio de la sangre hacia las células y tejidos que rodean el sistema vascular; cuando el líquido sanguíneo regresa desde los capilares hacia los pulmones, dicha proteína cumple la labor de transportar el dióxido de carbono.

Los valores normales de hemoglobina en sangre son los siguientes:

- Hombres: 13 a 16 g/dl.
- Mujeres: 12 a 15 g/dl.

Esta proteína se encuentra dentro del grupo de los eritrocitos y contiene unos grupos denominados heme, compuestos por hierro donde tiene cuadro subunidades: α1, α2, β1 y β2 que son los encargados de que la hemoglobina se una a las estructuras del oxígeno. Cada gramo de hemoglobina que esté saturada al 100% logra transportar 1,34 ml de oxígeno (11).

Cuando la hemoglobina se une al hierro, este es el que va a permitir la unión del oxígeno al grupo heme, por ende, su transporte, una

vez unida la hemoglobina al hierro, le brinda el color rojizo al liquido sanguíneo, por el contrario, cuando el oxígeno no se encuentra unido al hierro, lo que se conoce como desaturación, esta reacción hace que el color del líquido sanguíneo se torne purpura.

La atracción de la hemoglobina hacia el oxígeno depende del entorno en donde se encuentre; por ejemplo, en entornos donde hay bajos niveles de oxígeno la hemoglobina tiene muy poca afinidad, pasa lo contrario si en dicho entorno hay abundancia de oxígeno y se empiezan a unir la molécula a la hemoglobina que presenta más afinidad, por consiguiente, cada vez que la molécula se va saturando con otra molécula nueva, la afinidad va incrementando (11).

El hierro, normalmente en soluciones acuosas, se encuentra en dos estados que pueden ser: estado ferroso, o en estado férrico, pero el oxígeno solo se puede unir al hierro cuando se encuentra en su estado ferroso; cuando se encuentra en estado férrico el oxígeno es incapaz de unirse a la hemoglobina y se conoce como metahemoglobina que no posibilita el transporte de oxígeno hacia los tejidos.

Cuando la temperatura corporal no se encuentra en valores normales puede causar errores en la interpretación en los valores de gases en sangre, debido que a medida que la temperatura incrementa, la afinidad disminuye de la hemoglobina hacia el oxígeno, permitiendo la liberación de oxígeno, un ejemplo es cuando se practica ejercicio intenso prolongado. Por esta razón, cuando se requiere un examen de hemoglobina en sangre, dicha prueba se debe tomar cuando la persona no tenga un sobre esfuerzo físico, que pueda modificar la temperatura corporal (11).

Curva de disociación de la HB

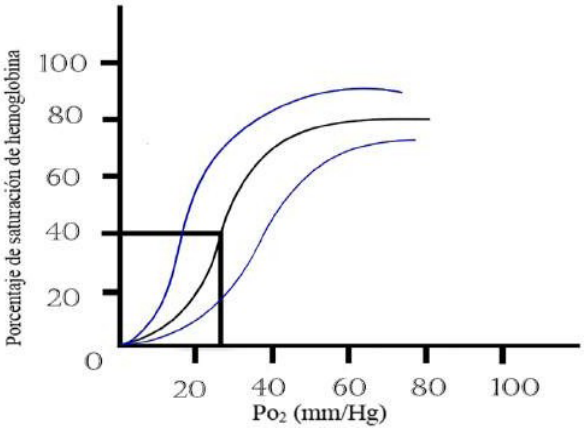
La curva de disociación de la hemoglobina tiene una forma sigmoidea en forma de S, que representa la saturación de oxígeno en función de la presión de oxígeno; dicha curva representa el aumento progresivo

de los porcentajes de hemoglobina como resultado del aumento de la presión parcial de oxígeno en sangre.

La presión parcial de oxígeno se define como la P50 que es necesaria para obtener una saturación de hemoglobina del 50% y sus valores oscilan alrededor de los 27 mm/Hg.

