



# Transporte de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

## Objetivos de aprendizaje

- Explica detalladamente el transporte de oxígeno y dióxido de carbono y ejemplifica los factores que la modifican en sus curvas de disociación.

## Resultado de aprendizaje

- El estudiante integra los conocimientos sobre la difusión y el transporte de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en los sistemas cardiovascular y respiratorio, a través de la utilización de viñetas clínicas.
- Analiza el Efecto de Bohr y Haldane.

## Glosario de términos

**Alvéolos:** Concavidad semiesférica situada al final de los bronquios, en la que se realiza el intercambio de oxígeno con la sangre.

**Hemoglobina (Hb):** Proteína del interior de los glóbulos rojos que transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos del cuerpo. Aunque también existen distintos tipos de hemoglobina, por ejemplo:

HbA (adulto), HbF (fetal), HbS (anemia drepanocítica), HbC (anemia hemolítica), HbH y HgbM.

Carbaminohemoglobina = Hb + CO<sub>2</sub>

Carboxihemoglobina = Hb + CO

Metahemoglobina = Hb + Fe<sup>3+</sup>

Sulfohemoglobina = Hb + S

**pO<sub>2</sub>:** Presión parcial de O<sub>2</sub>.

**pCO<sub>2</sub>:** Presión parcial de CO<sub>2</sub>.

## 1. Introducción

Una vez que el oxígeno (O<sub>2</sub>) ha difundido desde los alvéolos hacia la sangre pulmonar, es transportado hacia los capilares de los tejidos periféricos combinado casi totalmente con la hemoglobina (Hb), de esta manera la sangre transporta de 30 a 100 veces más O<sub>2</sub> de lo que podría transportar en forma de O<sub>2</sub> disuelto en el agua de la sangre.

En las células de los tejidos corporales, el O<sub>2</sub> reacciona con varios nutrientes para formar grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este dióxido ingresa a los capilares tisulares y es transportado de nuevo hacia los pulmones. El CO<sub>2</sub>, al igual que el O<sub>2</sub> también se combina en la sangre con otras sustancias que aumentan de 15 a 20 veces el transporte del CO<sub>2</sub>.

Después de que la sangre fluya hacia los pulmones, el CO<sub>2</sub> difunde desde la sangre hacia los alvéolos, porque la presión de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) en la sangre capilar pulmonar es mayor que en los alvéolos, de esta manera el transporte de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> en la sangre depende tanto de la difusión como el flujo de sangre.



### 1.1. Transporte hacia la sangre Arterial

Aproximadamente el 98% de la sangre que entra en la aurícula izquierda desde los pulmones acaba de atravesar los capilares alveolares, oxigenándose hasta tener una presión de  $O_2$  ( $pO_2$ ) de aproximadamente **104 mmHg**. Un 2% de la sangre que ha pasado desde la aorta a través de la circulación bronquial, que vasculariza principalmente los tejidos profundos de los pulmones y no está expuesta al aire pulmonar; a este flujo sanguíneo se le denomina “**flujo de derivación**”, lo que significa que la sangre se deriva y no atraviesa las zonas de intercambio gaseoso. Cuando sale de los pulmones, la  $pO_2$  de la sangre que pasa por la derivación es aproximadamente la de la sangre venosa sistémica normal, de aproximadamente **40 mmHg**. Cuando se combina la sangre del flujo de derivación con la sangre más oxigenada de los capilares alveolares, la  $pO_2$  disminuye hasta aproximadamente 95 mmHg, esta  $pO_2$  es la de la sangre que se bombea a todos los tejidos. Estos cambios de la  $Po_2$  sanguínea en diferentes puntos del sistema circulatorio se muestran en la **figura 1**.

