

RESPIRACIÓN

AEROBIA

- Con O₂
- Eficaz

ANAEROBIA

- Sin O₂
- Menos eficaz

RESPIRACIÓN EXTERNA:

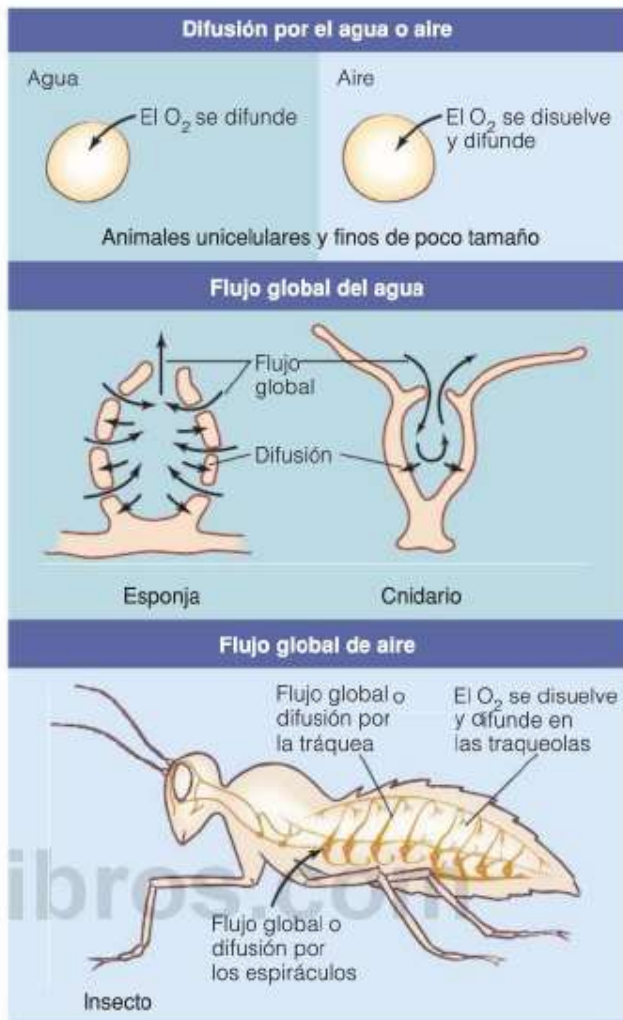
Puede ser directa o indirecta.

Proceso comprende

1. flujo global de agua o aire (medio exterior acuático o terrestre) por la superficie respiratoria.
2. Difusión de oxígeno y dióxido de carbono a través de las membranas-superficies respiratorias.
3. Transporte de gases en la sangre hacia los tejidos por medio de pigmentos respiratorios
4. Difusión de los gases de la sangre a los tejidos.

Respiración interna o celular: para obtener energía

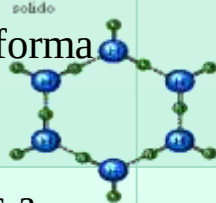
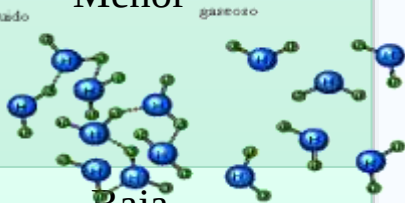
Estrategias respiratorias



Respiración indirecta: Oxígeno viaja por el aparato circulatorio

Respiración directa: Oxígeno llega directamente a las células

Propiedades agua vs aire

Propiedad	Agua	Aire
Densidad	Mayor (800 veces más) Disminuye por debajo de 4°C, ya que forma cristales que ocupan más volumen 	Menor 
Viscosidad	Alta (34 veces más a 40°C y 100 veces a 0°C)	Baja
Calor específico	Alto (3400 veces)	Bajo
Conductividad calorífica	Alta (24 veces)	Baja
Contenido O ₂	Menor	Alta 20 veces más
Difusión O ₂	Menor	Mayor (300.000 a 20°C) 10.000 veces más

Ley de Henri: la cantidad de gas disuelta en un líquido es proporcional a la presión parcial y a la solubilidad de ese gas en dicho líquido. La solubilidad está en relación inversa con la temperatura y osmolaridad del líquido.

Solubilidad de CO₂ en agua es 24 veces mayor que la del O₂.

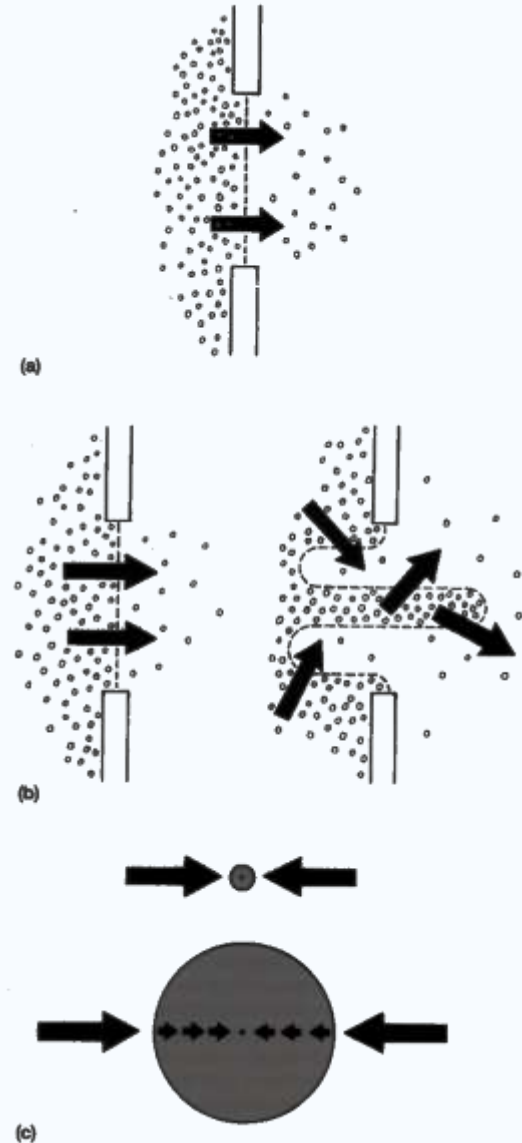
Difusión

El ritmo de difusión depende de (**Ley de Fick**):

1. Área o superficie disponible (subdivisión o ramificación)
2. Solubilidad del gas (tipo de tejido)
3. Diferencia presiones parciales de los gases (PO_2 mayor en las branquias que en la sangre)
4. Distancia (tejidos gruesos)
5. Peso molecular del gas

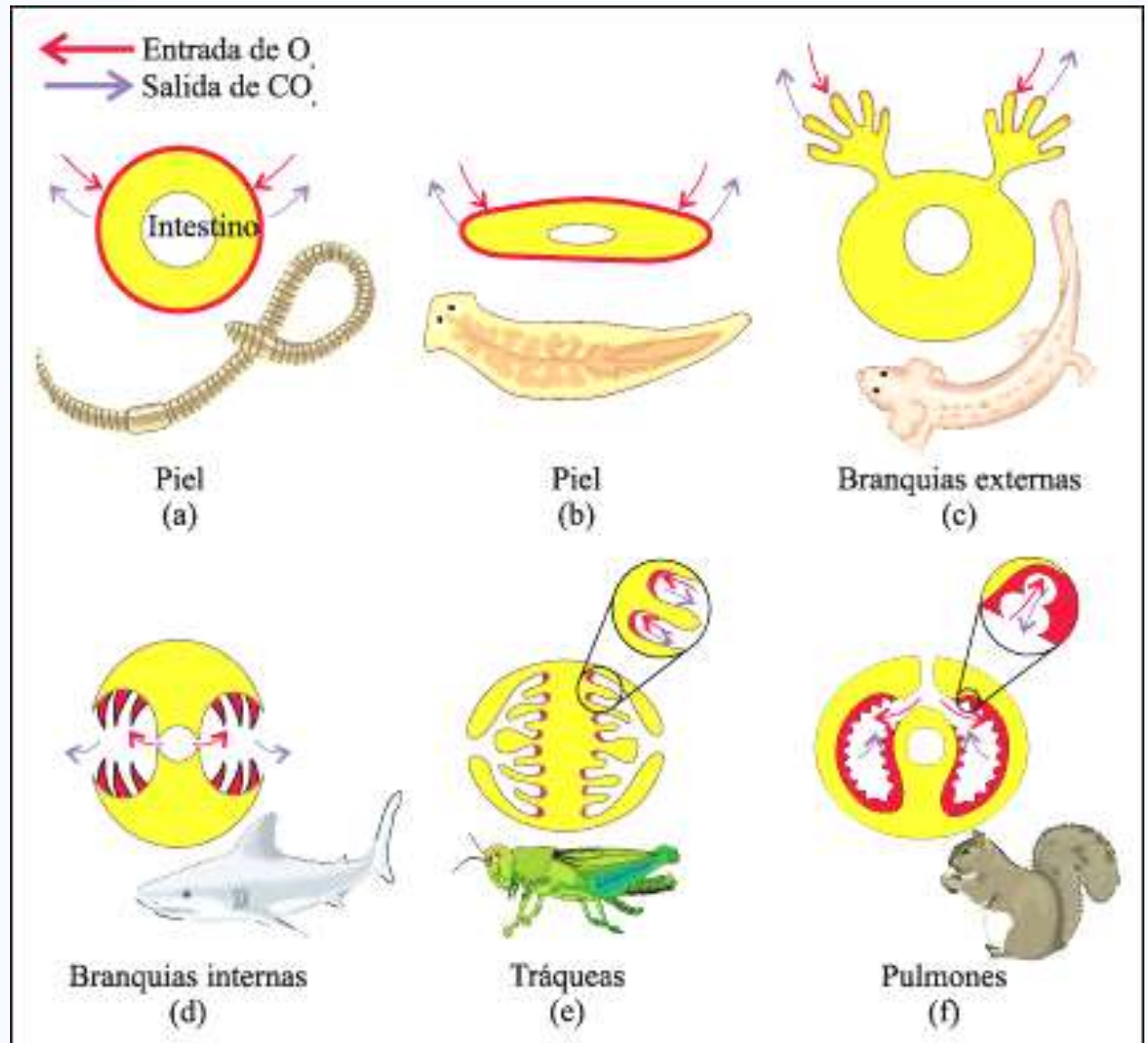
Relación área/volumen: si aumenta el radio o sea mayor tamaño, disminuye la proporción de área disponible. Además aumenta la distancia.

