



ULL

---

Universidad de La Laguna

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**Procesos ligados al transporte de gases en la sangre: caso del dióxido de carbono.**

**Autora: Elena Cristina Alba Rodríguez**

**Grado en Farmacia**

**Curso académico: 2021/2022**

**Tutor: Agustín Rodríguez Gutiérrez**



Facultad de Farmacia  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA



**Departamento de Química**  
**Universidad de La Laguna**

Por la presente el Dr. D. Agustín Rodríguez Gutiérrez, profesor Titular del área de Química Inorgánica, autoriza la presentación del Trabajo de Fin de Grado titulado:

**Procesos ligados al transporte de gases en la sangre:  
caso del dióxido de carbono.**

y que ha sido presentado en el curso 2020-2021 por la alumna del Grado en Farmacia Elena Cristina Alba Rodríguez.

La Laguna, a 16 de junio de 2021

Fdo:

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.  
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 2923021 Código de verificación: 9u0e7toC3

Firmado por: Agustín Rodríguez Gutiérrez  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 16/06/2021 14:25:14

## índice

1. Resumen .....	4
2. Abstrac.....	5
3. Introducción.....	6-7
4. Objetivo .....	8
5. Metodología.....	8
6. Propiedades fisicoquímicas del CO <sub>2</sub> .....	9
6.1 Aplicaciones del CO <sub>2</sub> .....	9-11
7. Funciones del CO <sub>2</sub> en nuestro organismo .....	12
7.1 Respiración .....	12-14
7.1.2 Intercambio de gases .....	15-19
7.2 Influencia del pH .....	19
8. Influencia del transporte de CO <sub>2</sub> en el organismo.....	20
9. Conclusiones.....	21
10. Bibliografía.....	22-24

## 1. Resumen

El dióxido de carbono es un gas, que pertenece a la clase de compuestos inorgánicos conocidos como óxidos no metálicos. Se puede encontrar una diversidad de aplicaciones del CO<sub>2</sub> en varias áreas. Por otro lado, el dióxido de carbono desempeña un papel importante en el organismo, específicamente en dos procesos fisiológicos como la respiración y la regulación del pH en la sangre.

Dado el impacto de este compuesto en la cotidianidad de muchos procesos que tienen cabida en el ámbito tecnológico y medicinal, surge la necesidad de una revisión sobre los roles de esta sustancia en los diferentes campos de la ciencia y la tecnología.

En este orden de ideas, el objetivo general de este TFG es el análisis del proceso de transporte de dióxido de carbono en la sangre. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de diversos artículos científicos, utilizando diferentes bases de datos bibliográficas. Derivado de dicha revisión se encuentra que las propiedades fisicoquímicas del CO<sub>2</sub>, específicamente la solubilidad en la sangre, determinan la capacidad de difusión de dicho gas.

El CO<sub>2</sub> también juega un papel importante en la regulación del pH del medio, derivado de su transformación en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y su inmediata disociación produciendo iones H<sup>+</sup>. De esta forma se favorece la liberación de oxígeno de la sangre a los tejidos, además de provocar cambios en el equilibrio del intercambio de gases causando trastornos en el proceso de transporte lo que podría provocar insuficiencia respiratoria.

Palabras clave: dióxido de carbono, intercambio de gases, respiración.

## 2. Abstrac

Carbon dioxide is a gas, which belongs to the class of inorganic compounds known as non-metallic oxides. A diversity of applications of CO<sub>2</sub> can be found in various areas. On the other hand, carbon dioxide plays an important role in the body, specifically in two physiological processes such as respiration and blood pH regulation.

Given the impact of this compound in the daily life of many processes that have a place in the technological and medicinal field, the need arises for a review of the roles of this substance in the different fields of science and technology.

In this order of ideas, the general objective of this TFG is the analysis of the process of carbon dioxide transport in blood. For this purpose, a bibliographic review of several scientific articles was carried out, using different bibliographic databases. From this review it was found that the physicochemical properties of CO<sub>2</sub>, specifically its solubility in blood, determine the diffusion capacity of this gas.

CO<sub>2</sub> also plays an important role in the regulation of the pH of the medium, derived from its transformation into carbonic acid (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) and its immediate dissociation producing H<sup>+</sup> ions. In this way it favors the release of oxygen from the blood to the tissues, besides causing changes in the balance of gas exchange causing disorders in the transport process which could lead to respiratory failure.

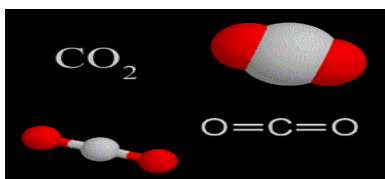
Key words: carbon dioxide, gas exchange, respiration.

### 3. Introducción

El dióxido de carbono es un gas inodoro, incoloro, ligeramente ácido y no inflamable a temperatura ambiente. Pertenece a la clase de compuestos inorgánicos conocidos como óxidos no metálicos, los cuales se caracterizan por la formación de enlaces covalentes entre un átomo de oxígeno en estado de oxidación (2-) y un átomo no metálico (1).

El dióxido de carbono es una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno, tal como se indica en la figura 1.

Puede existir de tres formas: Gaseosa (principalmente), Sólida, Líquida (punto de fusión  $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (3)



**Figura 1. Estructura molecular del dióxido de carbono. Fuente: Lentech (2002)**

En el ser humano, el dióxido de carbono ha sido encontrado en tejidos de hígado y riñón, así como también se ha detectado en múltiples biofluidos, como orina y sangre.

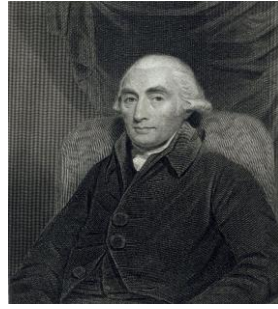
El dióxido de carbono se puede encontrar en cualquier parte de la célula humana, como en el peroxisoma, el aparato de Golgi, núcleo y retículo endoplásmico. (2)

Fue uno de los primeros gases descritos como una sustancia con propiedades distintas a las conocidas en el aire.

En el siglo XVII, el químico Jan Baptist Van Helmont observó que cuando se quemaba carbón en un recipiente cerrado, la masa resultante de la ceniza era mucho menor que la masa del carbón original, dando indicios de la producción de algún gas.