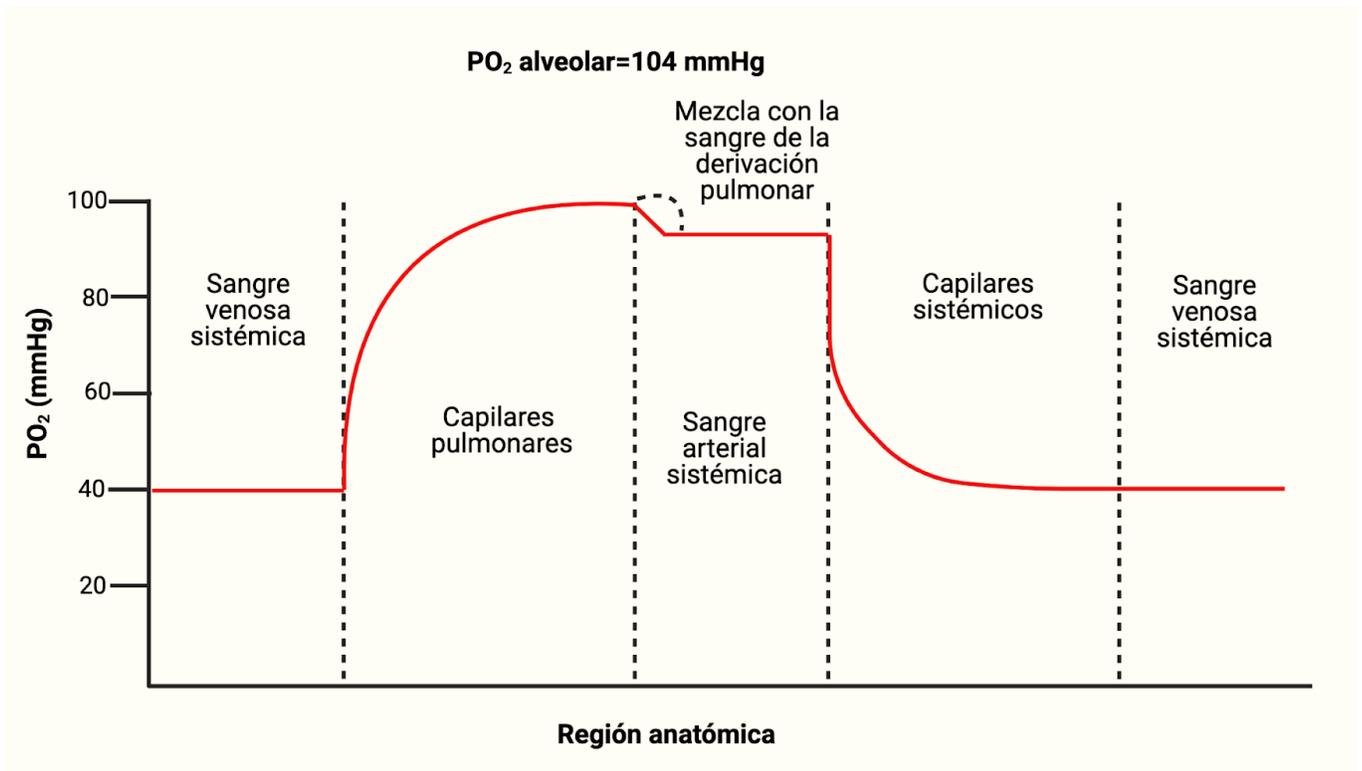


Figura 1. Cambios en la  $pO_2$  a lo largo del sistema cardiovascular.

### 1.2. Transporte de oxígeno

La molécula de  $O_2$  se combina de forma laxa y reversible con la porción hemo de la Hb. Cuando la  $pO_2$  es elevada, como ocurre en los capilares pulmonares, se favorece la unión de  $O_2$  a la hemoglobina y la liberación de dióxido de carbono (*efecto Haldane*). Por el contrario, cuando la concentración de dióxido de carbono es alta, como en los tejidos periféricos, se une  $CO_2$  a la hemoglobina y la afinidad por el  $O_2$  disminuye, haciendo que éste se libere (*efecto Bohr*).

La primera molécula de  $O_2$  que interacciona con la desoxihemoglobina se une débilmente, sin embargo, esta unión conduce a unos cambios conformacionales que modifican las unidades adyacentes haciendo más fácil la unión de las moléculas de  $O_2$  adicionales.



El  $O_2$  se transporta principalmente unido a la Hb (97%), el resto lo hace disuelto en el agua del plasma y de las células. **Cada gramo de Hb puede liberar como máximo 1.34 mililitros de  $O_2$ .** Por tanto, la Hb de 100 mililitros de sangre se puede combinar con 20 mililitros de  $O_2$  cuando la Hb está saturada al 100%.

Se conoce como *curva de disociación de la hemoglobina* (Figura 2) a la curva sigmoidea en forma de "S" que surge al representar el porcentaje de saturación de  $O_2$  de la Hb en función de la presión parcial de  $O_2$ . La curva muestra un aumento progresivo del porcentaje de Hb con  $O_2$  a medida que aumenta la  $pO_2$  sanguínea.

Se define como **p50** a la presión parcial de  $O_2$  necesaria para conseguir una saturación de la Hb del 50% y su valor suele rondar los **27 mm de Hg**. Cuanto más alta sea la **p50**, menor es la afinidad de la Hb por el  $O_2$  (se necesita una  $pO_2$  más alta para saturar la Hb al 50%).