Un organismo esférico no debería tener un $r = >0.5 \text{ mm}$



Superficies respiratorias

Cutánea
Branquial
Traqueal
Pulmonar



1. Ventilación por el medio externo: no-direccional y direccional
2. Perfusión de la membrana por la sangre: para intercambio gaseoso

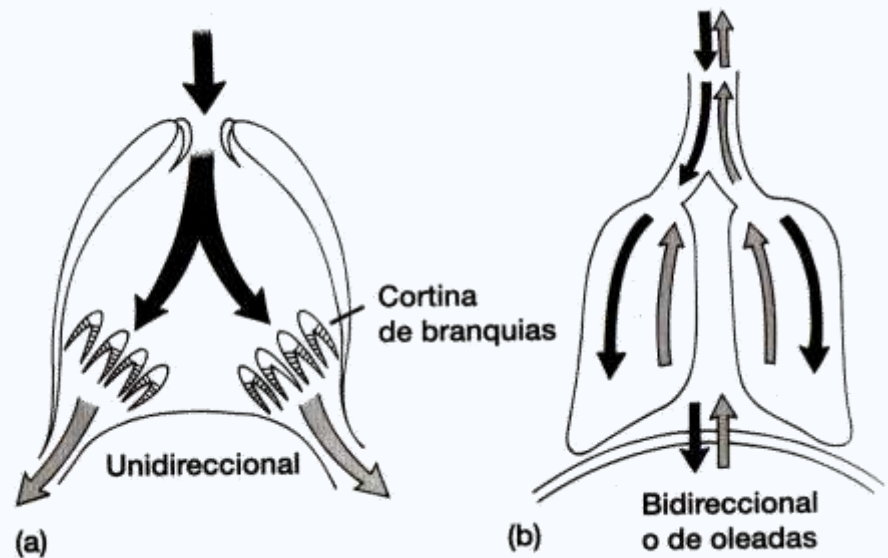
Ventilación por el medio externo

Respiración Acuática

1. Unidireccional. Usualmente con branquias
2. Alto ritmo de ventilación (a 15°C el agua tiene 1/30 O₂ que el aire)
3. Flujo agua 10 veces más que el de la sangre (doble bomba y mecanismo contracorriente). Requiere más esfuerzo y por tanto más gasto de energía (un pez 20-30%, mientras un mamífero 1-2% de la energía)
4. Flujo constante

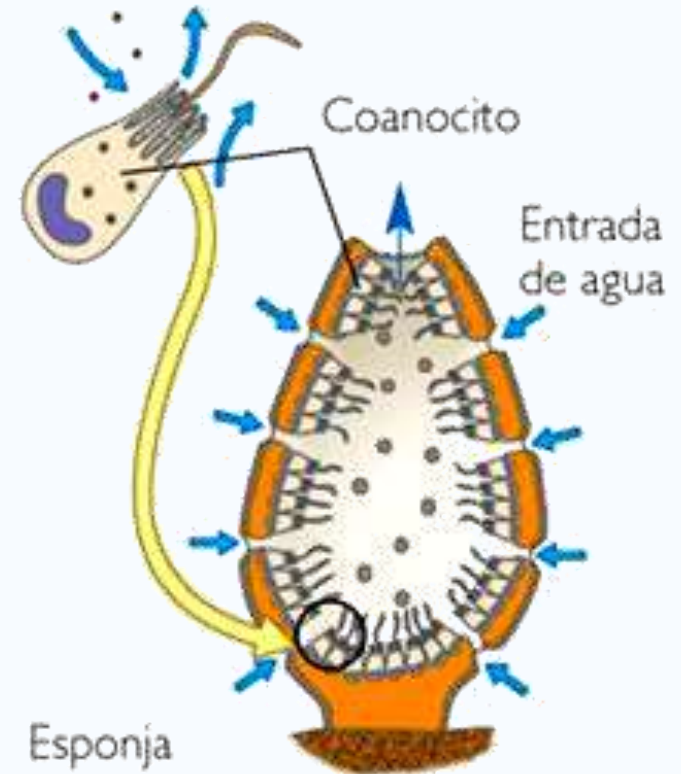
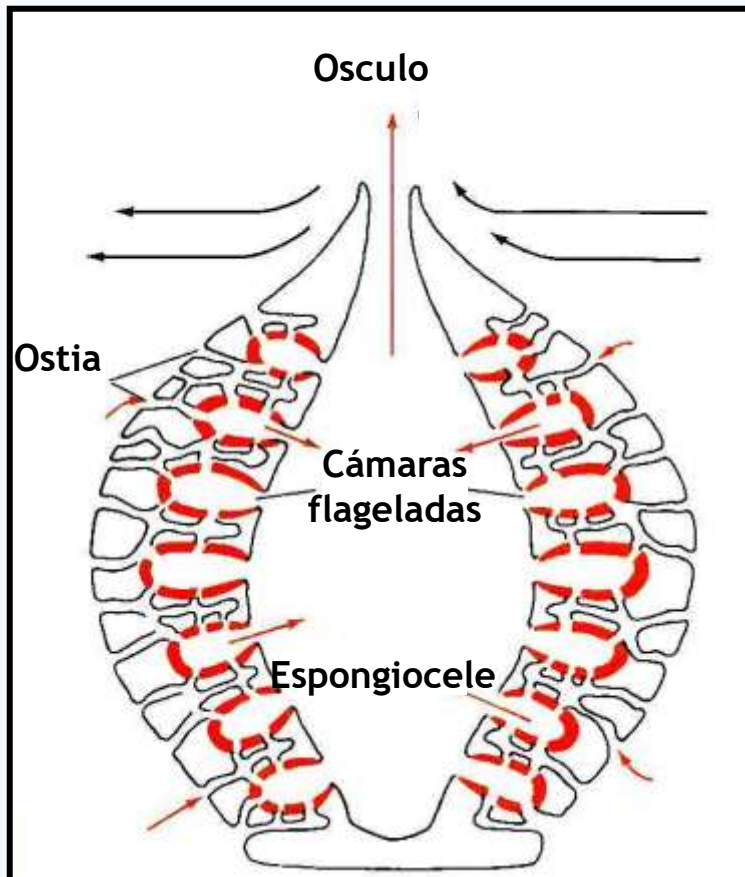
Respiración Aérea