Las propiedades del dióxido de carbono fueron estudiadas más a fondo en la década de 1750 por el médico escocés Joseph Black, quien encontró que la piedra caliza (carbonato de calcio) al calentarse o tratarse con ácidos producía un gas que llamó "aire fijo". Observó que el aire fijo era más denso que el aire y que no sustentaba ni las llamas ni a la vida animal. Josep Black también encontró que al burbujear ese gas a través de una solución acuosa de cal (hidróxido de calcio), se precipitaba el carbonato de calcio.

Posteriormente se utilizó este fenómeno para ilustrar que el dióxido de carbono se produce por la respiración animal y la fermentación microbiana (4).



**Figura 2. Joseph Black. Fuente: West (2014)**

Este gas se encuentra en muy baja concentración atmosférica (0,03 - 0,06%), sin embargo, es un ingrediente necesario en el ciclo de vida de animales y plantas, se libera en la respiración de los seres vivos y es retenido por las plantas en forma de carbono a través de la fotosíntesis (5).

Si bien, el dióxido de carbono se usa en muchos procesos industriales, también juega un importante papel en la fisiología de los seres vivos. El dióxido de carbono se puede biosintetizar a partir del ácido oxoadipico; que es catalizado por el complejo de enzima oxoglutarato deshidrogenasa (6). Por otro lado, tiene un importante rol en rutas metabólicas como la biosíntesis de fosfatidiletanolamina y fosfatidilcolina.

Como desecho metabólico celular, el dióxido de carbono se excreta por medio de la respiración. Esto se realiza a través del intercambio de gases, cuyo objetivo es la fijación del oxígeno necesario para el funcionamiento celular y la eliminación del dióxido de carbono (7). Cabe destacar que las alteraciones en el intercambio de gases afectan a los valores de las presiones de estos gases, produciendo insuficiencia respiratoria (8). De hecho, la toxicidad del dióxido de carbono se ha establecido durante casi un siglo.

Diversos experimentos con animales han explorado la afectación aguda y a largo plazo en pulmones, sistema cardiovascular y la vejiga, mostrando efectos inflamatorios y posiblemente carcinógenos, además se ha observado también, que induce múltiples malformaciones fetales (exposición de ratas al 6% de CO<sub>2</sub> en un período único de 24 horas entre los días 5 y 21 de gestación) y reduce la fertilidad de los animales, aunque se ha podido comprobar que esto depende tanto de la dosis como de la duración de la exposición. A sí pues, la exposición prolongada a niveles bajos (1,3 y 3% de CO<sub>2</sub>) no produjo ninguna reducción de fertilidad (9).

#### 4. Objetivos

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre las propiedades del dióxido de carbono y su papel en el intercambio de gases en la sangre.
2. Conocer las funciones del dióxido de carbono en la respiración de los seres vivos.
3. Comprender la influencia del dióxido de carbono en la regulación del pH de la sangre
4. Visualizar mediante el uso de mapas conceptuales la información obtenida más significativa y algunas de sus interacciones.

#### 5. Metodología

Se ha realizado una revisión bibliográfica de diversos artículos científicos donde se constata que no hay bibliografía reciente, y que la bibliografía más actual se relaciona más con el campo de la salud.

<b>Base de datos</b>
<b>Elservier</b>
<b>Dialnet</b>
<b>Pubmed</b>
<b>American Chemical Society</b>
<b>Punto Q (Biblioteca de la Universidad de La Laguna)</b>
<b>Meedly (Sirve como gestor bibliográfico)</b>
<b>Google Scholar</b>

Para poder hacer una citación de las referencias bibliográficas, se ha utilizado el gestor bibliográfico RefWorks. También se hará uso de mapas conceptuales para poder visualizar la relación existente entre algunos de los contenidos destacables del TFG.

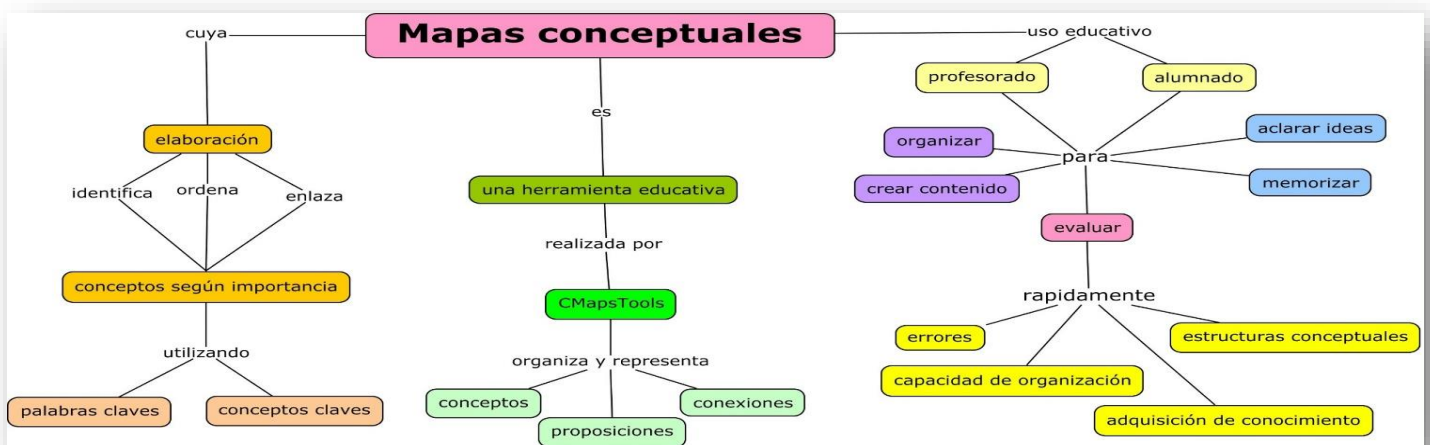


Figura 3. Mapa conceptual de elaboración propia



## 6. Propiedades fisicoquímicas del CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es una molécula triatómica estable y relativamente inerte que existe como gas a temperatura y presión ambientales. La molécula tiene una estructura lineal en la que el átomo de carbono está unido a dos átomos de oxígeno a través de dobles enlaces, formando dos enlaces C = O (ver Figura 1).

Cada enlace C = O tiene una longitud de 116,3 pm y una energía de enlace de 750 kJ/mol (10).

Los modos vibracionales asimétricos asociados a los enlaces C = O, permiten la absorción y emisión de radiación infrarroja a 4,26 μm y 14,99 μm, respectivamente (11). Otras propiedades fisicoquímicas son presentadas en la Tabla 1.