Existen factores que, manteniendo la forma sigmoidea, desplazan la curva de disociación de la Hb hacia una u otra dirección. Cuando la afinidad de la Hb por el  $O_2$  disminuye la curva se desplaza hacia la derecha y la **p50** aumenta. Cuando la afinidad aumenta, la curva se desplaza hacia la izquierda y la **p50** disminuye.

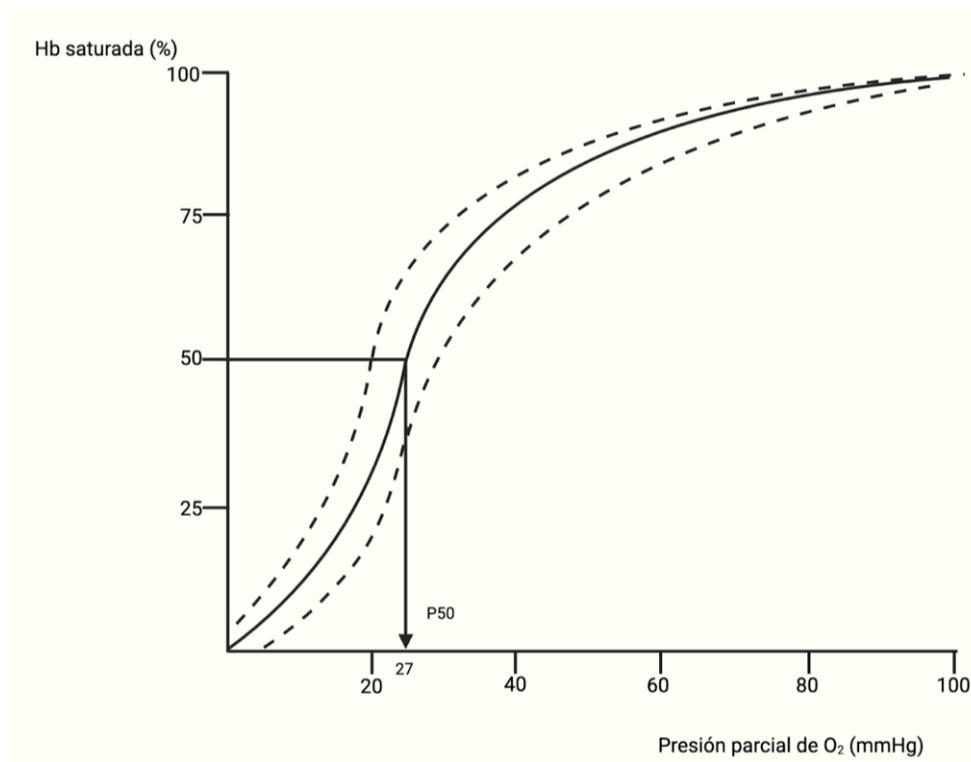


Figura 2. Curva de disociación de la hemoglobina.

Los factores que desplazan la curva a la derecha son:

1. Acidosis: Cuando la sangre se vuelve ligeramente ácida (pH 7,2) la curva se desplaza hacia la derecha en aproximadamente un 15%.
2. Aumento de 2,3-difosfoglicerato (DPG): El DPG es un polianión producido en la cadena metabólica de la glucólisis, es escaso en la mayoría de las células al inhibir su exceso la enzima que lo genera, pero en el eritrocito abunda porque se une a la Hb impidiendo la inhibición de su enzima. El DPG regula la afinidad de unión de la Hb al  $O_2$  con relación a la  $pO_2$  en los pulmones. Si un adulto sano se traslada rápidamente desde el nivel del mar a un lugar de elevada altitud donde la  $pO_2$  es menor, la liberación de  $O_2$  a los tejidos se reduce. Después de unas horas la concentración de DPG en sangre aumenta,



disminuyendo la afinidad de la Hb por el O<sub>2</sub> y liberando la cantidad habitual de O<sub>2</sub> a los tejidos. La situación se invierte cuando la persona vuelve al nivel del mar.

3. Efecto Bohr: Ocurre en los capilares tisulares cuando el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> origina la liberación de protones. Estos protones se unen a la globina haciendo que se aumente la liberación de O<sub>2</sub>, disminuyendo la afinidad.
4. Otros: aumento de temperatura (fiebre) y sulfohemoglobina.

#### Los factores que desplazan la curva hacia la izquierda son:

1. Alcalosis: Cuando la sangre se alcaliniza (pH 7,6) la curva se desplaza a la izquierda, en un porcentaje similar al de la acidosis.
2. Hb fetal: La Hb fetal se une al DPG con menos afinidad que la hemoglobina del adulto y por tanto la HbF fija más oxígeno. De esta manera se facilita la cesión de O<sub>2</sub> desde la circulación materna a la fetal.
3. Efecto Haldane: Ocurre en los capilares pulmonares cuando la elevada concentración de O<sub>2</sub> hace que se reduzca la afinidad de la Hb por el CO<sub>2</sub>. Esto desplaza la curva a la izquierda aumentando la afinidad por el O<sub>2</sub> hasta 500 veces más.
4. Otros: monóxido de carbono (carboxihemoglobina), metahemoglobina.