1. Bidireccional
2. Órganos internos (pulmones, tráqueas)
3. Flujo periódico



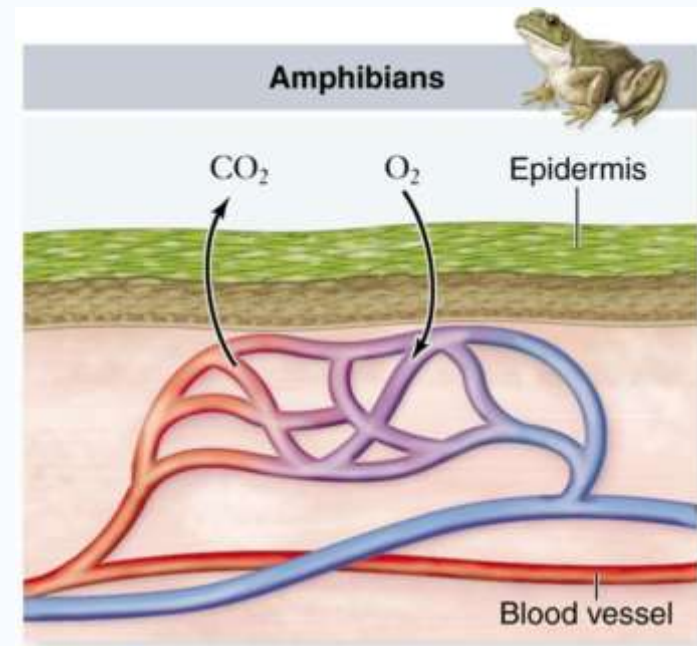
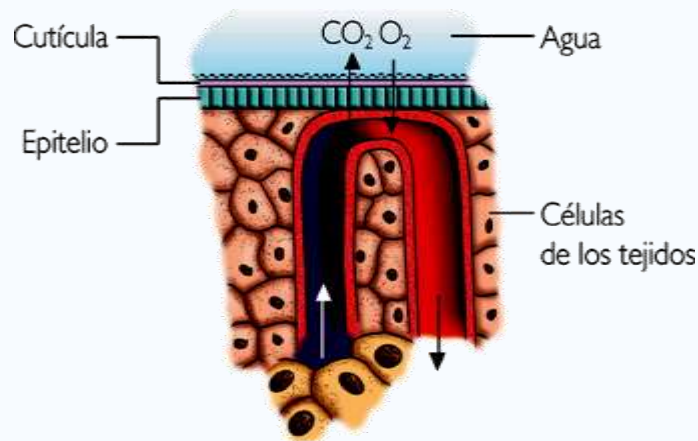
Respiración Directa

- Ingreso directo de la atmósfera a la célula
- Propia de poríferos, cnidarios y ctenophoros.
- Organismos con un diámetro < 1 mm



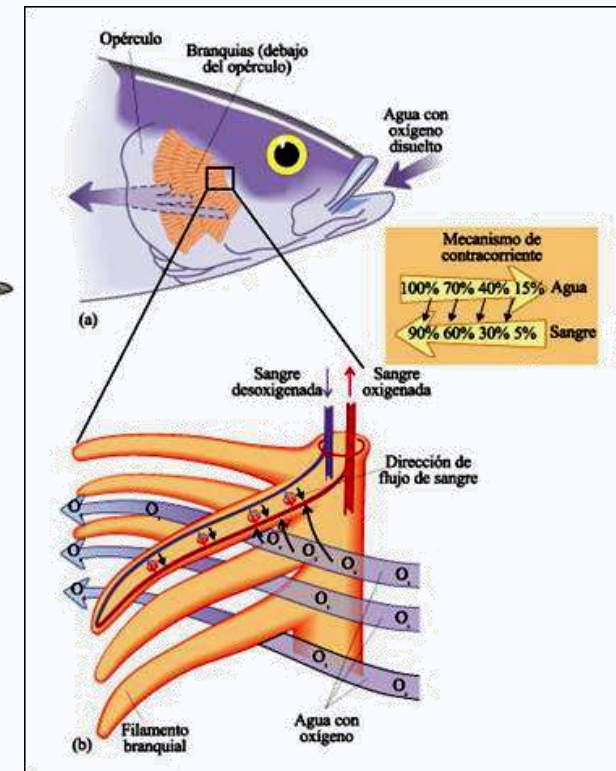
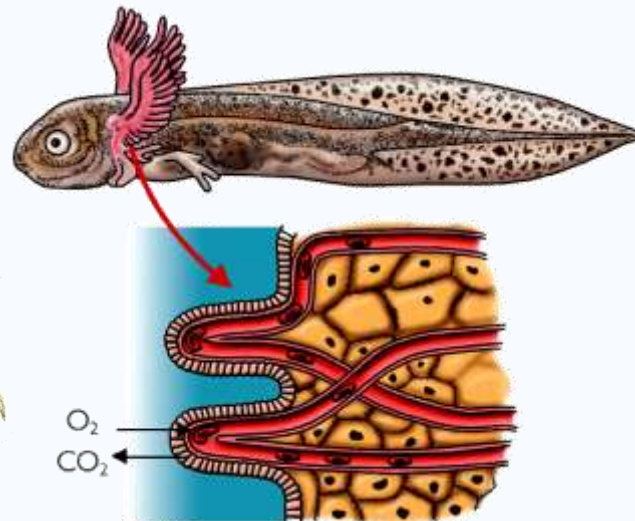
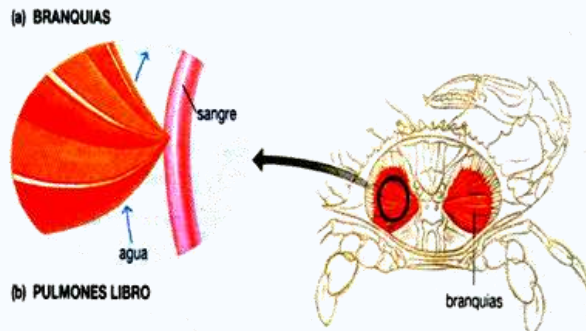
Respiración Cutánea

- Platelmintos (planaria), anélidos, algunos moluscos (babosa) y en los anfibios.
- Piel vascularizada
- Piel fina y permeable a los gases
- La difusión es a través del tegumento hacia los vasos sanguíneos
- Piel o tegumento deben estar húmedos (glandular)
- Tasa metabólica baja
- Relación S/V alta
- Tamaño pequeño



Respiración branquial

- Equinodermos (algunos), artrópodos, moluscos, peces, y anfibios en la etapa larval y algunos adultos.
- El intercambio de gases se realiza entre la corriente de agua y las vasos sanguíneos.

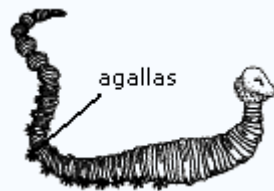


Branquias externas

- Delgadas
- Ramificadas



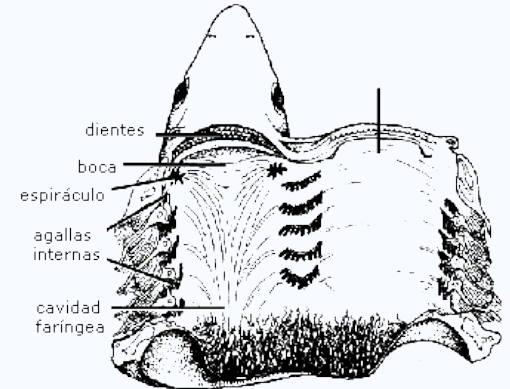
Anélidos



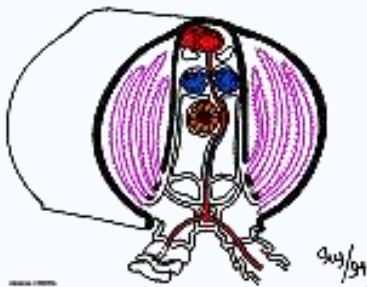
Insectos

Branquias internas

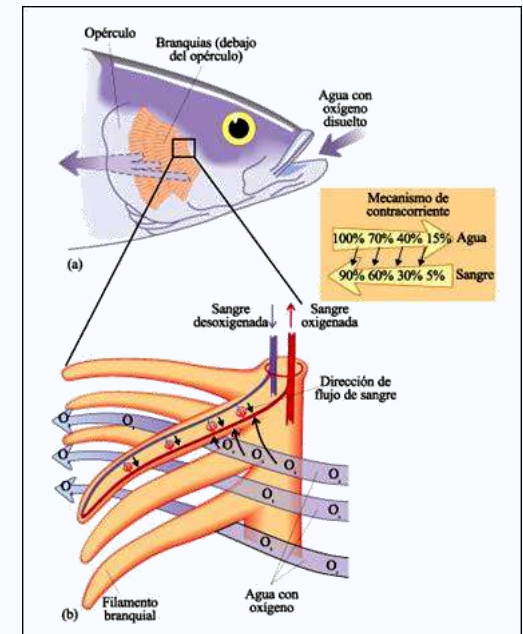
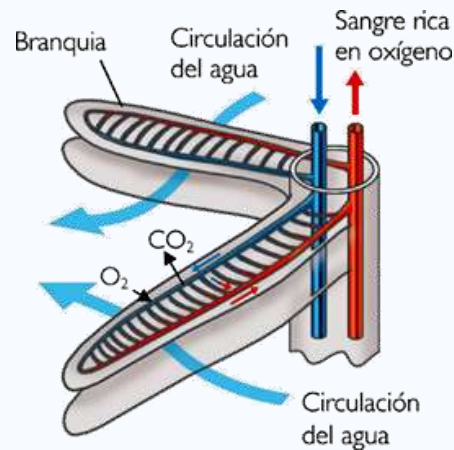
- Protegidas
- Vascularizadas
- Ramificadas
- Intercambio por contracorrientes