<b>Fórmula química</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Masa Molecular</b>	<b>44,0 g/mol</b>
<b>Punto de sublimación</b>	<b>-79°C</b>
<b>Punto de fusión</b>	<b>-56,6 a 3952 mmHg</b>
<b>Solubilidad en agua</b>	<b>88 ml de CO<sub>2</sub>/100 ml de H<sub>2</sub>O a 20°C</b>
<b>Presión de vapor</b>	<b>42978 mmHg</b>
<b>Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml)</b>	<b>1,5 g/ml</b>

**Tabla 1. Algunas propiedades fisicoquímicas del CO<sub>2</sub>. Tomado de la referencia 2.**

### 6.1 Aplicaciones del CO<sub>2</sub>

Se puede encontrar una diversidad de aplicaciones del CO<sub>2</sub> en varias áreas, tanto de la industria como de la salud.

Desde el punto de vista biotecnológico cabe destacar el uso del CO<sub>2</sub> como fluido supercrítico de extracción para componentes (aceites) de productos naturales y compuestos de impacto farmacéutico.

La extracción de fluidos supercríticos es el proceso de separar un componente (el extracto) de otro (la matriz). Las condiciones de extracción del CO<sub>2</sub> supercrítico están por encima de la temperatura crítica de 31 °C y la presión crítica de 74 bar. Los fluidos supercríticos como el CO<sub>2</sub> son gases altamente comprimidos, que combinan de manera integral, las propiedades de gases y líquidos (12).

La aplicación del CO<sub>2</sub> como fluido supercrítico se destaca en la extracción de sustancias como Acizol (13), β-Caroteno (14), Curcumina (15), Ibuprofeno (16), entre otras.

Otros usos del CO<sub>2</sub> se encuentran en el control de atmósferas inertes, en el transporte de productos a baja temperatura (por ejemplo, vacunas) y en procesos de síntesis química de diversos compuestos (17).

El dióxido de carbono se utiliza en la laparoscopia. Como el interior del abdomen es oscuro, se tiene que agregar luz a través del mismo laparoscopio utilizando una fuente de luz fría, transmitida a través de fibra óptica. A esto se agrega un insuflador, que es un dispositivo que insufla CO<sub>2</sub> por una aguja previamente colocada en la pared abdominal (18). En otros casos, específicamente, durante la crioterapia, se hace circular dióxido de carbono líquido, que está muy frío, por una sonda colocada al lado del tejido anormal.

El CO<sub>2</sub> también encuentra un uso en la prevención de la hipocapnia (reducción del dióxido de carbono en la sangre) durante la hiperventilación (17).

A nivel industrial, el dióxido de carbono se usa para las bebidas carbonatadas como refrescos, agua mineral o cerveza y para la maduración del vino. La carbonatación es la saturación de un líquido con gas CO<sub>2</sub>. En otras palabras, es un término utilizado para describir la disolución de gas CO<sub>2</sub> en agua utilizando presión y temperatura. Por lo general, incluye CO<sub>2</sub> frío a alta presión.

La clasificación de refrescos basada en el grado de carbonatación es la siguiente:

- a)** 3,5 o más en % V/V de CO<sub>2</sub> (colas, tónicos o refrescos);
- b)** 2,5 – 3,5 % V/V de CO<sub>2</sub> (limón, lima, soda o pomelo);
- c)** 1.0 – 2.5 % V/V de CO<sub>2</sub> (fresa, cereza, uva, naranja, piña o ponche de frutas) (19).

En la industria alimentaria se emplea dióxido de carbono para aplicaciones de procesamiento de alimentos como enfriamiento y congelación, envasado en atmósfera modificada, control de temperaturas para productos que se almacenan y transportan. Igualmente, el dióxido de carbono aumenta la vida útil de muchos productos alimenticios gracias a sus propiedades fungistáticas y bacteriostáticas.

Un caso particular para destacar es la inactivación de enzimas (20). Los microorganismos lipolíticos, como las bacterias psicrótróficas, se encuentran a menudo en los alimentos grasos.

Estas bacterias pueden producir la enzima lipasa durante el almacenamiento, la cual puede afectar la calidad de los alimentos.

Por ejemplo, el aumento de la actividad de la enzima lipasa puede provocar rancidez de los alimentos grasos.

Así pues, se puede utilizar  $\text{CO}_2$  a presión atmosférica para inactivar la enzima lipasa. Aproximadamente el 84% de la actividad inicial de la enzima se pierde a un pH inicial de 7,15 y 50 °C en 5 min.

Este tratamiento con  $\text{CO}_2$  a presión atmosférica puede utilizarse como una posible técnica no térmica para la conservación de alimentos líquidos (21).

En materia de productos químicos, el  $\text{CO}_2$  se usa como materia prima en procesos químicos como la síntesis de urea o metionina y además se usa en el control de las temperaturas de reactores, así como en la neutralización de los efluentes alcalinos. Finalmente, el  $\text{CO}_2$  se usa en muchas industrias para controlar el pH de los efluentes líquidos, especialmente como una alternativa al ácido sulfúrico para el control del equilibrio del pH (22).



**Figura 4. Mapa conceptual. Otras aplicaciones del  $\text{CO}_2$  (5). Elaboración propia**

## 7. Funciones del CO<sub>2</sub> en nuestro organismo

Como se ha mencionado anteriormente, el dióxido de carbono desempeña un papel importante en el organismo, específicamente en dos procesos fisiológicos como lo son la respiración y la regulación del pH en la sangre. A continuación, se explicarán dichos procesos y el rol que desempeña el CO<sub>2</sub>.

### 7.1 Respiración

La respiración es un proceso involuntario y automático, cuyo objetivo es proporcionar O<sub>2</sub> a los tejidos y retirar el CO<sub>2</sub> de ellos (7). A nivel celular, la respiración es una ruta metabólica que descompone la glucosa y produce ATP. Las etapas de la respiración celular incluyen la glucólisis, la oxidación del piruvato, el ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa (23).

Desde el punto de vista fisiológico, el proceso de respiración se realiza mediante el sistema respiratorio que a su vez está constituido de una serie de órganos que se clasifican según lo muestra la figura 5.