Algunos factores desplazan la forma de la curva hacia la derecha o la izquierda, pero siempre se mantiene la forma sigmoidea; por ejemplo, cuando la atracción de hemoglobina hacia el oxígeno aumenta la curva, se observa desplazada hacia la izquierda y la P50 de igual manera disminuye; por el contrario, cuando la afinidad disminuye la curva se traslada hacia la derecha y la P50 aumenta (figura 17) (11).

Figura 17. Curva de disociación de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

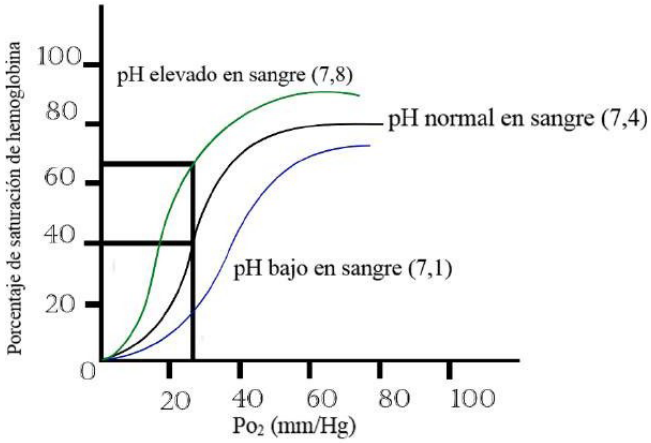
Factores que modifican la curva de disociación de la hemoglobina

Dependen del estado en el que se encuentra el ser humano, es decir, hay ocasiones en las que se requiere más o menos consumo de oxígeno; por ejemplo, existen momentos en que el cuerpo se encuentra en reposo o

en actividad, por esto, la hemoglobina tiene que censar estos cambios de estado, para poder entregar la cantidad de oxígeno requerida por el sistema metabólico, produciendo un cambio en donde se observara la curva desplazada hacia la derecha o izquierda, el cual se denomina cambios de la atracción de la hemoglobina por el oxígeno (11).

El pH: Cuando un tejido se encuentra en actividad libera productos de desecho que producen el cambio del pH; normalmente cuando son productos de actividad energética son niveles ácidos. Por el contrario, cuando un tejido se encuentra en reposo o poco activo produce niveles de pH alcalinos; esto va a producir el desplazamiento de la curva y afecta directamente a la saturación de oxígeno. Cuando el pH es menor la curva se traslada hacia la derecha y cuando el pH es mayor la curva se traslada hacia la izquierda (figura 18) (11).

Figura 18. Efecto del pH sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.

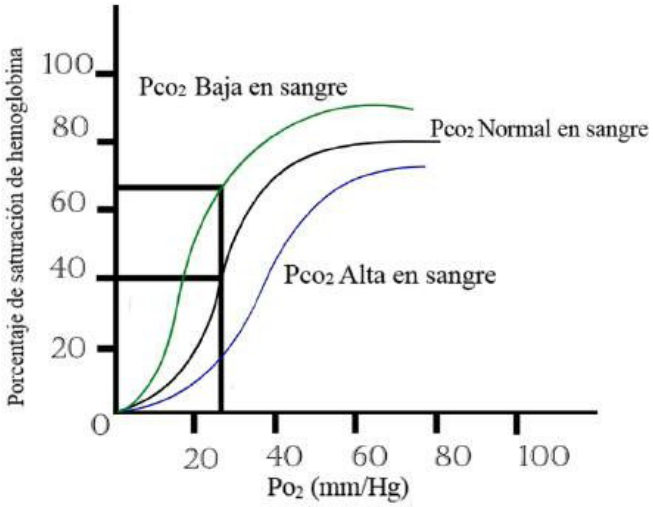


Fuente: Elaboración propia.