Peces cartilaginosos



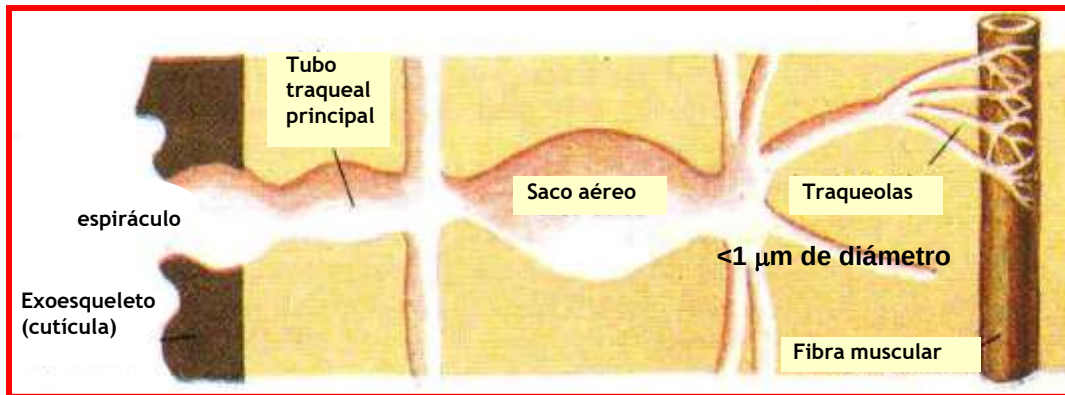
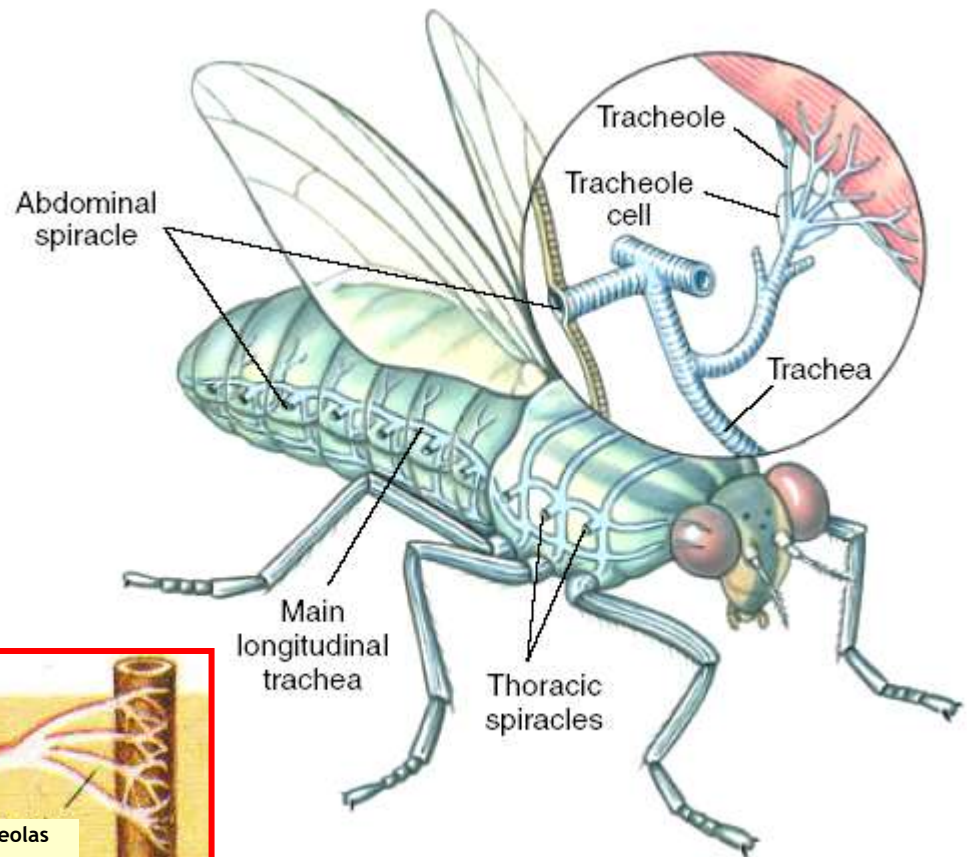
Crustáceos



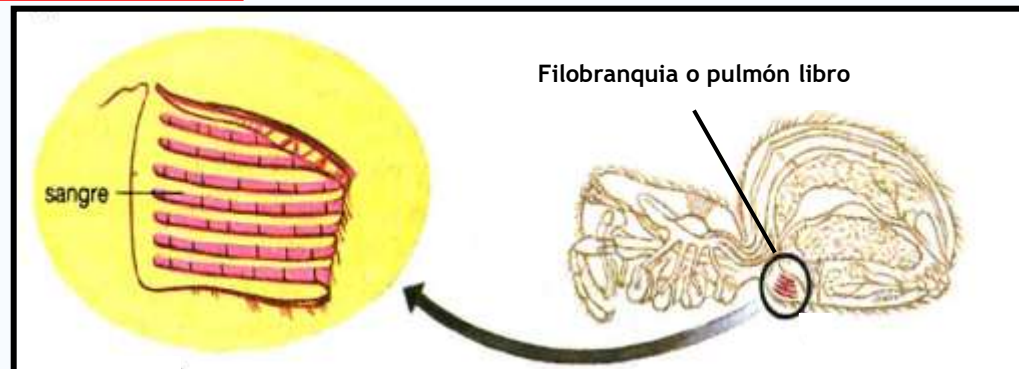
Respiración traqueal

Artrópodos terrestres:

- arácnidos
- insectos
- Quilópodos
- diplópodos

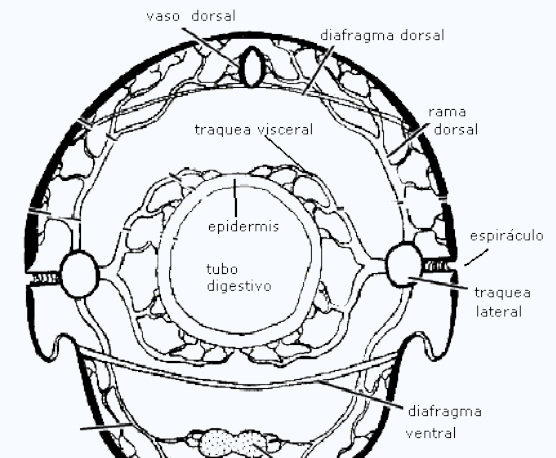
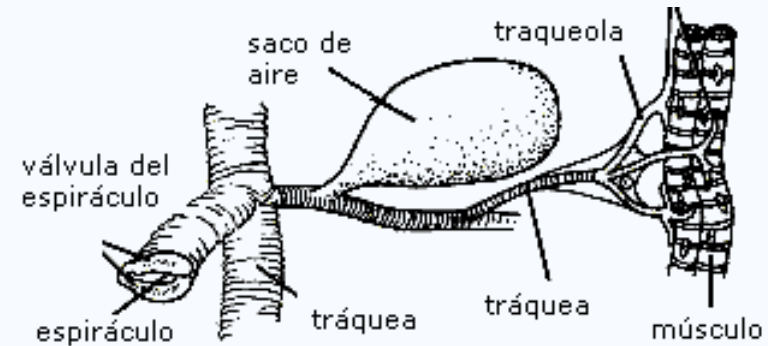
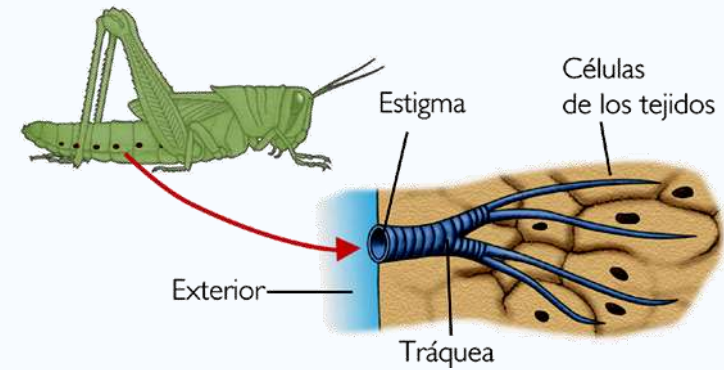


