

Medición de la saturación arterial de oxígeno en enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Diana Jimena Cano Rosales*
Carlos A. Torres-Duque**

*Médica internista y neumóloga. Universidad de La Sabana. Fundación Neumológica Colombiana. Bogotá. Cundinamarca. Colombia.

**Médico internista y neumólogo. Profesor Universidad de la Sabana. Director del Departamento de Investigación. Fundación Neumológica Colombiana. Bogotá. Cundinamarca. Colombia.

Correspondencia: Dra. Diana Jimena Cano Rosales. Dirección: Calle 53 No 31-30 Bucaramanga. Santander. Colombia. Correo electrónico: djcanor@gmail.com

Resumen

La terapia con oxígeno a largo plazo mejoró la supervivencia de los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Las medidas propuestas en las guías clínicas para evaluar la indicación y seguimiento de esta terapia son la presión arterial de oxígeno y la saturación arterial de oxígeno. Se ha generalizado el uso de la oximetría de pulso, pero la información para determinar si estas medidas son intercambiables es insuficiente. El objetivo es revisar los fundamentos fisiológicos de las variables relacionadas con la oxigenación y sus formas de medición. En la evaluación del paciente con patología respiratoria, la saturación de pulso es una ayuda clínica valiosa, sin embargo, sus limitaciones no le permiten, en ciertos rangos, reemplazar la valoración directa en sangre arterial (gasometría arterial) de la saturación arterial y la presión arterial de oxígeno, para determinar la indicación de la oxigenoterapia. **MÉD.UIS.2019;32(3):19-25**

Palabras clave: Oximetría de pulso. Análisis de los gases de la sangre. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Measurement of blood oxygen saturation in chronic obstructive pulmonary disease

Abstract

Long-term oxygen therapy improves the survival of patients with chronic obstructive pulmonary disease. Measures proposed in clinical clinics to evaluate the indication and monitoring of arterial blood pressure therapy and arterial oxygen saturation. The use of pulse oximetry has been widespread, but the information to determine if these measures are interchangeable is insufficient. The objective is to review the physiological foundations of variables related to oxygenation and their forms of measurement. In the assessment of the patient with respiratory pathology, pulse saturation is a valuable clinical aid., however, its limitations do not allow, in certain ranges, to replace direct arterial blood pressure (arterial blood gas) measurement of arterial saturation and arterial oxygen pressure, to determine the indication of oxygen therapy. **MÉD.UIS.2019;32(3):19-25**

Keywords: Oximetry. Blood Gas Analysis. Pulmonary Disease Chronic Obstructive.

¿Cómo citar este artículo?: Cano DJ, Torres-Duque CA. Medición de la saturación arterial de oxígeno en enfermedad pulmonar obstructiva crónica. **MÉD. UIS.2019;32(3):19-25. doi: 10.18273/revmed.v32n3-2019002**

Introducción

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es un problema de salud pública a nivel mundial cuya morbi-mortalidad mantiene un incremento sostenido, se estima que para el 2030 será la séptima causa de mayor número de años de vida saludables perdidos y para el 2020 ocupará la tercera causa de muerte en el mundo¹. En Colombia datos del estudio PREPOCOL presentan una prevalencia nacional del 8.9%².

Considerando que una de las principales funciones de los pulmones es la oxigenación de la sangre y que la EPOC, especialmente en estadios moderados y graves, puede estar alterándola, el medir la oxigenación, además de sugerir el nivel de gravedad de la enfermedad, permite orientar el requerimiento de oxígeno suplementario. La terapia con oxígeno a largo plazo (TOLP) es una piedra angular del manejo del paciente con EPOC ya que mejora la supervivencia, no solo porque corrige la hipoxemia sino también por otros efectos benéficos sobre los mecanismos fisiopatológicos de la EPOC entre ellos, el control de la ventilación³.

En la práctica clínica, la medición del nivel de oxigenación se pueden realizar directamente por medio del análisis en sangre de la presión arterial de oxígeno (PaO_2) y la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) o indirectamente por medio de la oximetría de pulso (SpO_2)⁴.