El término *cianosis* hace referencia a la coloración azulada de la piel y de las mucosas, debido a una mayor cantidad de desoxihemoglobina en los vasos sanguíneos de pequeño calibre. Se distinguen dos tipos de cianosis: central y periférica. En la central existe desaturación de la sangre arterial o un derivado anómalo de la hemoglobina y están afectadas tanto las mucosas como la piel. La cianosis periférica se debe a disminución de la velocidad del flujo de la sangre en una zona determinada y a la extracción anormalmente alta del oxígeno de la sangre arterial que tiene una saturación normal. Se trata del resultado de vasoconstricción y de disminución del flujo arterial periférico. A menudo en estas enfermedades las mucosas de la cavidad bucal parecen no tener cianosis. La distinción clínica entre las sinapsis centrales y periféricas no siempre es sencilla y en algunas enfermedades como un shock cardiogénico con edema pulmonar, puede existir una mezcla de ambas clases.

### 1.3. Transporte de dióxido de carbono

El CO<sub>2</sub> transportado en la sangre de tres maneras: disuelto en el plasma, en forma de bicarbonato y combinado con proteínas como compuestos carbonílicos.

El CO<sub>2</sub> disuelto al igual que el O<sub>2</sub> obedece la Ley de Henry, pero el CO<sub>2</sub> es unas 20 veces más soluble que el O<sub>2</sub>. Como resultado el CO<sub>2</sub> disuelto ejerce un papel significativo en el transporte de este gas, ya que cerca del 10% del CO<sub>2</sub> que pasa al pulmón desde la sangre se halla en su forma disuelta.

El bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se forma en la sangre mediante la secuencia siguiente:



Los compuestos carbonílicos se forman al combinarse en CO<sub>2</sub> con los grupos amino terminales de las proteínas sanguíneas. La proteína más importante es la globina de la Hemoglobina y se forma carbaminohemoglobina. Esta reacción se produce rápidamente sin acción enzimática y la Hb reducida fija más CO<sub>2</sub> en la forma de carbaminohemoglobina que la HbO<sub>2</sub>. También en este caso la descarga de O<sub>2</sub> en los capilares periféricos facilita la captación de CO<sub>2</sub> mientras que la oxigenación tiene el efecto contrario.



Se observa que la curva de disociación del CO<sub>2</sub> (Figura 3) es mucho más lineal que la curva de disociación del O<sub>2</sub>, y también que cuanto menor sea la saturación de la Hb por el O<sub>2</sub>, mayor será la concentración de CO<sub>2</sub> para una pCO<sub>2</sub> dada. Este efecto Haldane puede explicarse por la mayor capacidad de la hemoglobina reducida para captar los iones H<sup>+</sup> que se producen cuando el ácido carbónico se disocia y por la mayor facilidad con la que la Hb reducida forma carbaminohemoglobina.

La curva de disociación del CO<sub>2</sub> tiene mayor pendiente que la del O<sub>2</sub>. Esto explica la gran diferencia entre la pO<sub>2</sub> arterial y la pO<sub>2</sub> venosa mixta (en general unos 60 mm Hg) y la pequeña diferencia para la pCO<sub>2</sub> (alrededor de 5 mm Hg).

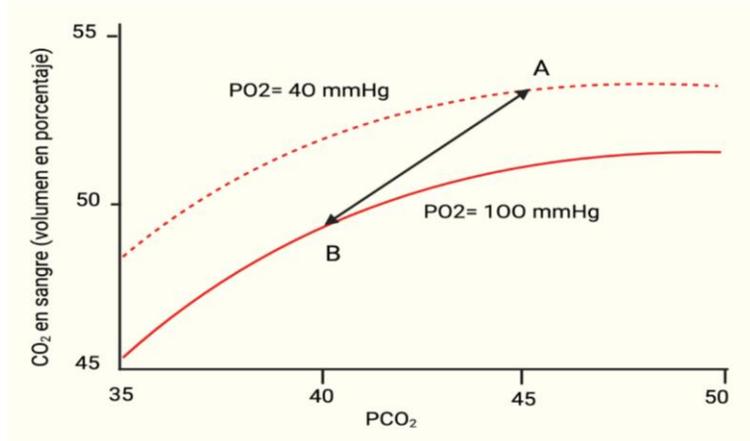


Figura 3. Curva de disociación del CO<sub>2</sub>.