- Las arañas presentan filobranquias



Traqueal

- Espiráculos
- Válvulas de control
- Pelos (filtrar polvo)
- Tubo traqueal (bandas de quitina)
- Traqueolas (1 μm diámetro)
- Fuelle (saco aire + músculos abdominales)



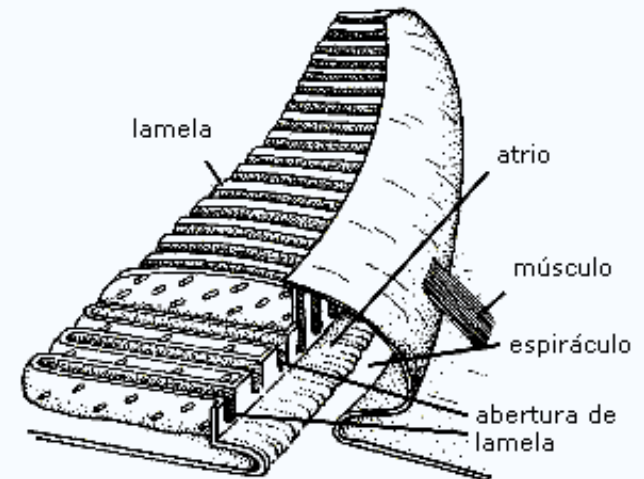
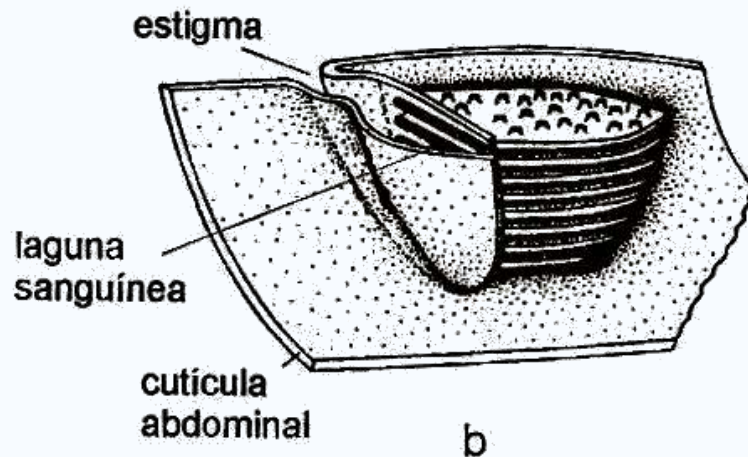
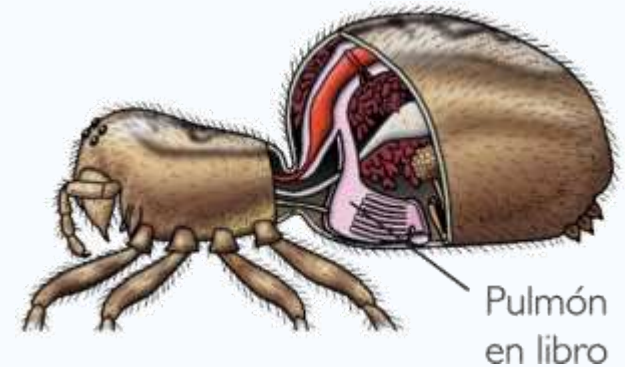
Insectos acuáticos

- Tubos respiratorios (sifones; larvas de mosquitos)
- Burbuja de agua (O_2 y N_2)
- Espiráculos en la punta de espinas (perforan plantas)
- Plastrón (espinas hidrófobas)



Pulmón en libro o filotráqueas

- Arácnidos
- Evaginación abdomen ventral
- Estigma o poro, atrio
- Laminares y con cutícula
- Hemolinfa dentro de la filotráqueas; aire entre ellas



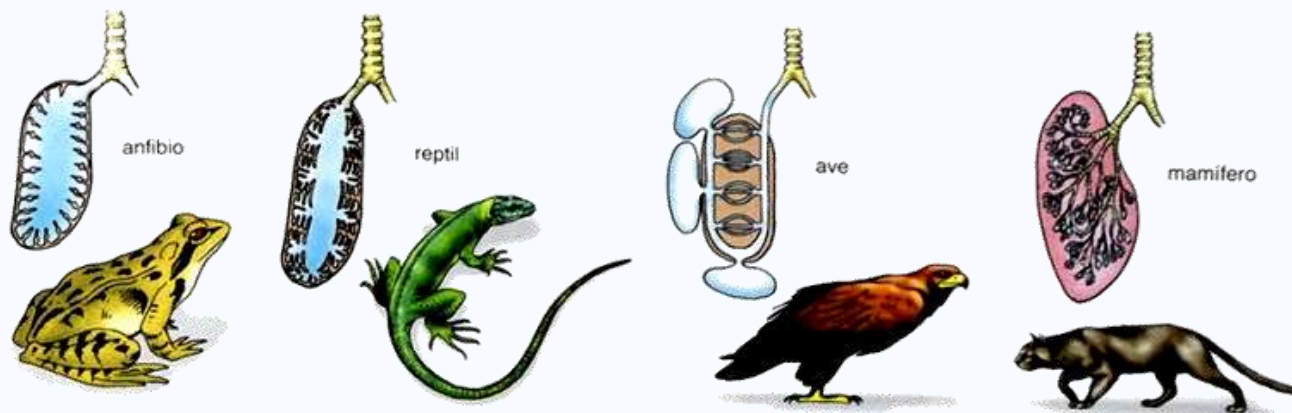
Pulmonar

“Pulmones” invertebrados

- Ectodérmicos
- Quelicerados (arañas de mar, escorpiones de mar)
- Gasterópodos

Pulmones vertebrados

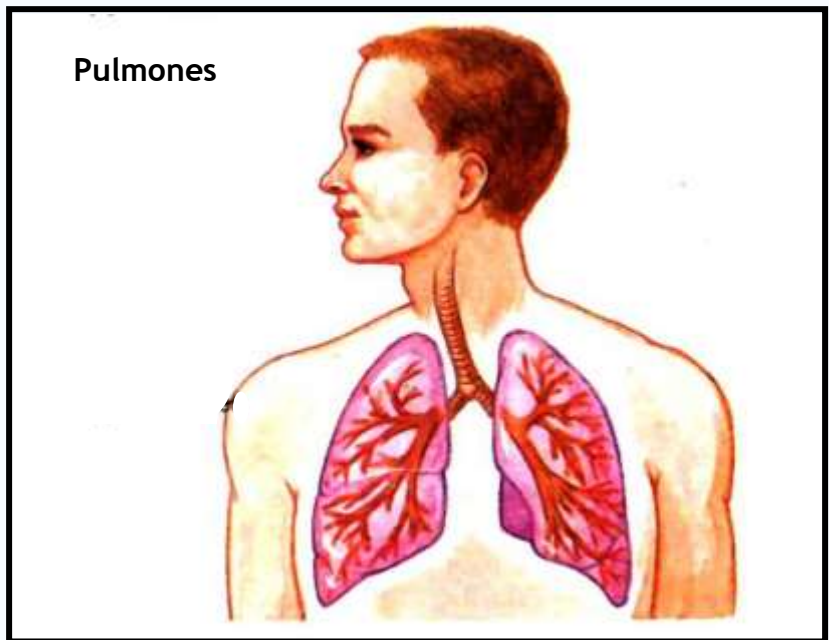
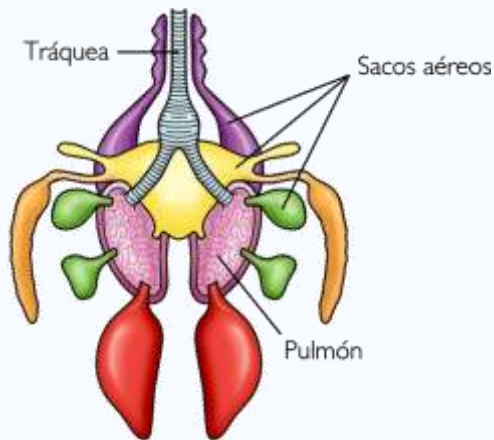
- Endodérmicos (esófago)
- Cámaras (favéolos, alvéolos, parabronquios)



Estructura de pulmones de varios vertebrados

Respiración pulmonar

- Propia de animales terrestres: anfibios adultos, reptiles, aves y mamíferos.
- Entrada y salida de gases a través de las aberturas nasales.
- En los pulmones se realiza el intercambio gaseoso con los vasos sanguíneos mediante difusión.