La medición de la SpO_2 , por su facilidad de uso y bajo costo, se ha convertido en una herramienta de uso frecuente en el ejercicio práctico de la medicina⁵. Desde su introducción a mediados de los años 70's, su expansión ha sido determinada no sólo por la relevancia de la información clínica obtenida sino por tratarse de una medición económica, no invasiva y portátil⁶. Igualmente se debe tener presente que todas las mediciones de oxigenación son afectadas por la altitud (altura sobre el nivel del mar), incluyendo la saturación de oxígeno que además es influida por el pH y la presión arterial de dióxido de carbono (PaCO_2)⁷⁻⁹. Este artículo revisará los fundamentos teóricos de las medidas de oxigenación, especialmente la oximetría de pulso, y profundizará en la concordancia de las mediciones en el escenario de los pacientes con EPOC.

Metodología de búsqueda

Búsqueda de la literatura en las bases de datos MEDLINE, HINARI, PROQUEST, OVID y ScienceDirect, en estudios de pruebas diagnósticas, estudios observacionales, artículos de revisión y capítulos de libros. Se usaron los siguientes términos MeSH: Oximetry, Blood Gas Analysis, Pulmonary Disease, Chronic Obstructive, Oxygen Inhalation Therapy, Practice Guideline [Publication Type], Review [Publication Type], Data Accuracy. Se realiza una narración crítica a partir de la información encontrada.

Resultados

Fundamentos fisiológicos de las variables relacionadas con la oxigenación y su forma de ser medidas.

La principal función de la circulación de la sangre es la entrega de oxígeno y otros nutrientes a los tejidos y la remoción de productos de su metabolismo incluido el dióxido de carbono. La entrega de oxígeno depende de la disponibilidad de este, la capacidad de la sangre arterial para el transporte del mismo y la perfusión tisular⁸⁻¹⁰.

El oxígeno que llega a la circulación capilar es transportado por la sangre en dos formas: disuelto y unido a la hemoglobina. El contenido arterial de oxígeno (CaO_2) resulta de la suma del oxígeno disuelto y unido a la hemoglobina que, a su vez, están determinados por la PaO_2 , la SaO_2 y la concentración de hemoglobina. La PaO_2 depende de varios factores incluidos la presión y la fracción inspiradas de oxígeno y de una adecuada ventilación e intercambio gaseoso. La SaO_2 depende de la misma PaO_2 y de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno que es influida por el pH, la PaCO_2 y la concentración de difosfoglicerato⁴.

El CaO_2 se expresa en ml de oxígeno por 100 ml o por L de sangre, mientras que la saturación de oxígeno (SaO_2) se expresa como un porcentaje que representa el porcentaje global de sitios de las moléculas de hemoglobina que están ligados con el oxígeno⁴. La cantidad de oxígeno disuelto en la sangre está en relación directa con la presión parcial a la cual está expuesta (Ley de Henry)¹¹.

La relación entre la SaO_2 y la PaO_2 es descrita gráficamente a través de la curva de disociación de la hemoglobina (Ver Figura 1). Cada molécula de hemoglobina se puede unir de forma reversible hasta con cuatro moléculas de oxígeno. La hemoglobina tiene la propiedad de que la unión de la primera molécula de oxígeno facilita la unión de las subsiguientes dos moléculas. Una vez ligadas tres moléculas de oxígeno, la hemoglobina vuelve a cambiar su configuración espacial reduciendo un poco la afinidad para la cuarta molécula. Esta característica de unión del oxígeno a la molécula de hemoglobina explica el aumento de la pendiente de la curva de disociación de la hemoglobina cuando son bajos los niveles de oxigenación, y la aparición de una meseta, cuando se alcanzan mayores niveles resultando en la forma sigmoidea característica de la curva⁴.