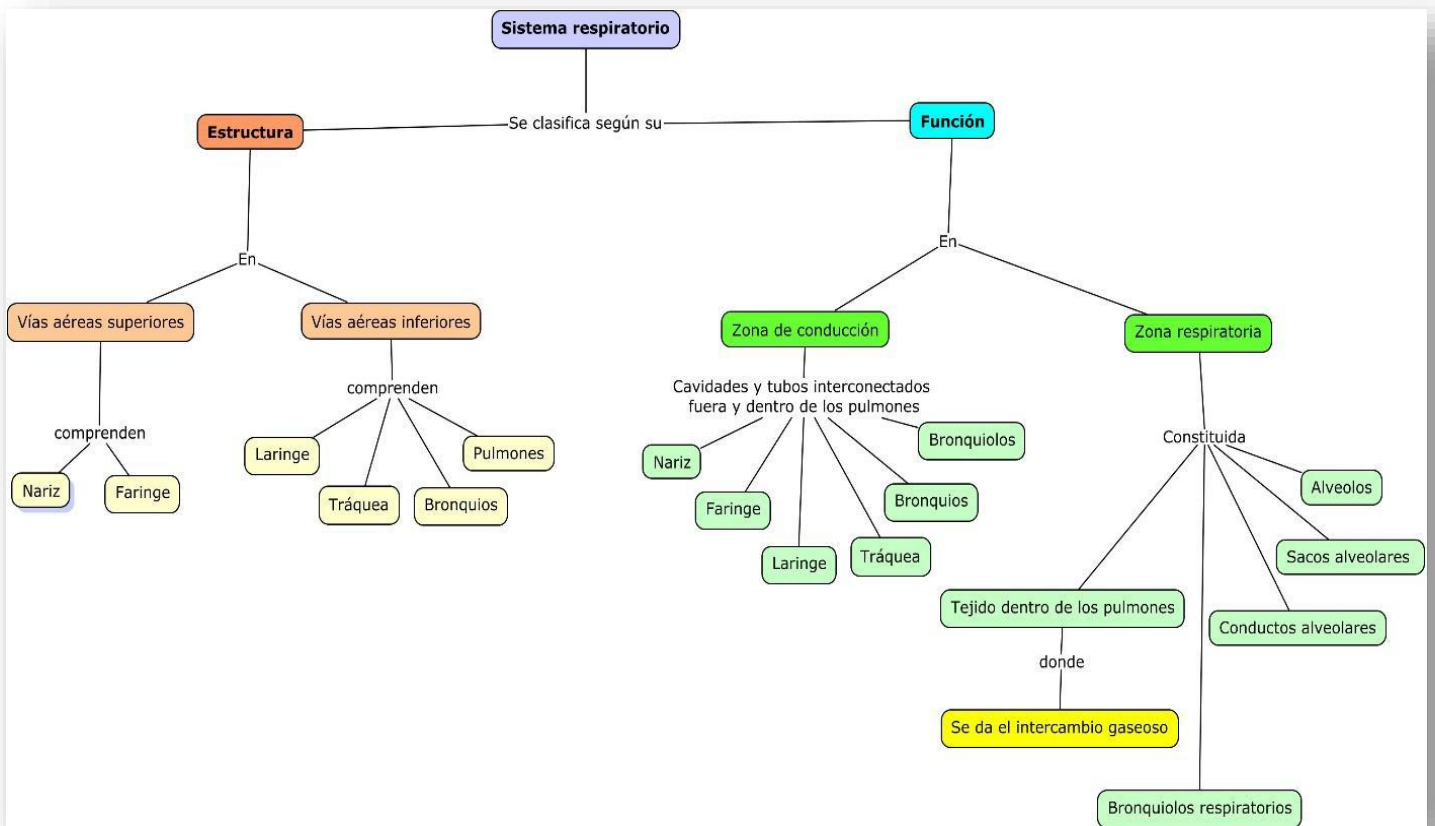
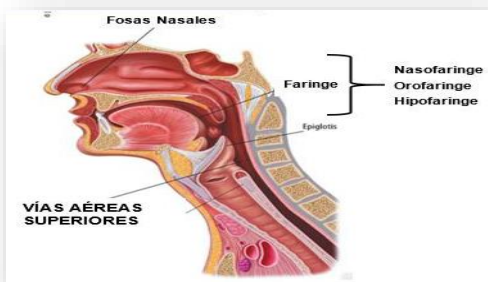


Figura 5. Mapa conceptual de la clasificación del sistema respiratorio.

Elaboración propia (6 y 7)

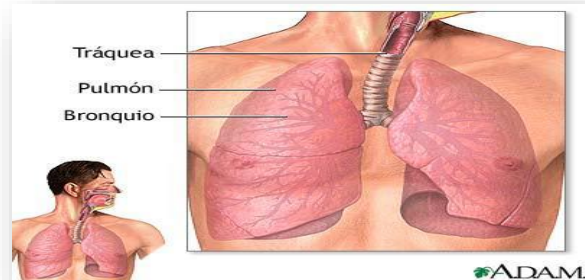
En las figuras siguientes se muestran los órganos que constituyen la vía aérea superior (24) y las vías aéreas inferiores (25).



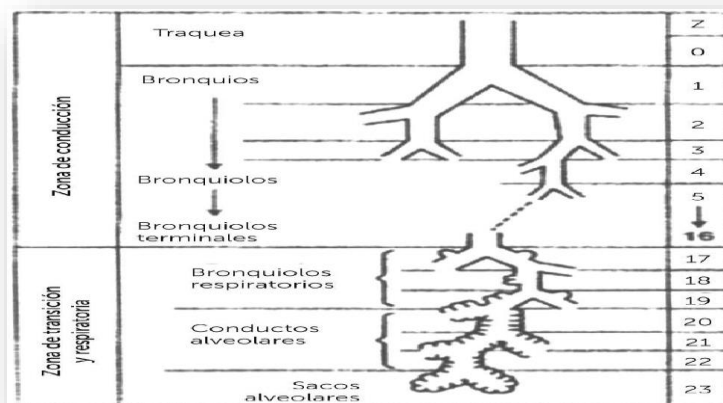
**Figura 6. Esquema de las distintas regiones que constituyen la vía aérea superior.**

**Fuente: Ruiz, 2018 <sup>(6)</sup>**

**Figura 7. Esquema de las distintas regiones que constituyen las vías aéreas inferiores. Fuente: Rhoades, 2012<sup>(7)</sup>**



En la figura 8 se muestra una representación esquemática de la ramificación de la vía aérea del pulmón humano, en las primeras generaciones (Z) que constituyen las vías respiratorias de conducción, y las siete últimas, la zona respiratoria (o las zonas de transición y respiratoria). Cabe resaltar, que el árbol respiratorio está dividido en dos zonas; la tráquea y las primeras 16 generaciones de ramas de las vías respiratorias que forman la zona conductiva. Las siete últimas generaciones de vías respiratorias forman parte de la zona respiratoria, el punto de intercambio de gases (26).