RESPIRACIÓN EN VERTEBRADOS



RESPIRACIÓN
BRANQUIAL



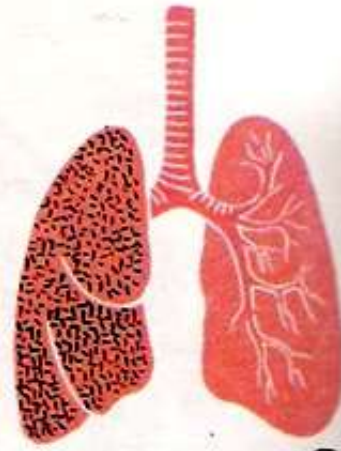
RESPIRACIÓN PULMONAR
Y CUTÁNEA



RESPIRACIÓN PULMONAR
Y CUTÁNEA



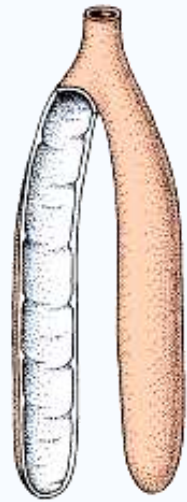
RESPIRACIÓN
PULMONAR



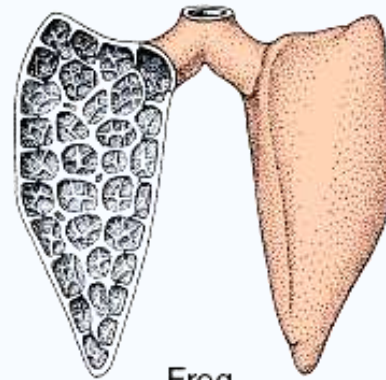
RESPIRACIÓN
PULMONAR

TIPOS DE PULMONES EN VERTEBRADOS

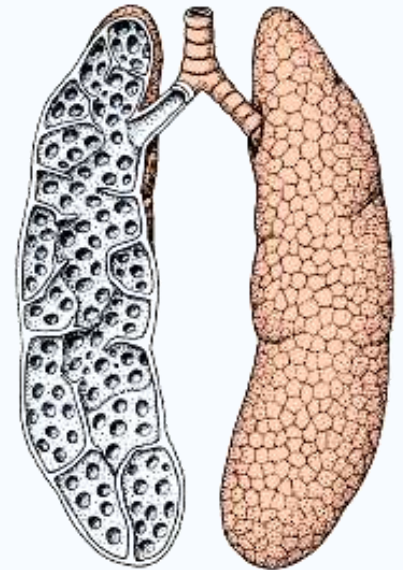
- Sacos
- Unicamerales
- Multicamerales



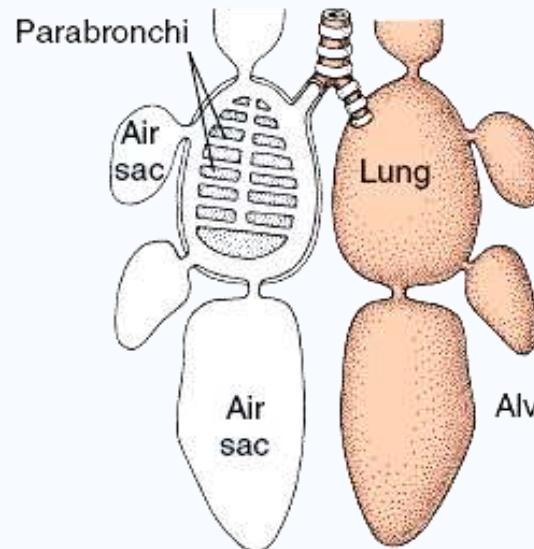
Salamander



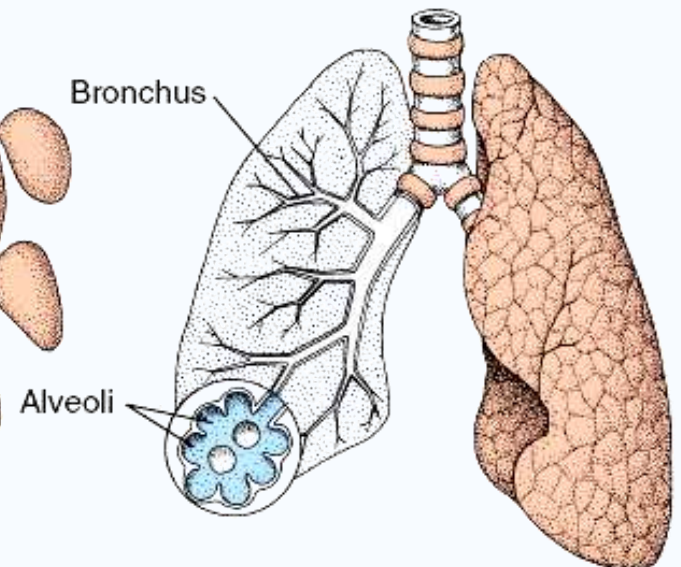
Frog



Lizard



Bird



Mammal

MECANISMOS DE VENTILACIÓN

1. Cilios

- ✓ Eficientes para animales pequeños y metabolismo bajo
- ✓ Los cilios limitan el área de superficie disponible
- ✓ En vertebrados tapizan los canales (limpieza)

2. Musculares

Choque o ventilación forzada

Bombas

Doble

Bucal pulsátil

Aspiración



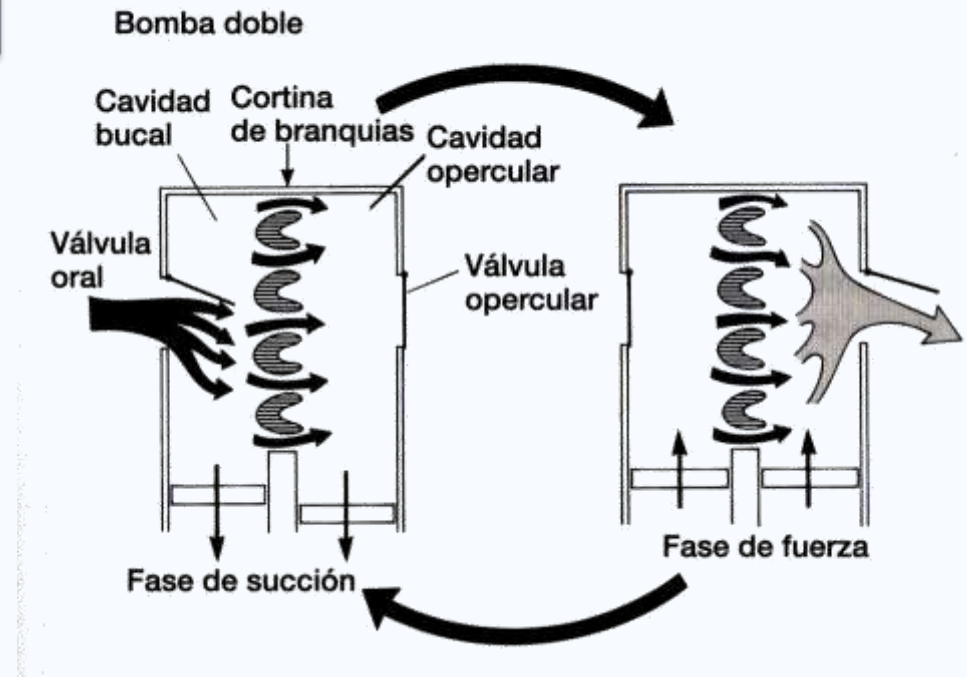
Ventilación en el agua: bomba doble

- Bomba bucal
- Bomba opercular

1er tiempo (fase de succión)

