

Solubilidad de gases en líquidos

Al visitar un acuario y observar las peceras nos puede llamar la atención que por algún lugar del receptáculo surjan burbujas en forma constante. Resulta evidente que para que los peces vivan en las mejores condiciones, el agua del medio debe estar debidamente oxigenada (Fig. 7.5), en otras palabras, el aire (inyectado por un aireador) tiene la capacidad de solubilizarse en el agua.



Figura 7.5: Imagen de aire inyectado en una pecera.

Todas las sustancias, independiente de su estado de agregación (sólidos, líquidos y gases) pueden disolverse en un solvente. Definiremos entonces a la solubilidad como la mayor cantidad de sustancia que puede disolverse en un solvente dado.

Específicamente, la solubilidad de los gases en los líquidos suele indicarse como la relación que se establece entre el volumen de gas disuelto y el volumen total de la solución. Dicha relación fue establecida por R. Bunsen denominándose por este motivo, como Coeficiente de Absorción de Bunsen y se define como el volumen de gas, a 0 °C y a 1 atm de presión, disuelto por unidad de volumen de solvente en dichas condiciones.

$$\delta = \frac{V_1}{V_0}$$

Donde δ = Coeficiente de absorción

V_1 = Volumen de gas disuelto

V_0 = volumen del solvente

Por ejemplo, si el valor del coeficiente de absorción del oxígeno a la presión atmosférica en contacto con el agua es 0,049, esto significa que en 100 ml de agua se pueden disolver 4,9 ml de O_2 en las condiciones indicadas.

Teniendo en cuenta que el volumen del gas disuelto se mide a 0°C y a 1 atm de presión y que en estas condiciones un mol de cualquier gas ocupa aproximadamente 22,4 litros, podemos dividir el coeficiente de absorción por 22,4 y obtener el coeficiente de solubilidad del gas, α , expresado en moles por litro a la temperatura de la experiencia y a 1 atm de presión.

$$\alpha = \frac{\delta}{22,4 \text{ l}}$$

Efecto de la presión sobre la solubilidad de los gases. Ley de Henry

Según la teoría cinética, la cantidad de gas que se disuelve en un líquido depende de la frecuencia de choques de las moléculas de gas sobre la superficie del líquido.

Si suponemos que tenemos un gas en equilibrio con un líquido, y aumentamos la presión del gas, entonces más moléculas chocarán con la superficie del líquido aumentando así la cantidad de moléculas de gas que pasan al solvente, y por consiguiente, la solubilidad del gas en el líquido (Fig. 7.6).

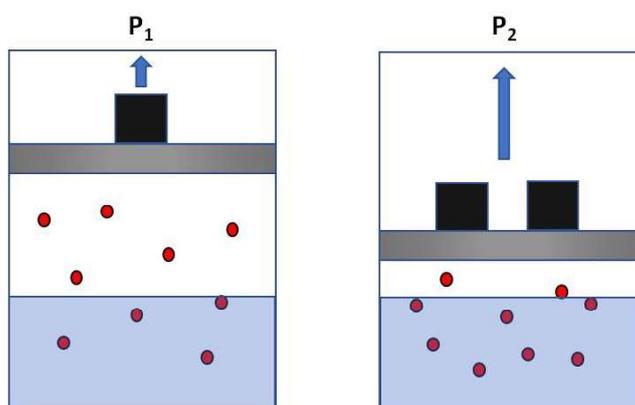


Figura 7.6: Representación del aumento de la presión de un gas sobre una solución ($P_2 > P_1$).

La solubilidad de gases en líquidos en función de la presión parcial del gas es expresada cuantitativamente por la ley de Henry. Esta ley vincula la cantidad de gas disuelto con la presión parcial de dicho gas y puede enunciarse de la siguiente manera: "la cantidad de gas disuelta en un volumen dado de solvente, a temperatura constante, es proporcional a la presión del gas en equilibrio con la solución". Por lo tanto, a partir de ella se infiere que a medida que la presión aumenta, también lo hace la solubilidad del gas que está en contacto con la solución.