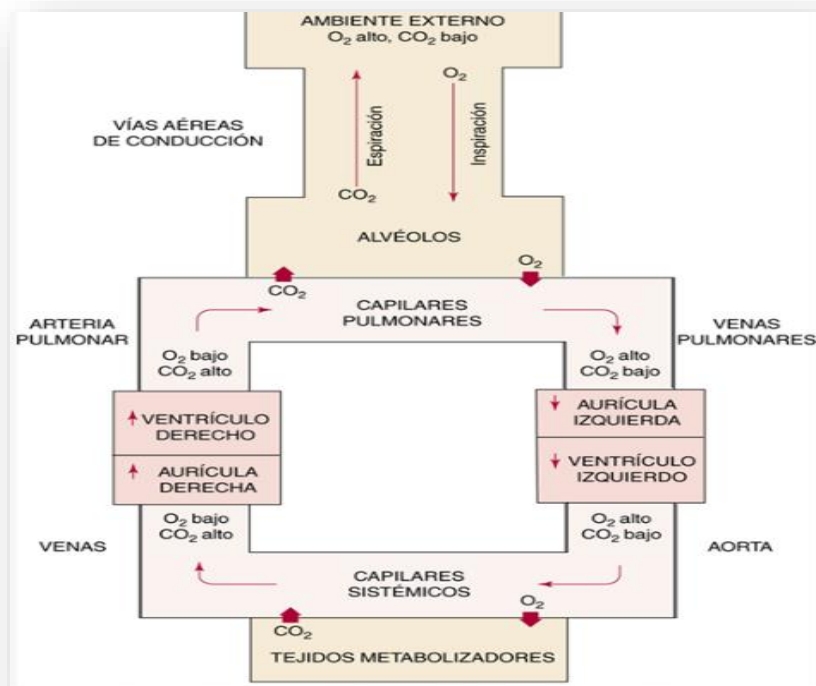


**Figura 8. Representación esquemática de la ramificación de la vía aérea del pulmón humano. Fuente: Fisiología Respiratoria, John B. West. <sup>(8)</sup>**

En este sentido, el proceso de respiración comprende las siguientes cuatro funciones:

- 1) Ventilación pulmonar
- 2) Difusión de  $O_2$  y de  $CO_2$  entre los alvéolos y la sangre.
- 3) Transporte de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre y los líquidos corporales hacia y desde las células de los tejidos.
- 4) Regulación de la ventilación y otras facetas de la respiración (27)

Estos procesos se ilustran en la figura 9.



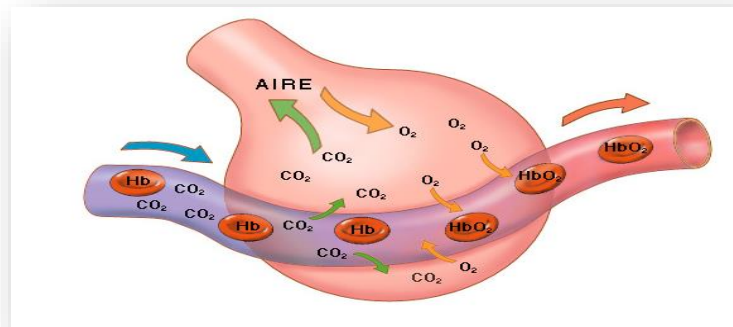
**Figura 9. Representación esquemática del intercambio de gases entre los tejidos del cuerpo y el ambiente.** (Modificada con autorización de Levitzky MG: *Pulmonary Physiology*, 7th ed. New York: McGraw-Hill Medical, 2007.)<sup>(9)</sup>

### 7.1.2 Intercambio de gases

Una vez que se da la ventilación pulmonar, la cual se refiere al flujo de entrada y salida de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares (28), se da paso al intercambio de gases desde y hacia las células correspondientes. La respiración externa o intercambio pulmonar de gas implica la difusión de  $O_2$  del aire de los alvéolos pulmonares a la sangre en los capilares pulmonares y la difusión de  $CO_2$  en la dirección opuesta.

La respiración externa en los pulmones convierte la sangre desoxigenada proveniente del lado derecho del corazón en sangre oxigenada que vuelve al lado izquierdo del corazón. A medida que la sangre fluye a través de los capilares pulmonares, capta  $O_2$  del aire alveolar y desprende  $CO_2$  hacia este. Este proceso es conocido como “intercambio de gases”, y donde cada gas se difunde independientemente desde el área donde su presión parcial es mayor hacia el área donde su presión parcial es menor.

En cuanto a la respiración interna esta se da con el intercambio de  $O_2$  y  $CO_2$  entre capilares sistémicos y las células, es decir tiene lugar en todos los tejidos del cuerpo. El  $CO_2$ , sigue la misma ruta que el  $O_2$ , pero en dirección opuesta, es decir pasa de las células a la sangre u otros fluidos internos y de estos al exterior a través de la pared corporal o del órgano respiratorio (29).



**Figura 10. Representación del intercambio gaseoso de  $O_2$  y  $CO_2$  entre los alvéolos y la sangre. Fuente: Levitzky MG: Pulmonary Physiology, 7th ed. New York: MacGraw-Hill Medical, 2007**

Cuanto mayor sea la solubilidad del gas, mayor es el número de moléculas disponibles para difundir a cualquier diferencia de presión parcial dada. Cuanto mayor sea el área transversal del trayecto de la difusión, mayor será el número total de moléculas que difunden. Por el contrario, cuanto mayor sea la distancia que deben atravesar las moléculas más tardarán las mismas en difundir toda la distancia.

Finalmente, cuanto mayor sea la velocidad del movimiento cinético de las moléculas, que es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del peso molecular, mayor será la velocidad de difusión del gas (8)

Todos estos factores se pueden expresar en una única fórmula:

$$D = \frac{P \cdot A \cdot S}{d \cdot \sqrt{PM}} \quad (1)$$

Dónde: “**D**” es la velocidad de difusión, “**P**” es la diferencia de presión parcial entre los dos extremos del trayecto de la difusión, “**A**” es el área transversal del trayecto, “**S**” es la solubilidad del gas, “**d**” es la distancia de difusión y “**PM**” es el peso molecular del gas (30). Tomando en cuenta lo anterior, la solubilidad del CO<sub>2</sub> en agua es de 0,57 ml de CO<sub>2</sub>/ml de agua.

Para comenzar el proceso del transporte del dióxido de carbono, este difunde desde las células de los tejidos en forma de dióxido de carbono molecular disuelto. Cuando entra en los capilares tisulares, el dióxido de carbono inicia una serie de reacciones físicas y químicas casi instantáneas y que son esenciales para el transporte del dióxido de carbono (31).