1. Expansión bucal
2. Baja presión (vacío)
3. Apertura válvula oral
4. Entrada agua cavidad bucal
5. Válvula opercular cerrada + expansión cavidad opercular
6. Baja mucho la presión
7. Succión agua cavidad bucal
8. Paso por las branquias
9. Entrada agua cavidad opercular

Los peces pueden modificar hasta 30 veces la velocidad de ventilación



2do tiempo (fase de fuerza)

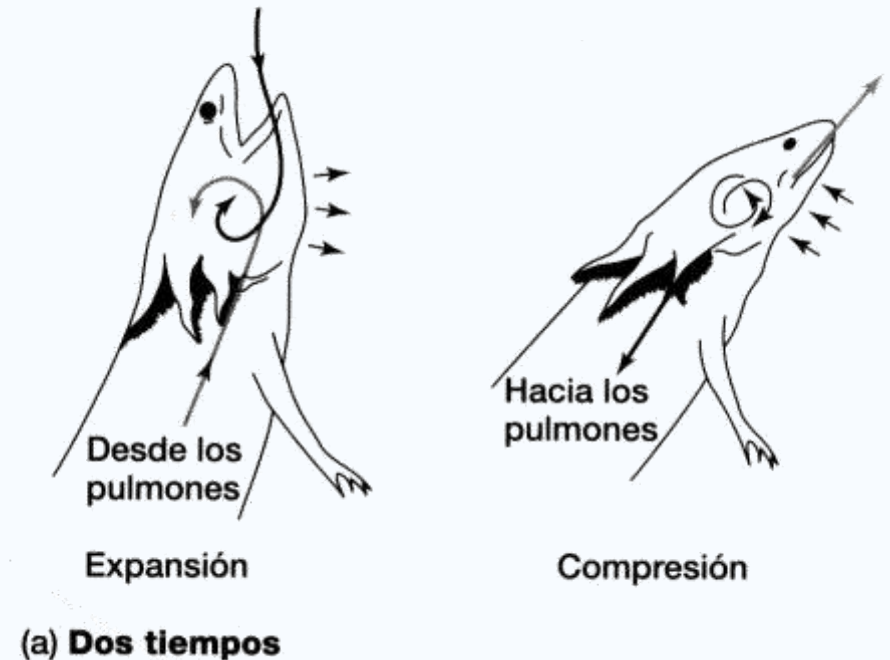
1. Cierre válvula oral
2. Apertura válvula opercular
3. Contracción músculos cavidad bucal y opercular
4. Salida de agua

Ventilación en el aire: bomba bucal pulsátil

“Boca se llena de aire y lo bombea a los pulmones”

Bomba bucal de dos tiempos

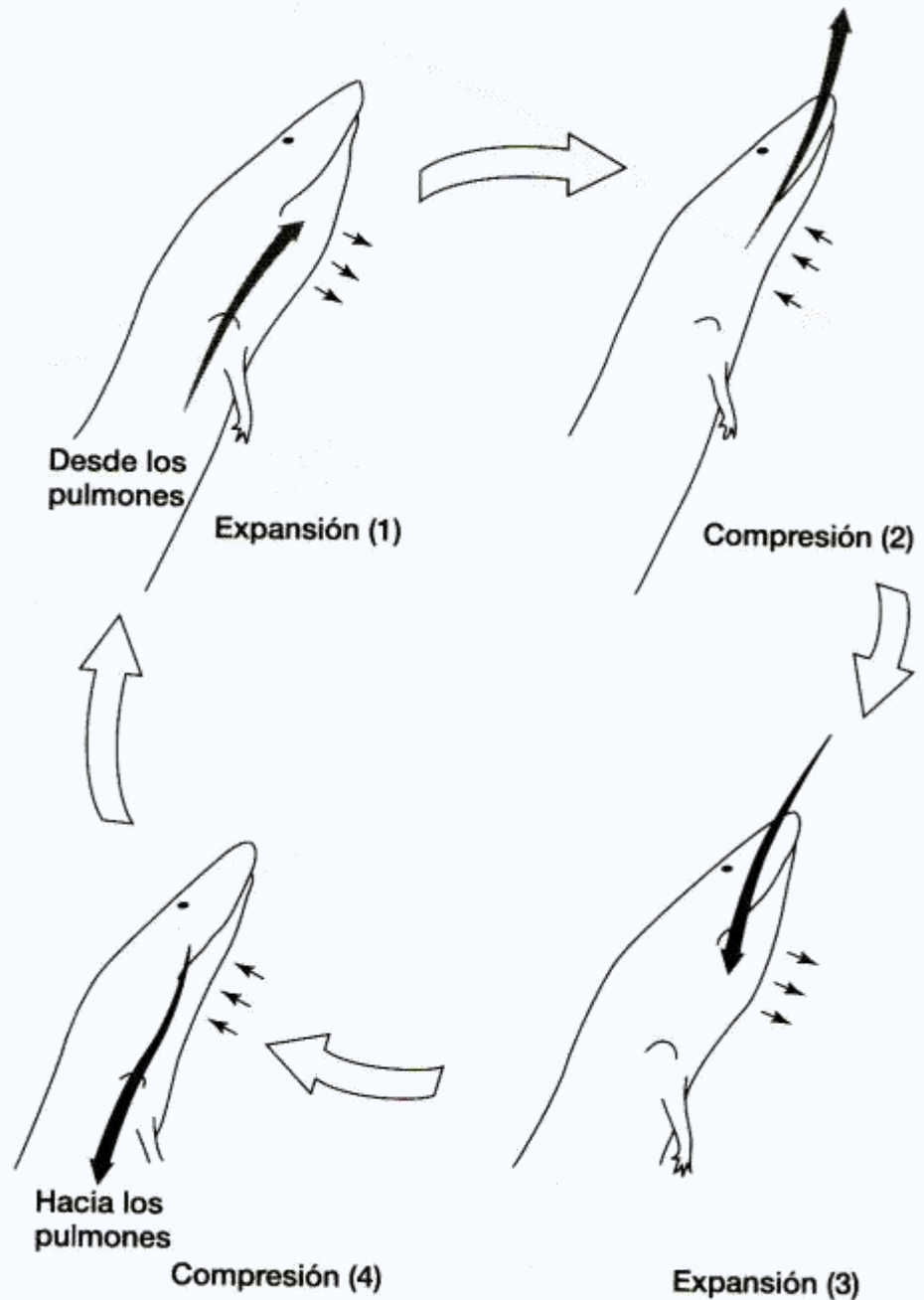
1. Expansión bucal
 - Entra aire fresco
 - Sale gas pulmones (abre la glotis)
2. Compresión bucal
 - Mezcla de gases pasa al pulmón
 - Exceso gases expelidos por las narinas



Presión parcial de O_2 inferior a la ambiental

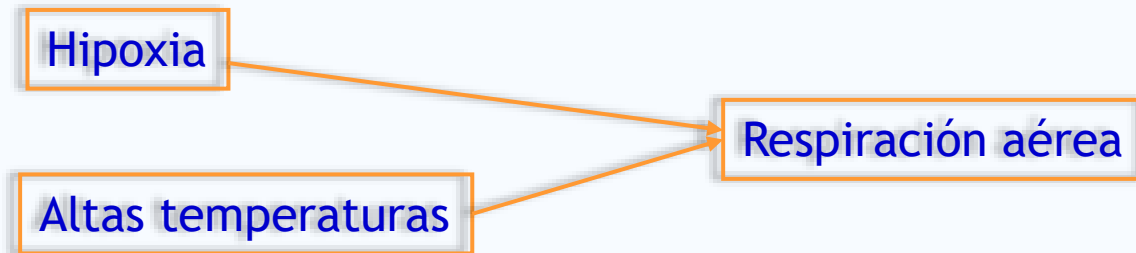
Bomba bucal de cuatro tiempos

1. Expansión cavidad bucal
 - Succión gases de pulmones a la boca
2. Compresión cavidad bucal
 - Expulsión gas por narinas
3. Expansión cavidad bucal
 - Succión aire fresco por boca y narinas
4. Compresión cavidad bucal
 - Entrada aire fresco a los pulmones



(b) Cuatro tiempos

Peces que respiran aire (pulmonados)



Estructuras “respiratorias”

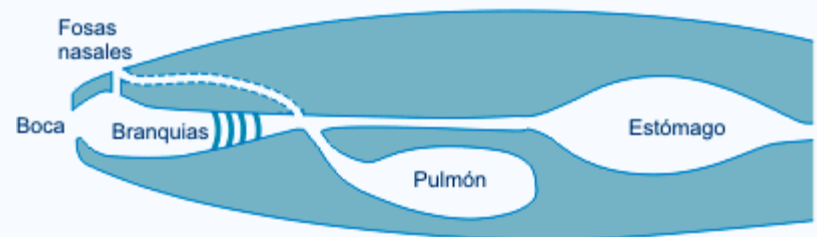
- Cavity bucal
- Vejiga natatoria
- Superficie corporal