Matemáticamente podemos expresar como:

$$C = \alpha \cdot P_p$$

Donde C= concentración de gas disuelto, es decir cantidad de gas en un volumen dado.

α = coeficiente de solubilidad

Pp= presión parcial del gas

Por lo tanto la solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial del gas.

$$S = \alpha \cdot Pp$$

Donde S= solubilidad del gas en el líquido expresado en moles de gas/ volumen de líquido

α = coeficiente de solubilidad, expresado en Molar/ presión

Pp= presión parcial, expresado en unidades de presión.

El coeficiente de solubilidad es función de la temperatura y del tipo de gas, por ejemplo, a 37 °C el oxígeno en sangre tiene un coeficiente de solubilidad de 0,0013 mM/mm de Hg, en cambio para el CO₂, el α es de 0,0299 mM/mm de Hg.

En relación a la temperatura, se produce una disminución de dicho parámetro con el aumento de la temperatura. Esto puede atribuirse a que al aumentar la temperatura también lo hace la energía cinética de las moléculas de líquido generando espacios por los cuales se escapan las moléculas gaseosas; a su vez, con el aumento de temperatura, las moléculas gaseosas también se mueven más rápido y comienzan a aumentar su velocidad de escape del líquido.

La respiración pulmonar

La respiración es un proceso involuntario y automático, en el que se extrae el oxígeno del aire inspirado y se expulsan los gases de desecho con el aire espirado.

Difusión y transporte de gases durante la respiración

El aire atmosférico es una mezcla de gases constituida por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), dióxido de carbono (0,03%) y 0,97 de vapor de agua y otros gases. Fisiológicamente el más importante es el oxígeno y debemos tener en cuenta que siempre el aire contiene una pequeña cantidad de vapor de agua que dependerá de la humedad ambiental.

El aire ingresa a los pulmones durante la fase activa de la respiración denominada inspiración, la finalidad de ésta es llevar el aire atmosférico a través del árbol respiratorio hasta la unidad funcional del pulmón, el alvéolo pulmonar. Es en esta estructura, donde el aire cede el oxígeno a la sangre y toma de ella el dióxido de carbono. Este proceso que tiene por

resultado el intercambio de gases entre el exterior y el interior se denomina respiración externa. En la figura 7.7 se observa un corte histológico de pulmón y un esquema de alvéolo pulmonar graficando la difusión de O_2 .

Es importante recalcar que no todo el aire que ingresa durante la inspiración llega hasta los alvéolos, gran parte del mismo permanece en las vías aéreas superiores y árbol bronquial, llamándose a este lugar, espacio muerto. La mezcla que se produce entre el aire inspirado y el del espacio muerto hace que la concentración de O_2 en los alvéolos sea menor que la del aire atmosférico. Debido a la conformación particular del epitelio alveolar, éste no deja pasar con facilidad a iones tales como el Na y el K, pero sí al agua y a gases como el O_2 , CO_2 y N_2 . Dicho epitelio, sirve de límite entre el exterior y el compartimiento corporal. El O_2 lo atraviesa por difusión simple, sin gasto de energía, respondiendo este comportamiento a la Ley de Fick (Capítulo 2), permitiéndose este flujo gracias a la existencia de una diferencia de concentración (en este caso, diferencia de presiones parciales), a una distancia determinada (entre el epitelio alveolar y el endotelio capilar) y a un área de intercambio. Podemos afirmar entonces, que el O_2 pasa de una fase gaseosa a una líquida representada por el plasma sanguíneo, donde se solubiliza aproximadamente un 3% del mismo siendo el resto captado por una proteína altamente especializada para este fin que es la hemoglobina, la cual se encuentra dentro de los eritrocitos y da a la sangre su característico color rojo; se forma así la oxihemoglobina. El oxígeno tomado en los alvéolos pulmonares es llevado por los glóbulos rojos de la sangre hasta el corazón y después distribuido por las arterias a todas las células del cuerpo.