La relación entre la SaO_2 y la PaO_2 se ve afectada por la concentración de hidrogeniones (pH), la $PaCO_2$, la

temperatura y la concentración de 2,3-difosfoglicerato (DPG) en los hematíes; su interacción genera desplazamientos de la curva disociación de la hemoglobina hacia la derecha o izquierda (Ver Figura 1). La disminución del pH, el aumento de la $PaCO_2$, el incremento de la temperatura y el aumento del DPG desvían la curva hacia la derecha y los cambios opuestos desvían la curva hacia la izquierda. Una desviación hacia a la derecha disminuye la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno lo que significa mayor facilidad de entrega de oxígeno para una determinada PaO_2 a nivel tisular^{11,12}.

Siempre que la concentración de hemoglobina y el funcionamiento del sistema circulatorio sean normales, la saturación arterial de oxígeno, ya sea medida directamente en sangre arterial (SaO_2) o estimada por oximetría de pulso (SpO_2), proporciona información confiable sobre la cantidad de oxígeno que está disponible para los tejidos^{4,13}.

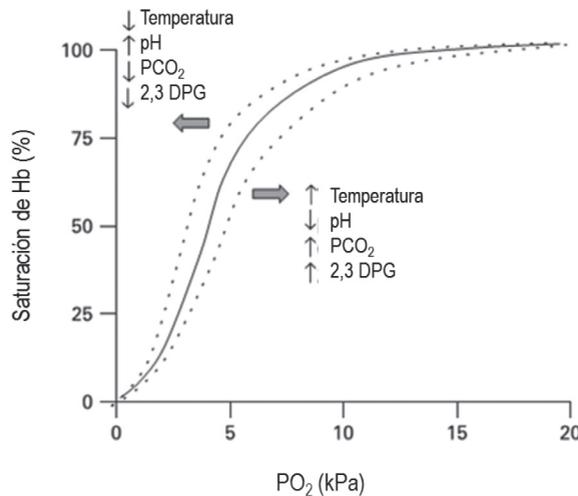


Figura 1. Curva de disociación de la hemoglobina.

Curva de disociación de la hemoglobina, visualiza el efecto Bohr. CO_2 Dioxido de carbono, DPG Difosfoglicerato. Temperature: Temperatura, Oxyhaemoglobin: oximeglobina. Descargado y traducido de: <http://thorax.bmj.com/>.¹³

Fuente: autores.

Saturación arterial de oxígeno por gases arteriales

Es un valor que puede ser calculado o medido directamente por cooximetría o espectrofotometría. Si es calculado, el valor se obtiene a partir de la medición de la PaO_2 , el pH y la temperatura en una muestra de sangre arterial, aplicando la ecuación

desarrollada por Severinghaus^{14,15}. Los estudios de validación realizados, encontraron que la ecuación simplificada estima, con notable precisión, la SaO_2 en la sangre de pacientes con pH normal y $SaO_2 > 70\%$. Es modificada por los valores de pH (acidosis o alcalosis), en relación con el efecto Bohr, y no se observan mayores variaciones en relación con los valores $PaCO_2$ ⁴.

Saturación arterial de oxígeno por oximetría de pulso.

Es la medición no invasiva del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos a partir de un transductor con dos piezas: un emisor de luz y un fotodetector¹⁶. El principio fundamental es la espectrofotometría, un método de detección óptico que utiliza las propiedades de las moléculas con respecto a la reflexión de la luz para medir la concentración de especies químicas en un medio gaseoso o líquido¹⁶. El oxímetro de pulso emite luz con dos longitudes de onda de 660 nm (roja) y 940 nm (infrarroja) que son características de la oxihemoglobina y de la hemoglobina reducida respectivamente. Mediante la comparación de la luz que absorbe durante la onda pulsátil con respecto a la absorción basal, se calcula el porcentaje de oxihemoglobina¹⁷.

Al considerar la utilidad de un oxímetro de pulso y la calidad de sus datos, tres variables se deben tomar en consideración: exactitud, precisión y sesgo^{7,13}. La exactitud se refiere a qué tan cerca está el valor medido del valor verdadero; la precisión, a qué tan cerca están diferentes valores medidos, unos de otros; y el sesgo, se refiere a la diferencia entre el promedio de las mediciones realizadas por el dispositivo y su verdadero valor. El mejor oxímetro de pulso será el que tenga mejor exactitud, mayor precisión y menor sesgo⁷.