El transporte de CO<sub>2</sub> en sangre se realiza por tres vías distintas:

**a) CO<sub>2</sub> plasmático.**

Una pequeña parte del dióxido de carbono se transporta disuelto hasta los pulmones. Se debe tomar en cuenta que la presión de CO<sub>2</sub> de la sangre venosa es de 45 mmHg y la de la sangre arterial es de 40 mmHg.

La cantidad de dióxido de carbono que está disuelta en el líquido de la sangre venosa a 45 mmHg es de aproximadamente 2,7 ml/dl y la cantidad disuelta en la sangre arterial a 40 mmHg es aproximadamente 2,4 ml/dl, habiendo una diferencia de 0,3 ml/dl. Por tanto, solo se transportan aproximadamente 0,3 ml de dióxido de carbono en forma disuelta por cada 100 ml de flujo sanguíneo. Esto es aproximadamente el 7% de todo el dióxido de carbono que se transporta normalmente.

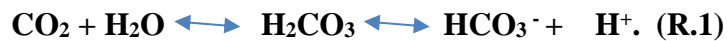


### b) Bicarbonatos.

El dióxido de carbono disuelto en la sangre reacciona con el agua para formar ácido carbónico. Esta reacción ocurriría fuera del hematíe con excesiva lentitud y sería cuantitativamente poco importante debido la inexistencia de la anhidrasa carbónica en el plasma, sin embargo, de no ser por el hecho de que en el interior de los eritrocitos se encuentra la *anhidrasa carbónica* (enzima proteica), que cataliza la reacción entre el dióxido de carbono y el agua acelerando su velocidad de reacción.

Por tanto, en lugar de precisar muchos segundos o minutos para producirse, como ocurre en el plasma, en los eritrocitos la reacción ocurre tan rápidamente que alcanza un equilibrio casi completo en una fracción muy pequeña de segundo. Esto permite que cantidades muy grandes de dióxido de carbono reaccionen con el agua del eritrocito, incluso antes de que la sangre salga de los capilares tisulares. (31)

El CO<sub>2</sub> que es liberado por los tejidos en su mayor parte se introduce en los hematíes, el CO<sub>2</sub> reacciona relativamente de forma rápida con el agua según la siguiente reacción R1:

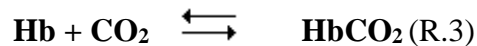


(Fuertemente desplazada a la derecha)

El bicarbonato que se genera en dicha reacción es transportado en su gran mayoría al exterior del hematíe.

### c) Compuestos carbamínicos

El CO<sub>2</sub> se combina de forma reversible con grupos aminos de las proteínas plasmáticas y de la hemoglobina, según las siguientes reacciones (R.2) y (R.3):



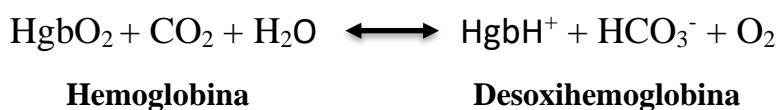
Hemoglobina

Carbamino Hemoglobina

Pero realmente la importancia en el intercambio de CO<sub>2</sub> es probablemente nula, debido a que no se observa diferencias apreciables entre el contenido plasmático arterial y venoso. Durante estos procesos, hay dos efectos que se deben de tener en cuenta.

En primer lugar, está el **Efecto Haldane**; este se debe al simple hecho de que la combinación del oxígeno con la hemoglobina en los pulmones hace que la hemoglobina se convierta en un ácido más fuerte.

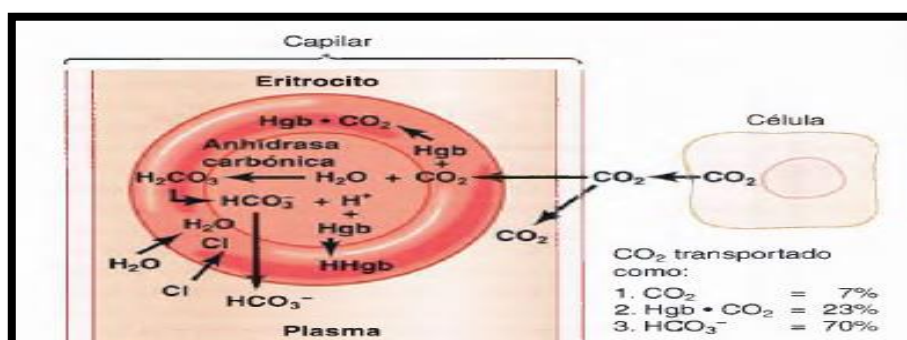
En los tejidos cuando la Hb cede el O<sub>2</sub>, la desoxiHb resultante incrementa su afinidad por los iones H<sup>+</sup>, los cuales se encuentran aumentados en el eritrocito por el aumento del CO<sub>2</sub>, así como el aumento de su afinidad por el propio CO<sub>2</sub> para formar compuestos carbaminos. En los pulmones, cuando sube la PO<sub>2</sub>, disminuye la proporción de CO<sub>2</sub> combinado en sangre (32).



Así, el efecto Haldane aumenta aproximadamente al doble la cantidad de dióxido de carbono que se libera desde la sangre a los pulmones, aumentando aproximadamente al doble la captación de dióxido de carbono en los tejidos, disminuyendo la afinidad del oxígeno con la hemoglobina y facilitando la oxigenación de los tejidos (33).

En segundo lugar, se encuentra el **Efecto Hamburger**.

Cuando el dióxido de carbono entra al eritrocito la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aumenta, este último difunde la célula hacia el plasma. Simultáneamente, iones cloro (Cl<sup>-</sup>) del plasma entran en la célula para establecer un ambiente eléctricamente neutro, a esto también se le llama desplazamiento del cloro. **Ver figura 11** (32)



**Figura 11. El transporte de CO<sub>2</sub> en sangre.**

**Fuente:** Tresguerres, (2003)

Después de que la sangre llegue a los pulmones, se lleva a cabo la reacción inversa, favoreciendo la producción de oxihemoglobina, liberando  $H^+$ , los cuales se combinan con el  $HCO_3^-$  para formar  $H_2CO_3$ , el cual es disociado por la anhidrasa carbónica en  $CO_2$  y  $H_2O$ . El  $CO_2$  es expulsado del eritrocito. (32)

## **7.2 Influencia del $CO_2$ en el pH**

La concentración de  $H^+$  influye en casi todos los sistemas enzimáticos del organismo, por lo tanto, es esencial que esté regulada de forma precisa. De este modo, los cambios en la concentración del hidrógeno alteran casi todas las células y las funciones del organismo (32). El pH de la sangre en condiciones normales es de 7,4.