La respiración celular se produce cuando el oxígeno llega a los tejidos y es utilizado por las células, con producción de dióxido de carbono por parte de las mismas.

Así, el CO_2 proveniente de la respiración celular es también transportado por la sangre en tres formas diferentes: como gas disuelto, como bicarbonato y como compuestos carbamínicos (combinación entre el CO_2 y los grupos amino libres de la hemoglobina). Este, llega al corazón por la vena cava siendo impulsado por el ventrículo derecho hasta el tejido pulmonar. Debido a la presencia de un gradiente de presión entre el CO_2 plasmático y el alveolar (mayor P_p en el plasma y menor P_p en el alvéolo), dicho gas difunde. Es así que mediante la segunda etapa de la respiración denominada espiración, la cual es pasiva, el CO_2 es eliminado al aire atmosférico. Como conclusión de este proceso es muy importante entender las diferencias entre la composición del aire inspirado y la del aire espirado. En el cuadro de la figura 7.8 se presentan las variaciones de las presiones parciales de cada gas interviniente en la respiración desde el aire atmosférico hasta el aire espirado.



Figura 7.7: Corte histológico de pulmón y esquema de difusión O_2 desde el alvéolo pulmonar.

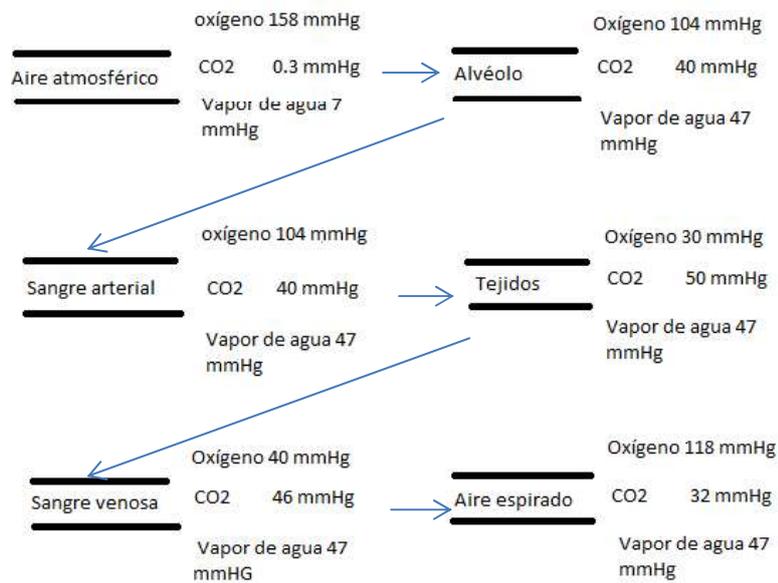


Figura 7.8: Presiones parciales de cada gas interviniente en la respiración.

Mecánica respiratoria

Para una mejor comprensión de la mecánica respiratoria haremos una reseña anatómica de las estructuras intervinientes y las funciones por ellas desempeñadas.

El aire atmosférico ingresa por las fosas nasales donde los animales poseen mecanismos que filtran el aire de impurezas groseras y lo calientan con la finalidad de lograr mayor volumen de oxígeno a nivel pulmonar (Ley de Charles). El aire avanza por la laringe, tráquea y

bronquios, sirviendo estas estructuras tubulares como mecanismos de conducción hasta el órgano blanco, el pulmón.

El pulmón se sitúa en una cavidad denominada caja torácica la cual posee particularidades propias que permiten alojarlo y que se dilate durante la inspiración. Anatómicamente, la caja torácica posee elementos óseos y musculares, conteniendo además una fina lámina de una membrana epitelial, la pleura, que envuelve a los pulmones y los separa de la cavidad torácica. Las costillas son estructuras óseas, que partiendo de la columna vertebral aportan forma y rigidez, íntimamente insertos en ellas se encuentran los músculos intercostales externos e internos cuya función radica en acomodar el tórax durante la inspiración y la espiración respectivamente. Como último elemento citaremos al diafragma, músculo que separa el tórax de la cavidad abdominal e interviene en forma muy activa durante el ciclo respiratorio.