Varias categorías de oxímetros de pulso se han desarrollado: oxímetro de bolsillo, oxímetro de mano portátil y oxímetro de mesa con capacidad de monitoreo de la presión arterial. El oxímetro de bolsillo es un dispositivo pequeño, liviano, en forma de pinza, que se utiliza sobre uno de los dedos de la mano. Tiene bajo costo y fácil uso y traslado⁷.

En general, la SpO₂ reporta mayor exactitud cuando los valores son mayores de 88%^{13,18}. Los factores que puede dar lugar a valores equivocados son: anemia severa, movimiento, contrastes intravenosos, luz ambiental intensa, mala perfusión periférica, incluida la inducida por frío ambiental, disminución de la temperatura corporal, hipotensión, vasoconstricción, obstáculos a la absorción de la luz como el esmalte de las uñas, dishemoglobinemia y metahemoglobinemia⁶.

El incremento de la altitud puede causar problemas durante la toma e interpretación de las mediciones:

grandes cambios en la saturación de oxígeno en respuesta a pequeños cambios en la PaO₂; disminución de la exactitud, precisión y aumento del sesgo cuando los valores de saturación son menores de 80%; valores normales de saturación a grandes alturas no claramente establecidos^{7,19}.

EPOC y terapia de oxígeno a largo plazo

La EPOC es definida como una enfermedad prevenible y tratable caracterizada por la limitación persistente al flujo de aire, la cual es usualmente progresiva y asociada con una excesiva respuesta inflamatoria crónica en la vía aérea a partículas nocivas o gases²⁰. El uso de la Terapia Oxígeno a Largo Plazo (TOLP) mejora la supervivencia de los pacientes con EPOC, lo cual, ha sido documentado en dos importantes estudios clínicos (NOTT y MRC)^{21,22}.

Tabla 1. Recomendaciones para el uso de oxígeno en pacientes con EPOC

<p>Terapia de oxígeno a largo plazo en pacientes estables</p>	<p>PaO₂ ≤ 55 mmHg o SaO₂ < 88% con o sin hipercapnia.</p> <p>PaO₂ 55-60 mmHg o SaO₂ < 89% asociado a: hipertensión pulmonar y/o edema periférico sugestivo de insuficiencia cardíaca congestiva o policitemia (Hematocrito > 55%).</p> <p>Evaluar la necesidad de uso de oxígeno a largo plazo a través de oximetría de pulso en todo paciente con enfermedad grave (VEF₁ < 35%) para excluir hipoxemia y ajustar los flujos de oxígeno (18).</p>
<p>EPOC exacerbado</p>	<p>SaO₂ < 90% o PaO₂ < 60 mmHg y debe ser titulado para mantener una SaO₂ entre 88-92% sin provocar acidosis respiratoria.</p> <p>Pacientes que presentan hipoxemia durante una exacerbación, la evaluación a través de gases arteriales y/o oximetría de pulso debe ser evaluada previa al egreso hospitalario y reevaluada a los tres meses para establecer terapia de oxígeno a largo plazo (11).</p>

Fuente: Montes de Oca M, López Varela MV, Acuña A, Schiavi E, Rey MA, Jardim J, et al. ALAT-2014 Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Clinical Practice Guidelines: Questions and Answers. Arch Bronconeumol [Internet]. 2015 Jan 14 [cited 2015 Jul 29];51(8):403-16. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300289614004669>^{13,23,24}.

¿Son la SaO₂ y la SpO₂ medidas intercambiables? ¿Cuál es su grado de concordancia?

En relación con la información encontrada entre la concordancia entre la SaO₂ y la SpO₂, un metaanálisis desarrollado por Jensen *et al.* encontró un mayor grado de acuerdo, es decir, intercambiabilidad en las mediciones realizadas en voluntarios sanos, en comparación con las realizadas en enfermos respiratorios o críticamente enfermos, a partir de la revisión de 74 estudios y del análisis cuantitativo comparando la SpO₂, medida por varios oxímetros de pulso, y la medida a través del análisis de gases arteriales por cooximetría. En trece estudios realizados en voluntarios sanos, la correlación calculada fue muy buena ($r = 0.957$); sin embargo, al considerar los ochos estudios en personas con enfermedades respiratorias, la correlación fue menor ($r = 0.880$)⁶.