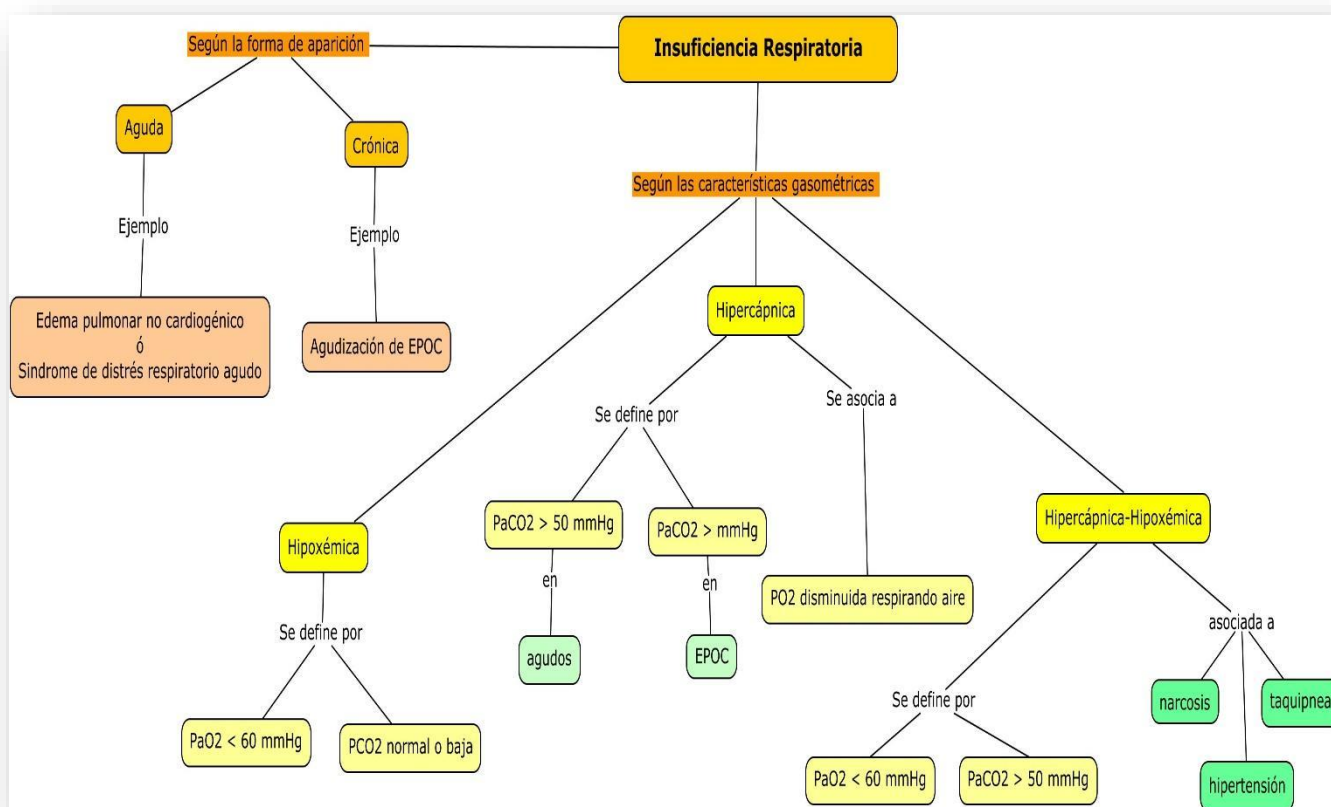
Sin embargo, el  $CO_2$  disocia el ácido carbónico en los tejidos, la presencia de más  $CO_2$  hace la sangre más ácida (Ver R.1), producto del aumento de iones  $H^+$ .

Cuando los niveles del  $CO_2$  aumentan en la sangre baja el pH, lo que lleva al desfallecimiento (8), (34).

## 8. Influencia del transporte de CO<sub>2</sub> en el organismo

En primer lugar, hablaremos de la insuficiencia respiratoria (IR) que se produce cuando el organismo es incapaz de mantener el equilibrio entre el aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos y la eliminación de los productos residuales (CO<sub>2</sub>).

El exceso de CO<sub>2</sub> en el torrente sanguíneo, produce una patología llamada hipercapnia. Este problema surge por la falta de ventilación pulmonar, lo que hace que se inhale mucho CO<sub>2</sub> que luego no se logra evacuar, esta retención provoca una acidificación respiratoria que puede traducirse en muerte súbita (8).



**Figura 12. Clasificación de la insuficiencia respiratoria.**

**Elaboración propia (23 y 24)**

## 9. Conclusiones

1. La revisión bibliográfica permitió establecer que la difusión de los gases pulmonares es directamente proporcional a la solubilidad del gas, al cambio de presión entre los extremos de difusión, al área de difusión e inversamente proporcional a la distancia de difusión. A su vez, la velocidad de difusión del CO<sub>2</sub> es mayor que la del O<sub>2</sub> en sangre, debido a que sus solubilidades guardan esta misma relación.
2. A partir de la comprensión del funcionamiento del transporte de dióxido de carbono en la sangre se concluye, que es un desecho del metabolismo celular que se elimina a través de la respiración.
3. El transporte de dióxido de carbono en la sangre se realiza en un 70% por reacciones de formación de bicarbonato.
4. La combinación del oxígeno con la hemoglobina actúa aumentando la liberación del CO<sub>2</sub>, por efecto Haldane.
5. El dióxido de carbono influye en el pH de la sangre, al hidratarse y producir ácido carbónico, disminuye el pH del medio provocando la disminución de la afinidad del oxígeno con la hemoglobina y facilitando la oxigenación de los tejidos.
6. Los trastornos en el proceso de transporte de gases en la sangre pueden producir insuficiencia respiratoria.
7. En la revisión bibliográfica desarrollada se ha observado, que esta se encuentra consolidada desde hace tiempo y se ha encontrado que la bibliografía más actualizada, se refiere a problemas más concretos en el ámbito de la salud.
8. Gracias a la ayuda de mapas conceptuales, se ha podido fijar más las ideas sobre las aplicaciones, así como de los efectos que causa el dióxido de carbono en el organismo del ser humano, inclusive entender un poco mejor el sistema respiratorio.