PCO_2: El CO_2 es capaz de modificar el pH y también es uno de los desechos del metabolismo aeróbico, por lo tanto, los niveles de CO_2 incrementados o disminuidos son señales para la hemoglobina que ese tejido necesita más oxígeno o menos oxígeno. Si los niveles de CO_2 son elevados la curva se traslada en dirección a la derecha, favoreciendo

la llegada de oxígeno a los tejidos o, por el contrario, si los niveles de CO_2 son menores, la curva se traslada con dirección a la izquierda, facilitando que la hemoglobina se quede con el oxígeno (Figura 19) (11).

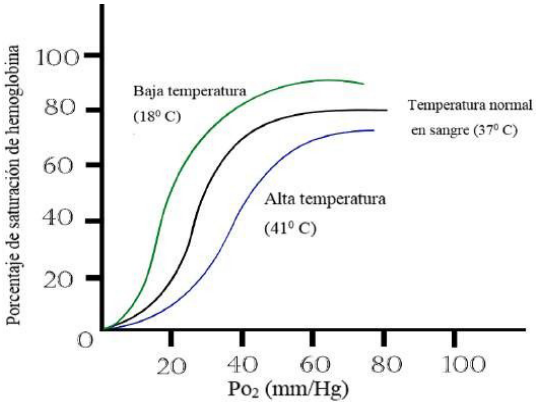
Figura 19. Efecto de la Pco_2 sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Temperatura: Todo tejido en actividad cambia su temperatura; cuando un tejido está activo su temperatura aumenta y esto modifica la afinidad de la hemoglobina; cuando un tejido tiende a tener niveles de temperatura bajos, favorece para que la hemoglobina no suelte el oxígeno en los tejidos, produciendo el traslado de la curva con dirección a la izquierda, mientras que cuando los niveles de temperatura son altos, la curva se desplaza hacia la derecha (figura 20) (11).

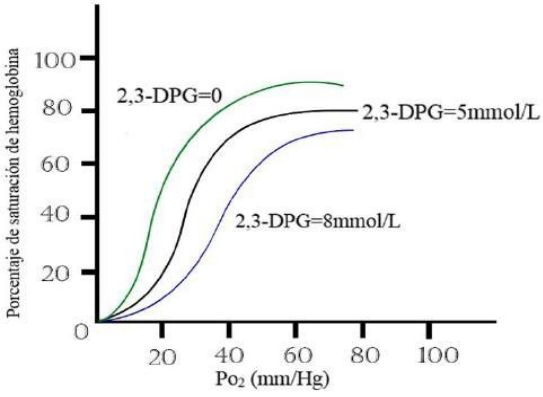
Figura 20. Efecto de la temperatura sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

2,3-Difosfoglicerato: Es un desecho producido por el metabolismo aeróbico que está relacionado con la mitocondria; entre más alto sea su valor en el tejido la mitocondria trabaja más; cuando los valores de 2,3-difosfoglicerato son altos, ocasiona que la curva se desplace con dirección hacia la derecha, contrario si sus valores son bajos, la curva se desplazará con dirección a la izquierda (Figura 21) (11).

Figura 21. Efecto del 2,3-difosfoglicerato sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.



Fuente: Elaboración propia.

Diferencia arterio venosa de O_2

Es la diferencia que existe en el porcentaje de oxígeno entre la sangre arterial y la sangre venosa. Esto indica el gasto de oxígeno de los tejidos; entre mayor sea la diferencia, mayor será la demanda de oxígeno por los tejidos del cuerpo humano. Cuando la sangre ingresa a los capilares, su concentración de oxígeno es muy parecida a la arterial, pero cuando es transportada hacia el capilar, empieza a disminuir, debido a que el oxígeno se disuelve por el líquido intersticial con dirección a las células. Por lo anterior, la sangre que sale del capilar tiene un porcentaje de oxígeno igual al venoso.

Si se realiza el cálculo de la diferencia de oxígeno que ingresa y sale desde el capilar se obtiene el resultado del consumo tisular; si se realiza esto en una persona en estado de reposo, el valor es de 3 a 5 mL por cada dL de sangre, pero este valor no se puede utilizar en una persona que se encuentra en estado patológico puesto que se puede generar un mayor consumo de oxígeno por parte de todos los tejidos, debido a que se activan mecanismos de compensación, produciendo una alteración en la diferencia arterio-venosa(14).