En pacientes con EPOC estable, el estudio de Muñoz X *et al.* tuvo por objetivo medir si la PaCO₂ podría afectar la concordancia en las mediciones de SaO₂ y SpO₂, en donde se evaluaron 846 pacientes que tenían TOLP⁹, encontrando, a través del método de Bland-Altman, valores de: -1.24% (IC 6.86–4.38) y -1.32% (IC -7.78–5.15) cuando la PaCO₂ era mayor de 48 mmHg o la PaO₂ menor de 54 mmHg, respectivamente. Esto indica que la PaCO₂ (particularmente si hay hipercapnia) y la hipoxemia afectan el grado de acuerdo (concordancia) entre la SaO₂ y SpO₂. Adicionalmente, en un estudio en pacientes con EPOC exacerbado en el servicio de urgencias, los valores de concordancia encontrados (-0.758%; IC -8.2 a +6.7) sugieren que no es adecuado reemplazar la medición de SaO₂ por la SpO₂⁸, escenario en el cual, complementariamente, se requiere realizar mediciones de valores de PaCO₂ y pH.

En relación con el grado de acuerdo en las mediciones de SaO₂ y SpO₂ en la altura, Ross *et al.*, en un estudio con voluntarios sanos a una altitud de 2100 m, encontró una adecuada concordancia entre los valores de saturación registrados a través de diferentes oxímetros de pulso y los obtenidos a través de la toma de gases arteriales¹⁹.

En pacientes con diferentes enfermedades respiratorias, Torre-Bouscoulet, *et al.*, en la ciudad de México a 2240 metros sobre el nivel del mar, evaluó 96 pacientes, solamente ocho con diagnóstico de EPOC, que acudieron al laboratorio de fisiología pulmonar del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. El estudio que tenía como objetivo principal evaluar la exactitud de un oxímetro

de pulso “de bolsillo” a través de un análisis de concordancia, encontró que las medidas pueden ser intercambiables (Coeficiente de correlación intraclase \pm EE de 0.93 ± 0.001). Sin embargo, cuando la SaO₂ es menor de 90% se incrementa el error de medición²⁵.

En Bogotá, un estudio en pacientes de la unidad de cuidado intensivo médico de la Fundación Cardioinfantil y Fundación Neumológica Colombiana, evaluó la concordancia en la SaO₂ y SpO₂ en 301 muestras de 89 pacientes, encontrando un coeficiente de correlación intraclase de 0,785, concluyendo que la oximetría de pulso es una medida confiable para evaluar la oxigenación²⁶.

En un estudio sobre el uso de la oximetría de pulso en la prescripción de la TOLP, Carlin *et al.*, en 1988, en San Diego, California, analizó cincuenta y cinco pacientes con EPOC e hipoxemia en reposo, y encontró que más del 80% de los pacientes con una PaO₂ en reposo mayor o igual de 55 mmHg tenía una SpO₂ > 85%, por lo que estos pacientes no recibirían la TOLP si se tomara en cuenta únicamente el valor de la oximetría de pulso. Al sustituir la SpO₂ por un valor de 88%, un mayor número de pacientes con la indicación de oxígeno por gases arteriales tendría la indicación por SpO₂. Sin embargo, con el cambio en el punto de corte de la saturación, a un grupo de pacientes con PaO₂ superior a 55 mmHg se le indicaría incorrectamente oxígeno terapia²⁷. Estos hallazgos indican que, en ciertos rangos de SpO₂, particularmente entre 85 y 90, la discriminación de pacientes que requieren TOLP no es muy precisa cuando se comparan con los gases arteriales y por lo tanto no los reemplazan. Por el contrario, frente a una SpO₂ menor de 85% o mayor de 90% hay una buena probabilidad de que se requiere o no TOLP respectivamente.