## 2. Actividades en clase

**Instrucciones:** Discutir las siguientes viñetas clínicas y responder las preguntas relacionadas con el caso de manera individual, en equipos o todo el grupo guiados por el profesor.

Pueden consultarse las respuestas correctas del cuestionario en el ANEXO 1. Asimismo, se sugiere a los profesores revisar los problemas clave de aprendizaje y las notas didácticas adicionales por pregunta que se incluyen en el ANEXO 2.

### 2.1. Carlos se desmayó

**Parte I.** Cuando Carlos regresó a su apartamento a las 5 de la tarde, encendió su viejo calentador de queroseno. Había sido un día frío a finales de primavera y su apartamento del tercer piso estaba frío. Después de pasar una hora preparando la cena, comió mientras veía las noticias de la noche. Notó que su visión se volvió progresivamente borrosa. Cuando se levantó para ir a la cocina se sintió mareado e inestable. Al llegar a la cocina se desorientó mucho y se desmayó. Lo siguiente que recuerda fue despertarse en la unidad de cuidados intensivos del hospital. Sus amigos pasaron cerca de las 7 de la tarde y encontraron a Carlos inconsciente en el piso de la cocina. En ambulancia lo llevaron inconsciente al hospital.

Una muestra de sangre arterial extraída cuando llegó por primera vez al hospital muestra los siguientes valores:

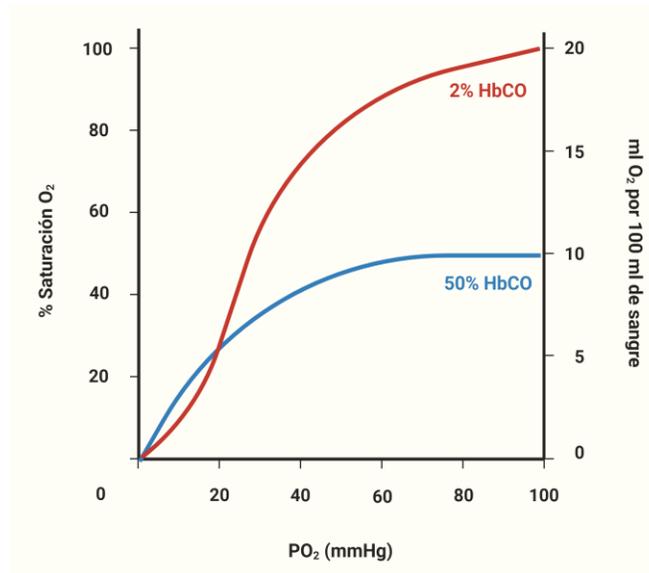
N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO
573 mmHg	95 mmHg	40 mmHg	0.4 mmHg

**Pregunta 1.** ¿Las mediciones de qué gas(es) en sangre muestran anomalías en la presión o presiones parciales?

- N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO.
- CO y CO<sub>2</sub>.
- CO.
- N<sub>2</sub> y CO.
- O<sub>2</sub> y CO.



**Parte II.** Una medición de la sangre de Carlos revela que la Hb está saturada al 50% con CO (50% HbCO). En la figura 4 se muestra la curva de saturación de oxígeno-Hb en sangre de Carlos (50% HbCO) y en condiciones normales (2% HbCO). La unión del CO<sub>2</sub> a la Hb es normal en ambos casos.



**Figura 4.** La curva de saturación de oxígeno-hemoglobina (Hb) en sangre de Carlos (50% HbCO) y en condiciones normales (2% HbCO).

**Pregunta 2.** ¿Cuál es el porcentaje aproximado de saturación de Hb por O<sub>2</sub> en sangre arterial normal?

- a) 100%.
- b) 97%.
- c) 75%.
- d) 50%.
- e) 35%.

**Pregunta 3.** ¿Cuál es la cantidad máxima de O<sub>2</sub> (ml/100 ml de sangre) que se puede transportar en la sangre arterial de Carlos?

- a) 2 ml/100 ml.
- b) 5 ml/100 ml.
- c) 10 ml/100 ml.
- d) 15 ml/100 ml.
- e) 20 ml/100 ml.

**Pregunta 4.** CO potencia el efecto Bohr. Esto significa que el CO provocará un cambio más pronunciado de la curva de saturación de Hb-O<sub>2</sub> a la:

- a) Derecha.
- b) Izquierda.

**Pregunta 5.** Si la pO<sub>2</sub> en los tejidos corporales es de 20 mmHg, ¿cuál es la mejor estimación de la cantidad de O<sub>2</sub> (ml/100 ml) que se puede liberar de la sangre de Carlos cuando circula en sus capilares sistémicos?