Conclusiones

La realización de este capítulo del libro tuvo la intención de conocer más a fondo sobre el proceso de intercambio gaseoso en el cuerpo humano. Los principales órganos encargados del intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire y la sangre son los pulmones, el cual se lleva a cabo dentro de los alvéolos en la interfaz hemato gaseosa, y sirven para el transporte de la circulación pulmonar.

La intervención de la gravedad tiene sus efectos en los vasos sanguíneos dentro del pulmón, creando tres zonas propias con su respectivo flujo, dando como resultado que las presiones de perfusión y el flujo sean más bajas en el ápex pulmonar que corresponde a la zona superior y que el flujo pulmonar sea más elevado en las bases pulmonares.

El intercambio de oxígeno y dióxido de carbono se realiza por el proceso de difusión, en donde intervienen unos factores como el grosor de la membrana, la solubilidad del gas, el gradiente de presión y el área de contacto.

Otro factor que es muy importante en el intercambio gaseoso son las leyes químicas de los gases, como lo plantean distintos autores, dependen de la temperatura y las presiones.

La hemoglobina es la principal proteína transportadora del oxígeno con destino a los tejidos; así mismo, el dióxido de carbono es transportado entre la asociación de esta proteína y el bicarbonato.

La curva de disociación de la hemoglobina puede desplazarse con dirección a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la modificación de algunos factores como pueden ser el pH, temperatura, $pco_{2,}$ o 2,3-difosfoglicerato, de esto va a depender el transporte y consumo del oxígeno por los tejidos, en donde en algunas ocasiones puede aumentar o disminuir la demanda.

Referencias bibliográficas

1. Stickland MK, Lindinger MI, Olfert IM, Heigenhauser GJ, Hopkins SR. Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. Compr Physiol. 2013 Apr;3(2):693-739. doi: 10.1002/cphy.c110048. PMID: 23720327; PMCID: PMC8315793.

2. Ortiz-Prado E, Dunn JF, Vasconez J, Castillo D, Viscor G. Presión parcial de oxígeno en el cuerpo humano: una revisión general. Soy J Blood Res. 2019; 9 (1): 1–14.

3. Chandan G, Cascella M. Leyes de los gases y aplicación clínica. En: StatPearls Treasure Island. 2020

4. Martelli F, Del Bianco S, Ismaelli A, Zaccanti G. Light Propagation through Biological Tissue and Other Diffusive Media. 1000 20th Street, Bellingham WA 98227-0010 USA: SPIE; 2010. p. 246–9.

5. Boron W. Fisiología médica [Internet]. Com.co. [citado el 12 de mayo de 2021].Disponible en: http://www.expolibros.com.co/index.php/medicina/medicina/fisiologia/boron- fisiologia-medica

6. Harvey R. Lippincott's illustrated reviews. Barcelona; 2013.

7. Dunn J-O, Mythen MG, Grocott MP. Physiology of oxygen transport. BJA Educ. 2016;16(10):341–8. DOI: https://doi.org/10.1093/bjaed/mkw012

8. Wagner PD. The physiological basis of pulmonary gas exchange: Implications for clinical interpretation of arterial blood gases. Eur Respir J [Internet]. 2015;45(1):227–43. DOI: https://doi.org/10.1183/09031936.00039214

9. Raff H, Levikzky M. Fisiología medica un enfoque por aparatos y sistemas. Mexico. Lange; 2011. 803p.

10. Canet J. Fisiología Respiratoria. Soc Catalana Anestesiol Reanim y Ter del dolor. 2006.

11. Peñuela OA. Edu.co [En ligne]. 2005. Hemoglobina: una molécula modelo para el investigador [cité le 1 April 2022]. Disponible: http://colombiamedica.univalle.edu.co/index.php/comedica/article/view/366/e

12. Guyton, Hall J. Tratado de fisiología médica. Elsevier; 2016. 1168p.