Durante la inspiración, proceso activo, la cavidad torácica se expande debido a la contracción del diafragma y de los músculos intercostales externos provocando de esta manera una disminución de la presión intratorácica, la cual se hace menor que la atmosférica, generando así un gradiente de presiones que provoca la entrada de aire a los pulmones para equilibrar esa diferencia. En otras palabras nos indica que la presión pulmonar durante la inspiración es negativa con respecto a la atmosférica (-1 mm de Hg), y la presión intrapleural más negativa aún (- 6 mm de Hg).

Cuando termina la contracción de los músculos inspiradores, la caja torácica y los pulmones vuelven a su posición de reposo y en consecuencia, el diámetro del tórax se reduce y el pulmón, por su elasticidad, se retrae, disminuyendo el volumen pulmonar y en consecuencia, aumenta la presión intratorácica, generando una presión positiva respecto a la atmosférica y por lo tanto el aire es expulsado; a este proceso se lo denomina espiración.

Durante la espiración la presión pulmonar aumenta (+1 mm de Hg) y la intrapleural también (+3 mm de Hg) siendo ésta, de carácter pasivo. Vale recordar que para respirar siempre debe existir una diferencia de presiones entre el tórax y la atmósfera, caso contrario, como ocurre ante alguna lesión que perfora la cavidad torácica, las presiones se igualarían provocando el colapso de los pulmones.

Distensibilidad- Compliance pulmonar

Una de las características más importantes del tejido pulmonar es la elasticidad, propiedad que permite al órgano deformarse en el sentido de su volumen al aumentar la presión y volver a su tamaño original, al disminuir la misma (distensibilidad).

Si consideramos un pulmón fuera de la cavidad torácica e insuflamos aire por sus vías aéreas, podremos determinar los cambios de volumen, ΔV , que se producen al incrementar la presión transmural, ΔP , es decir la diferencia de presión entre el exterior y el interior del órgano.

El cociente entre el incremento de volumen ΔV y el incremento de la presión ΔP se denomina complacencia o compliance pulmonar.

$$\text{Compliance} = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

Dónde: ΔV es variación de volumen,
 ΔP variación de presión.

La distensibilidad varía según se produzca la inspiración o la espiración y esa diferencia se conoce como fenómeno de histéresis.

La histéresis representa la resistencia del pulmón a cambiar su volumen (inspiración) y a volver a su volumen inicial (espiración). Se visualiza mediante la diferencia de volumen pulmonar entre las curvas de inflación y deflación para una misma presión, en las curvas presión-volumen (Fig. 7.9).

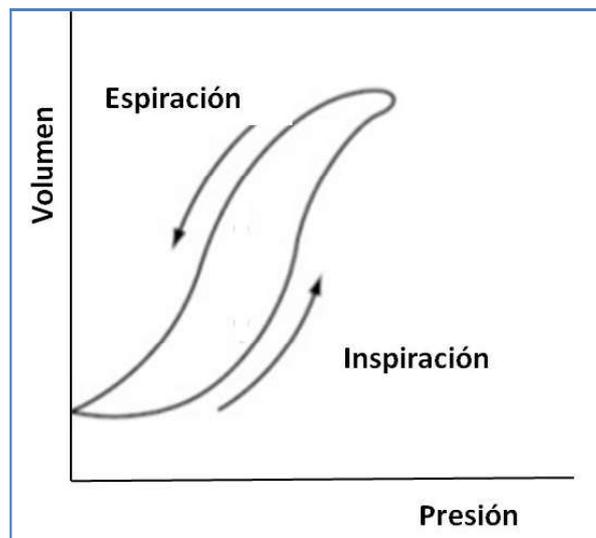


Figura 7.9: Diagrama de distensibilidad pulmonar.