- a) <1 ml/100 ml.
- b) 1 ml/100 ml.
- c) 2,5 ml/100 ml.
- d) 5 ml/100 ml.
- e) 10 ml/100 ml.



**Pregunta 6.** En la sangre de Carlos, la  $p\text{CO}_2$  en la sangre es mucho más baja que la  $p\text{O}_2$ , pero el porcentaje de saturación de Hb por cada gas es igual. Este resultado indica que la afinidad de la Hb por el CO es, aproximadamente, ¿cuántas veces mayor en comparación con el  $\text{O}_2$ ?

- a) 38.
- b) 100.
- c) 238.
- d) 708.
- e) 1,783.

**Pregunta 7.** ¿Esperaría que el trastorno de Carlos se acompañe de hiperventilación mediada por quimiorreceptores?

- a) Sí, porque el porcentaje de saturación de oxígeno de Hb en su sangre se reduce.
- b) Sí, porque el CO actúa como un neurotransmisor del sistema nervioso central y los quimiorreceptores centrales se encuentran en el cerebro.
- c) Sí, porque los quimiorreceptores periféricos de los cuerpos carotídeo y aórtico detectan una presión parcial elevada de CO.
- d) No, porque la  $\text{PO}_2$  en su sangre es normal.
- e) No, porque el CO no puede difundirse a través de la barrera hematoencefálica.

**Pregunta 8.** Fundamentalmente, la condición de Carlos es un problema de:

- a) Ventilación pulmonar.
- b) Difusión a través de la membrana respiratoria entre el espacio aéreo alveolar y los capilares alveolares.
- c) Transporte de gases entre los capilares alveolares y los lechos capilares en otros tejidos.
- d) Intercambio de gases disueltos entre la sangre y el líquido intersticial en los tejidos periféricos.
- e) Absorción de oxígeno y liberación de  $\text{CO}_2$  por las células en los tejidos periféricos.

**Pregunta 9.** Con respecto a la fisiología de la respiración externa, el trastorno de Carlos es muy análogo a:

- a) Hipoventilación inducida por barbitúricos.
- b) Vértigo.
- c) Enfisema.
- d) Anemia hemorrágica aguda.

**Pregunta 10.** ¿Cuál de los siguientes NO es un componente apropiado de un plan de tratamiento agresivo para el trastorno de Carlos?

- a) Administración de una mezcla de gases respirables con alto porcentaje de  $\text{O}_2$ .
- b) Alcalinización de la sangre (aumento del pH).
- c) Reemplazo parcial de sangre con sangre completa normal y compatible.
- d) Administración de una mezcla de gases respirables con niveles elevados de  $\text{CO}_2$ .

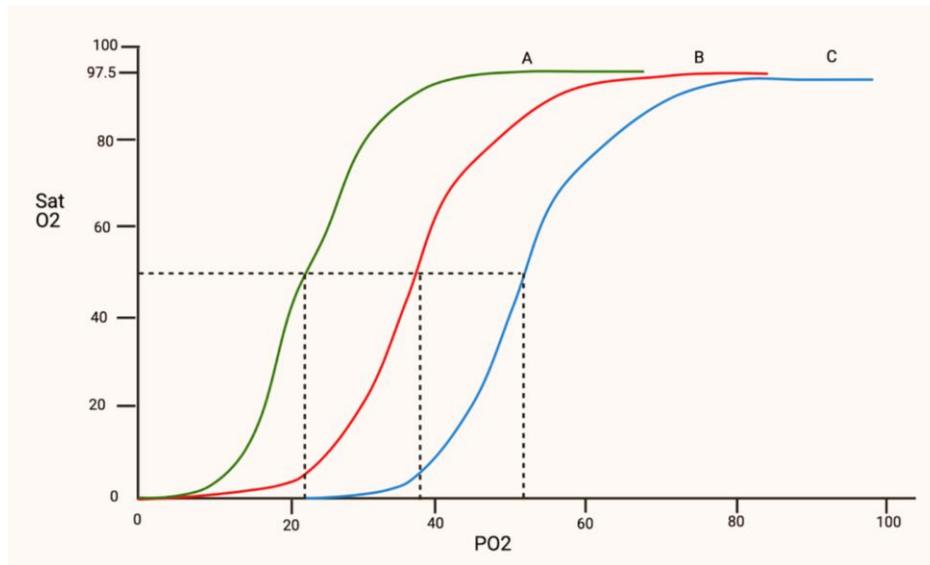
## 2.2. ¡El neonato se ve azul!