A mayores alturas sobre el nivel del mar, especialmente a grandes alturas (≥ 2.500 m), es necesario hacer una consideración especial en relación con la SaO₂ y la PaO₂. Los valores PaO₂ son menores y se representan muy cerca del punto donde se inclina la pendiente de la curva de disociación de la hemoglobina o en la zona de mayor pendiente y, como resultado, pequeños cambios en la presión de oxígeno generan grandes variaciones en la saturación⁷. Por esto, el uso de la SpO₂ y los puntos de corte para detectar hipoxemia en relación con la PaO₂ pueden tener variaciones al ser usadas en lugares de mayor altitud.

Conclusiones

En relación con la evaluación de la oxigenación por medio de la SaO₂ y la SpO₂ en pacientes con EPOC, se puede concluir: la medición directa de la SaO₂, requiere la toma directa de sangre arterial, examen que corresponde a una medición de gases arteriales, que proporciona información adicional (pH y PaCO₂), lo cual puede ser necesaria en algunas situaciones clínicas en las cuales se sospeche hipercapnia y acidosis respiratoria. La medición de la saturación por oximetría de pulso (SpO₂) es una medida no invasiva, rápida, portátil y más económica, aunque menos precisa que la SaO₂; su grado de concordancia con la SaO₂ es adecuado cuando el valor es mayor del 88%, lo cual, en la práctica clínica es importante porque permite reducir la toma de gases arteriales, especialmente en pacientes que no tengan riesgo de falla respiratoria hipercapnia o acidosis metabólica. No obstante, en condiciones especiales como la prescripción de TOLP en la EPOC, la SpO₂ no reemplaza la medición de SaO₂, particularmente en el rango de 85 a 90, en el cual la toma de gases arteriales sigue siendo el mejor método para evaluar ventilación y oxigenación^{4,5,13,16}. Si no hay disponibilidad de gases arteriales, una SpO₂ mayor de 90% confiablemente puede indicar que no se requiere TOLP y una menor de 85% que sí se requiere.