Tensión superficial

El interior de cada alvéolo se encuentra recubierto por una fina capa de agua por lo cual es necesario hacer referencia a la característica más importante de los líquidos que es la tensión

superficial. Si observamos la figura 7.10, notaremos que la molécula de agua en el seno del líquido experimenta iguales fuerzas de atracción en todas direcciones, en cambio las moléculas de agua en la superficie, reciben una mayor fuerza de atracción hacia el interior del líquido dado por la mayor cantidad de moléculas en el interior que en la superficie. Podemos decir, que en la superficie se genera una fuerza que explica la aparición de muchos fenómenos naturales tales como que los líquidos siempre tienden a adoptar forma de gota, que los insectos puedan desplazarse en la superficie e incluso penetrar en una gota de agua y salir de ella sin que se rompa. Esta fuerza en la superficie del líquido actúa en el sentido de la longitud.

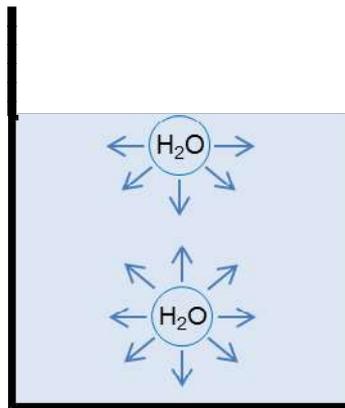


Figura 7.10: Fuerzas de atracción en dos moléculas de agua.

Podemos definir entonces a la tensión superficial (α) como "la fuerza en dinas que actúa sobre la superficie de un líquido normalmente a un centímetro de longitud".

Las unidades correspondientes en los sistemas C.G.S. y M.K.S. son las siguientes:

Sistema C.G.S.

$$\alpha = \frac{F \text{ (dinas)}}{d \text{ (cm)}}$$

Sistema M.K.S.

$$\alpha = \frac{F \text{ (Newton)}}{d \text{ (m)}}$$

Haciendo referencia a esta importante propiedad de los líquidos debemos decir que existen sustancias capaces de modificar la tensión superficial aumentándola o disminuyéndola; las que la aumentan, se denominan sustancias hipsótonas tales como algunas sales iónicas y las que la disminuyen, sustancias batótonas, tal el caso del surfactante pulmonar. El organismo animal hace uso de sustancias que disminuyen la tensión superficial, siendo los casos más

significativos a nivel intestinal para favorecer la digestión de los lípidos y a nivel pulmonar para, favorecer la actividad respiratoria en los alvéolos pulmonares.

Surfactante pulmonar

El surfactante pulmonar es una sustancia tensoactiva con una importante cantidad de funciones, producida a nivel pulmonar por una clase de células llamadas neumocitos tipo II. Está constituida por fosfolípidos y dos tipos de proteínas, unas de carácter hidrófobas, dispuestas hacia la fase gaseosa del alvéolo y otras de carácter hidrófilas, dispuestas hacia la pared alveolar. El más importante de estos fosfolípidos es el dipalmitoil-fosfatidilcolina que se sintetiza a partir del ácido fosfatídico.

En cuanto a las funciones del surfactante, la primordial radica en disminuir la tensión superficial del agua a nivel alveolar y de ese modo evitar que los alvéolos más pequeños se colapsen a expensas de los de mayor tamaño. Como estas estructuras están comunicadas entre sí, sería lógico pensar que al expandirse los mayores durante la inspiración, los menores se colapsarían y el volumen perdido por estos pasaría a los de mayor tamaño; la realidad indica que los alvéolos pequeños tienen mayor tensión superficial y su actividad es más efectiva durante el ciclo respiratorio. Otras funciones del surfactante son: permitir que el pulmón sea más distensible y disminuir el trabajo respiratorio e impedir que el plasma de los capilares pulmonares rebase sus límites y penetre dentro de los alvéolos generando una condición patológica denominada edema pulmonar.