## **Bibliografía**

1. *The Organometallic Chemistry of Carbon Dioxide*. Gibson, Dorothy H. 1996, *Chemical Review*, Vol. 96, págs. 2063–2096.
2. *The urine-blood PCO<sub>2</sub> gradient as a diagnostic index of (H<sup>+</sup>)-ATPase defect distal renal tubular acidosis*. Kim, Sejoong, y otros, y otros. 2004, *Kidney International*, Vol. 66, págs. 761-767.
3. *BW, Scheuermann. Carbonic Anhydrase Inhibition During Submaximal and Maximal Exercise*. Western Ontario: Faculty of Graduate Studies: University of Western Ontario, 1998.
4. *Proceso de recuperación de CO<sub>2</sub>. Generalidades*. Núñez-Caraballo, A., González-Martínez, M., & Saura-Laria, G. 2, 2015, *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, Vol. 49, págs. 24-32.
5. *carbon dioxide, latent heat, and the beginnings of the discovery of the respiratory gases*. Black, West JB. Joseph. s.l.: 306, 2014, *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* , Vol. 12, pág. 1057.
6. *Biologically generated carbon dioxide: nature's versatile chemical strategies for carboxy lyases*. Walsh, Christopher T. 2020, *Natural Product Report*, Vol. 37, págs. 100-135.
7. *Devlin, T. M. Bioquímica: libro de texto con aplicaciones clínicas*. s.l.: Reverté, 2000.
8. *Insuficiencia respiratoria aguda*. Muñoz, ernando R. Gutiérrez. 2010, *Acta Médica Peruana*, Vol. 27, págs. 286-297.
9. *Toxicity of Carbon Dioxide: A Review*. Guais, Adeline, y otros, y otros. 2011, *Chemical Research in Toxicology*, Vol. 24, págs. 2061–2070.
10. *North, Michael. What is CO<sub>2</sub>? Thermodynamics, Basic Reactions and Physical Chemistry*. [aut. libro] Peter Styring, Elsje Alessandra Quadrelli y Katy Armstrong. *Carbon Dioxide Utilisation: Closing the Carbon Cycle*. s.l.: Elsevier Inc, 2014, págs. 3-17.
11. *Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts*. RM, Cuéllar-Franca y A., Azapagic. 2015, *Biochemical Pharmacology*., Vol. 9, págs. 82-102.

12. *Supercritical Fluid Extraction Using CO<sub>2</sub>: Main Applications and Future Perspectives*. Machado, Bruna Aparecida Souza, y otros, y otros. 2013, *Separation Science and Technology*, Vol. 48, págs. 2741-2760.
13. *Supercritical fluid encapsulation of acizol into aliphatic polyether microparticles*. Bogorodski, S.E., Krotova, L.I. y Kursakov, S.V. 2015, *Russian Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 9, págs. 1011–1017.
14. *Formulation of  $\beta$ -carotene by precipitation from pressurized ethyl acetate-on-water emulsions for application as natural colorant*. Paz, Esther de, y otros, y otros. 2012, *Food Hydrocolloids*, Vol. 26, págs. 17-27.
15. *Curcumin-loaded solid lipid particles by PGSS technology*. André São Pedro, Stefania Dalla Villa, Paolo Caliceti, Silvio A.B. Vieira de Melo, Elaine Cabral Albuquerque, Alberto Bertucco, Stefano Salmaso,. 2016, *The Journal of Supercritical Fluids*, Vol. 107, págs. 534-541.
16. *Ibuprofen nanoparticles prepared by a PGSS™-based method*. Wenwen Chen, Xiaohui Hu, Yanzhen Hong, Yuzhong Su, Hongtao Wang, Jun Li. 2013, *Powder Technology*, Vol. 245, págs. 241-250.
17. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de Fisiología médica*. España: Elsevier, 2016.
18. *Determinación del volumen de insuflación de bióxido de carbono y presión intraabdominal en colecistectomía laparoscópica*. López-Herranz, Gloria Patricia. 2012, *Revista Médica del Hospital General de México*, Vol. 75, págs. 24-31.
19. *Biotechnology of Flavored or Special Wines*. Butnariu, Mónica y Butu, Alina. 2020, *Biotechnological Progress and Beverage Consumption*, Vol. 19, págs. 253-282.
20. *Applications of Carbon Dioxide in Food and Processing Industries: Current Status and Future Thrusts*. Kaliyan, N., y otros, y otros. 2007, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, págs. 1-29.
21. *Inactivation of lipase by carbon dioxide under atmospheric pressure*. Fadiloglu, S., and O. Erkmén. 2002, *Journal of Food and Engineer*, Vol. 52, págs. 331-335.
22. Mukesh Doble, Anil Kumar Kruthiventi. *Green Chemistry and Engineering*. India: Elsevier, 2007.

23. Raven, P. H., G. B. Johnson, K. A. Mason, J. B. Losos, and S. R. Singer. *How Cells Harvest Energy*. In *Biology*. New York: McGraw-Hill, 2014, págs. 122-146.
24. *Proceso Cuidado Enfermero en pacientes críticos con diagnóstico "deterioro del intercambio de gases"*. M., Ruiz Gonzalez. 2018, *Doctoral dissertation*. Facultad de Enfermería y nutrición.
25. Rhoades RA, Bell DR. *Fisiología médica: Fundamentos de medicina clínica*. España: Wolters Kluwer, 2012.
26. JB., West. *Fisiología Respiratoria*. España: Wolters Kluwer, 2009.
27. MG, Levitzky. *Pulmonary Physiology*. New York: Mc Graw-Hill Medical, 2007.
28. Tortora GJ, Derrickson B. *Principios de Anatomía y Fisiología*. México: Médica Panamericana, 2008.
29. Oblat, J. M. *Introducción a la Bioingeniería*. s.l.: Marcombo, 1998.
30. *Diffusion and chemical reaction in pulmonary gas exchange*. Wagner, P. D. 1977, *Physiological reviews.*, Vol. 57, págs. 257-307.
31. *The Bohr effect and the Haldane effect*. Siggaard-Andersen, O., & Garby, L. 1973.
32. Tresguerres, F., & Angel, J. *FISIOLOGIA humana*. 2003.
33. Montoreano, R. *Manual de Fisiología y Biofísica para estudiantes de medicina*. 2005.
34. *Funcionamiento e importancia del sistema bicarbonato/CO<sub>2</sub> en la regulación del pH sanguíneo*. A., Mendoza-Medellín. 2, 2008, *CIENCIA ergo-sum*, Vol. 15, págs. 155-160..