Referencias bibliográficas

- Global Strategy for Diagnosis, Management, and Prevention of COPD - 2016 - Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD [Internet]. Disponible en: <http://goldcopd.org/global-strategy-diagnosis-management-prevention-copd-2016/>
- Caballero A, Torres-Duque CA, Jaramillo C, Bolívar F, Sanabria F, Osorio P, et al. Prevalence of COPD in five Colombian cities situated at low, medium, and high altitude (PREPOCOL study). *Chest* [Internet]. 2008;133(2):343-9. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17951621>
- Croxton TL, Bailey WC. Long-term oxygen treatment in chronic obstructive pulmonary disease: recommendations for future research: an NHLBI workshop report. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2006;174(4):373-8. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2648117&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Collins J-A, Rudenski A, Gibson J, Howard L, O'Driscoll R. Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin-oxygen dissociation curve. *Breathe* [Internet]. 2015;11(3):194-201. Disponible en: <http://breathe.ersjournals.com/content/11/3/194.abstract>
- Plüddemann A, Thompson M, Heneghan C, Price C. Pulse oximetry in primary care: primary care diagnostic technology update. *Br J Gen Pract* [Internet]. 2011;61(586):358-9. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3080222&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Jensen LA, Onyskiw JE, Prasad NG. Meta-analysis of arterial oxygen saturation monitoring by pulse oximetry in adults. *Heart Lung* [Internet]. 1998; 27(6):387-408. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9835670>
- Luks AM, Swenson ER. Pulse oximetry at high altitude. *High Alt Med Biol* [Internet]. 2011; 12(2):109-19. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21718156>
- Kelly AM, McAlpine R, Kyle E. How accurate are pulse oximeters in patients with acute exacerbations of chronic obstructive airways disease? *Respir Med* [Internet]. 2001; 95(5):336-40. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11392573>
- Muñoz X, Torres F, Sampol G, Rios J, Martí S, Escrich E. Accuracy and reliability of pulse oximetry at different arterial carbon dioxide pressure levels. *Eur Respir J* [Internet]. 2008 Oct; 32(4):1053-9. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18480106>
- Ganong W. *Review of Medical Physiology*. 21st. ed. McGraw Hill; 2003. p. 669-672.
- Chaparro-Mutis C, Awad-García CE, Torres-Duque CA. *Fundamentos de Medicina: Neumología*. 6ª. Ed. Corporación para Investigaciones Biológicas; 2007.
- West J. *Fisiología Respiratoria*. Fundamentos. 9ª. Ed. 2012.
- O'Driscoll BR, Howard LS, Davison AG. BTS guideline for emergency oxygen use in adult patients. *BMJ* [Internet]. 2008 [citado enero 31 de 2016];63(Suppl VI):vi1-vi68. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18838559>
- Severinghaus JW. Blood gas calculator *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. [Internet]. 1966 [citado enero 31 de 2016];21(3)1108-16. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5912737>
- Severinghaus JW. Simple, accurate equations for human blood O2 dissociation computations. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. [Internet]. 1979 [citado enero 31 de 2016];46(3):599-602. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35496>
- Chan ED, Chan MM, Chan MM. Pulse oximetry: understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respir Med*. [Internet]. 2013 [citado enero 25 de 2015];107(6):789-99. Disponible en: <http://www.resmedjournal.com/article/S095461111300053X/fulltext>
- Nitzan M, Romem A, Koppel R. Pulse oximetry: fundamentals and technology update. *Med Devices (Auckl)* [Internet]. 2014 [citado enero 25 de 2015];7:231-9. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4099100&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Lee WW, Mayberry K, Crapo R, Jensen RL. The accuracy of pulse oximetry in the emergency department. *Am J Emerg Med* [Internet]. 2000 [citado: enero 31 de 2016];18(4):427-31. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10919532>
- Ross EM, Matteucci MJ, Shepherd M, Barker M, Orr L. Measuring arterial oxygenation in a high altitude field environment: comparing portable pulse oximetry with blood gas analysis. *Wilderness Environ Med* [Internet]. 2013 [citado: diciembre 20 de 2013];24(2):112-7. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23434169>
- Gold Reports for Personal Use - Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. [Internet]. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD. 2017 [citado: 1 febrero de 2016]. Disponible en: <https://goldcopd.org/gold-reports/>
- Nocturnal Oxygen Therapy Trial Group. Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxemic chronic obstructive lung disease: a clinical trial. *Ann Intern Med* [Internet]. 1980 [citado: noviembre 4 de 2013];93(3):391-8. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6776858>
- Medical Research Council Working Party. LONG TERM DOMICILIARY OXYGEN THERAPY IN CHRONIC HYPOXIC COR PULMONALE COMPLICATING CHRONIC BRONCHITIS AND EMPHYSEMA [Internet]. 1981 [citado: noviembre 4 de 2013];317(8222): 681-6. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6110912>
- Ortega F, Díaz S, Bautista J, García F, Gúel R, Morante F, et al. Oxigenoterapia continua domiciliaria. *Arch. Bronconeumol*. 2014;50(5):185-200
- Montes de Oca M, López Varela MV, Acuña A, Schiavi E, Rey MA, Jardim J, et al. ALAT-2014 Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Clinical Practice Guidelines: questions and Answers. *Arch Bronconeumol*. 2015; 51(8):403-16.
- Torre-Bouscoulet L, Chávez-Plascencia E, Vázquez-García JC,

- Pérez-Padilla R. [Precision and accuracy of “a pocket” pulse oximeter in Mexico City]. *Rev Invest Clin* [Internet]. 2006 [citado enero 14 de 2014];58(1):28–33. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16789596>
26. Ali-Munive A, Rodríguez P, Gómez S, Arce AM, Rodríguez E. Correlation between pulse oximetry and arterial oxygen saturation in patients in ICU. *Acta méd colomb* [Internet]. 2002 [citado enero 11 de 2014];27(3):162–9. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LLACS&lang=p&nextAction=lnk&xprSearch=358267&indexSearch=ID>
27. Carlin BW, Clausen JL, Ries AL. The use of cutaneous oximetry in the prescription of long-term oxygen therapy. *Chest* [Internet]. 1988;94(2):239–41. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3135155>