Recién nacido a término sin complicaciones durante el parto, APGAR 8/9, sin datos de dificultad respiratoria. Durante la exploración secundaria el explorador se percató de la presencia de lechos ungueales de tinte cianótico, así como lengua y labios. Pese a la cianosis en lechos ungueales no hay signos de dificultad respiratoria. Presenta saturación  $\text{O}_2$  de 74%. Se inicia oxigenoterapia complementaria con puntas nasales mejorando la saturación de  $\text{O}_2$ , así como la cianosis de lechos ungueales. Se realiza biometría hemática con parámetros normales y radiografía de tórax sin alteraciones; el ecocardiograma presenta flujos sin alteraciones. Se realiza evaluación de hemoglobina revelando una mutación estructural con afección de la afinidad de oxígeno (hemoglobina Kansas), por lo que presenta menor afinidad por el oxígeno.



**Pregunta 1.** ¿Cuál de las siguientes curvas puede pertenecer al caso presentado?

- A)
- B)
- C)



**Pregunta 2.** ¿Cuál es la pO<sub>2</sub> para alcanzar una saturación del 50%?

**Pregunta 3.** Explique la relación entre la presencia de cianosis y la menor afinidad de oxígeno por la hemoglobina.

**Pregunta 4.** Enliste las variantes que desplazan la curva hacia la izquierda.

#### Referencias:

1. La actividad está basada en el trabajo de: Cliff W. H. (2006). Case-based learning of blood oxygen transport. *Advances in physiology education*, 30(4), 224–229. DOI: 10.1152/advan.00003.2006
2. Hall, J. E. (2016). *Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica*. Madrid, España: Elsevier.



## ANEXO 1.

### Respuestas de las preguntas

**Pregunta 1.** c) Solo CO.

**Pregunta 2.** b) 97%.

**Pregunta 3.** c) 10 ml/100 ml.

**Pregunta 4.** a) Derecha.

**Pregunta 5.** c) 2,5 ml/100 ml.

**Pregunta 6.** c) 238.

**Pregunta 7.** d) No, porque la  $PO_2$  en su sangre es normal.

**Pregunta 8.** c) Transporte de gases entre los capilares alveolares y los lechos capilares en otros tejidos.

**Pregunta 9.** d) Anemia hemorrágica aguda.

**Pregunta 10.** b) Alcalinización de la sangre (aumento del pH).

## ANEXO 2.

### Problemas clave de aprendizaje y las notas didácticas adicionales

#### Pregunta 1

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben conocer las presiones parciales arteriales normales de los principales gases en sangre como punto de comparación. Los estudiantes deben darse cuenta de que normalmente se encuentran pequeñas cantidades de CO en la sangre, pero a presiones parciales considerablemente inferiores al valor informado para el paciente.

#### Pregunta 2

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben identificar la  $PO_2$  normal de la sangre. El estudiante debe poder usar la gráfica para derivar el porcentaje de saturación en función de la presión parcial. La pregunta 2 brinda una oportunidad para que el instructor pregunte a los estudiantes sobre su comprensión de lo que representa la curva de disociación oxígeno-Hb y cómo se generó.

##### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

Los instructores deben señalar que el eje que muestra el porcentaje de saturación de oxígeno representa el porcentaje del total de sitios de unión de Hb potencialmente disponibles para el oxígeno que en realidad están ocupados por oxígeno. El CO no reduce los sitios de unión totales, pero no los hace disponibles para la unión de oxígeno.

#### Pregunta 3

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben saber que el valor de ml/100 ml es la medida de la capacidad de transporte de oxígeno de la Hb en sangre. Los estudiantes deben poder usar el gráfico para derivar el valor de ml/100 ml de sangre arterial envenenada con CO en función de su  $PO_2$ . La pregunta 3 brinda una oportunidad para que el instructor evalúe las concepciones de los estudiantes sobre cómo el CO provocó una reducción en la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre.

#### Pregunta 4

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben saber cómo se altera la forma de la curva de saturación de oxígeno-Hb por cambios en la concentración de iones de hidrógeno. La pregunta 4 brinda una oportunidad para que el instructor evalúe la comprensión del alumno de cómo los cambios en la forma de la curva influyen en la absorción y entrega de oxígeno.



#### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

Los instructores pueden querer abordar el hecho de que el CO mejora el efecto de Bohr del ácido fijo y que la dirección y extensión del cambio depende de si la sangre está en los pulmones o en los tejidos.

#### **Pregunta 5**

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben reconocer que la cantidad de oxígeno que llega a los tejidos es la diferencia entre la cantidad de sangre que ingresa por las arterias y la cantidad que sale después de que la sangre se equilibra con los tejidos en los capilares. La pregunta 5 brinda al instructor la oportunidad de evaluar si los estudiantes comprenden que la curva de disociación oxígeno-Hb puede usarse para determinar diferencias en el contenido de oxígeno de la sangre que se encuentra en diferentes lugares del cuerpo.

#### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

Es probable que la  $PO_2$  en los tejidos corporales se reduzca mucho más que 20 mmHg durante la intoxicación por CO, ya que la  $PO_2$  tisular no es fija, sino que es una variable dependiente de la extracción de oxígeno tisular. Los instructores deben abordar la cuestión de si se espera que el consumo de oxígeno en los tejidos de una persona intoxicada por CO se reduzca en la medida que implica la respuesta a la pregunta.

Los instructores pueden alterar la pregunta planteando una  $PO_2$  tisular significativamente más baja o pueden pedir a los estudiantes que determinen la  $PO_2$  en los fluidos tisulares de un individuo envenenado con CO en la condición en la que el consumo de oxígeno tisular ha permanecido normal.

#### **Pregunta 6**

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben darse cuenta de que el CO compite con el oxígeno por unirse a la Hb. Los estudiantes deben comprender que la afinidad es una medida de la tendencia de una molécula (ligando) a unirse a su objetivo (receptor) y que puede expresarse como el porcentaje de ocupación del objetivo a una concentración conocida del ligando. Los estudiantes deben saber que el porcentaje de saturación es una medida del porcentaje de ocupación y que  $PO_2$  es una medida de la concentración de ligando. Los estudiantes deben darse cuenta de que cuando dos ligandos en competencia muestran un porcentaje de ocupación equivalente, entonces la relación de las concentraciones (o presiones parciales) de los dos ligandos diferentes refleja la relación inversa de sus afinidades relativas. El instructor tiene la oportunidad de evaluar el grado de comprensión de los estudiantes sobre el transporte de oxígeno por la sangre como un proceso de unión específica y reversible a la Hb.

#### **Pregunta 7**

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes deben comprender que el sistema de control respiratorio regula la ventilación monitoreando selectivamente la  $PO_2$  en la sangre arterial. La pregunta 7 brinda una oportunidad para que el instructor evalúe cómo los estudiantes comprenden la relación fisiológica entre la monitorización del oxígeno en sangre y el suministro de oxígeno desde los pulmones a los tejidos.

#### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

Los instructores pueden querer incluir la dimensión adicional que surge de la acidosis metabólica inducida por la falta de oxígeno prolongada y pedirles a los estudiantes que expliquen su impacto en la regulación de la ventilación en un individuo intoxicado por CO.

#### **Pregunta 8**

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes necesitan conocer los pasos individuales y la secuencia de eventos en el transporte de oxígeno desde los pulmones a las células. La pregunta 8 brinda la oportunidad de evaluar hasta qué punto los estudiantes comprenden cómo y dónde funciona la Hb en la respiración externa.



#### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

El problema del transporte inadecuado de oxígeno se extiende más allá del paso específico de la respiración externa afectada por la intoxicación por CO. El instructor puede querer desafiar a los estudiantes a que expliquen las consecuencias secundarias del envenenamiento por CO en cada uno de los eventos subsiguientes en la respiración externa.

#### Pregunta 9

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes necesitan información sobre cómo cada trastorno altera la química del oxígeno de la sangre. La pregunta 9 brinda otra oportunidad para que los estudiantes demuestren que comprenden cómo funciona la Hb en la respiración externa al identificar el trastorno fisiopatológico cuyo efecto se corresponde mejor con la acción inhibitoria del CO sobre la Hb en la sangre.

#### NOTAS DIDÁCTICAS ADICIONALES

Emparejar por analogía requiere un razonamiento cuidadoso. Es posible que los instructores quieran pedirles a los estudiantes que expliquen hasta qué punto la intoxicación por CO es o no análoga a cada uno de los trastornos descritos.

#### Pregunta 10

##### PROBLEMAS CLAVE DE APRENDIZAJE

Los estudiantes necesitan conocer el efecto de la concentración sobre la inhibición competitiva, el efecto de los cambios de pH sobre la absorción y liberación de oxígeno por la Hb, el efecto de la dilución sobre la acción de una molécula inhibitoria y el efecto de una presión sanguínea parcial elevada de CO<sub>2</sub> sobre las tasas de ventilación y excreción de sustancias volátiles del cuerpo. Esta pregunta multifacética brinda a los estudiantes la oportunidad de rastrear las relaciones de causa y efecto que conducen a los cambios en la respiración externa inducidos por cada uno de estos tratamientos. Este análisis permite a los estudiantes determinar si cada tratamiento mejoraría o no la capacidad de la sangre para suministrar oxígeno a los tejidos al contrarrestar el efecto del envenenamiento por CO.



CC BY

Esta obra está bajo una  
Licencia Creative Commons  
Atribución 4.0 Internacional