Branquias

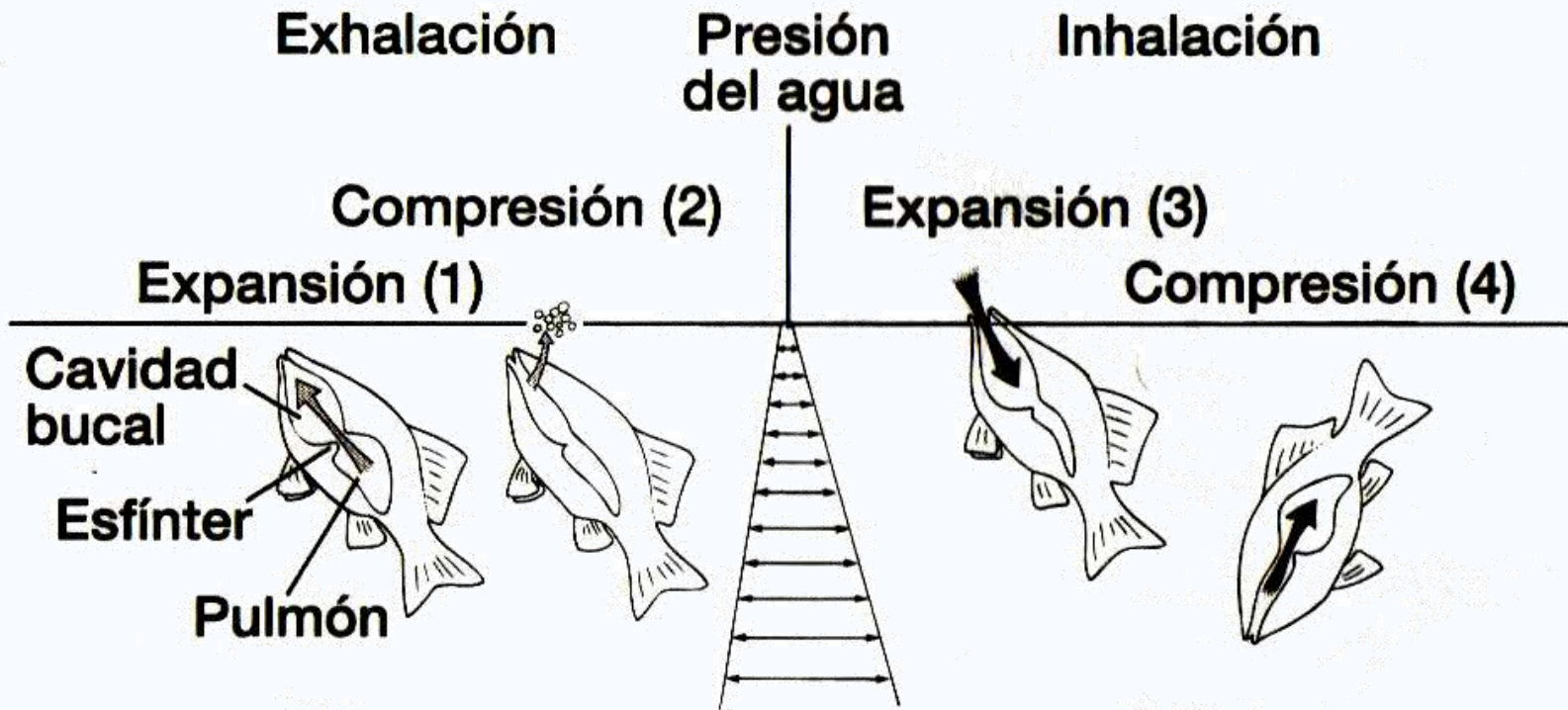
- No captación oxígeno
- Excreción dióxido de carbono
- Generalmente reducidas

Dipnoos

Pulmones (divertículos engrosados de la faringe)



- Respiración acuática (**bomba doble**)
- Respiración aérea (**bomba bucal**)

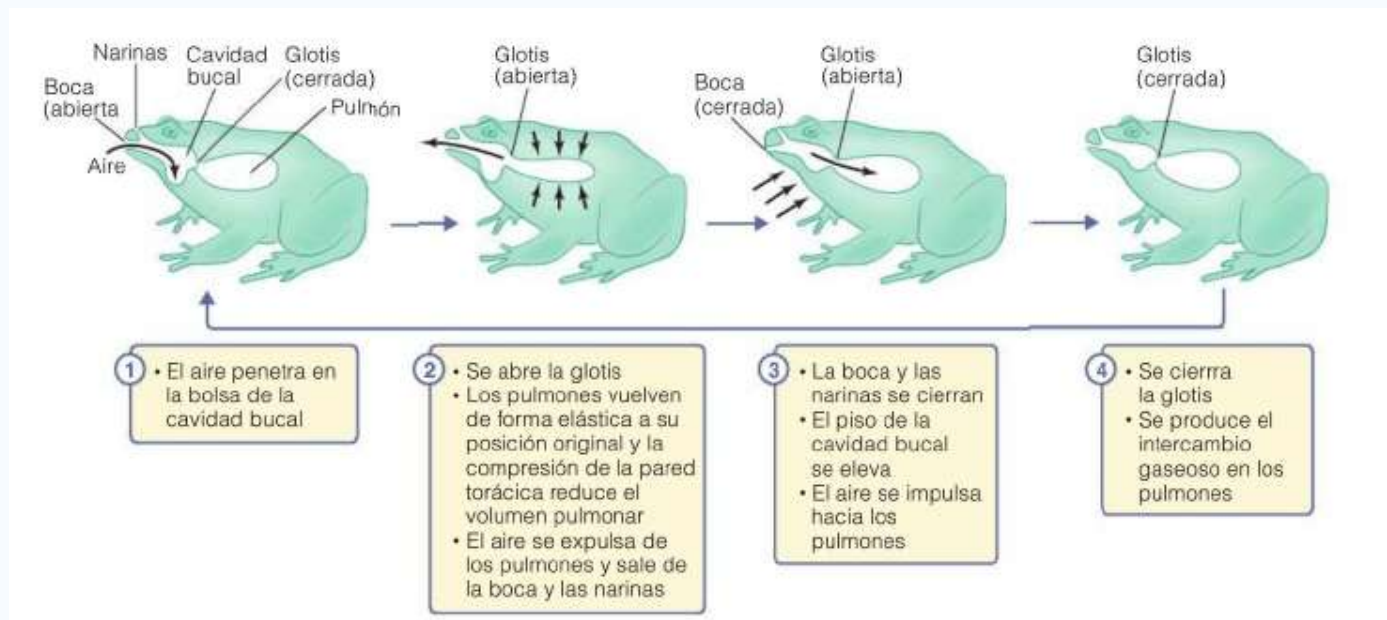


La **presión hidrostática** (ph) ayuda:

- Pez boca arriba (aumenta la ph parte posterior)
- Pez boca abajo (aumenta la ph parte anterior)

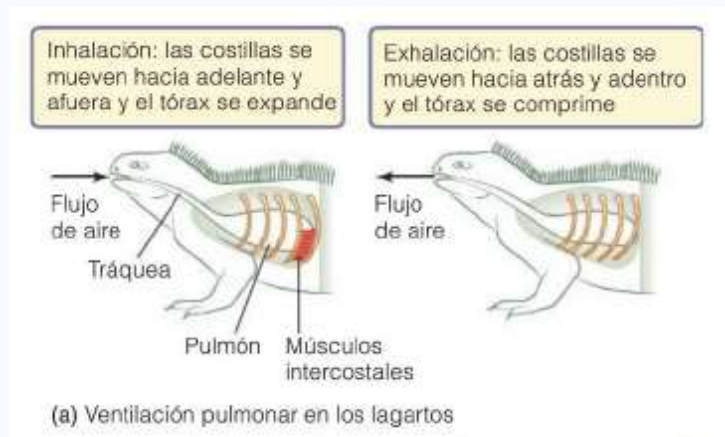
ANFIBIOS

- Ventilación por movimiento de aire hacia los pulmones en base a presión, elevando el piso de la boca.
- Los pulmones son un simple saco con algunas divisiones.
- A mayor metabolismo, mayor área de superficie pulmonar.



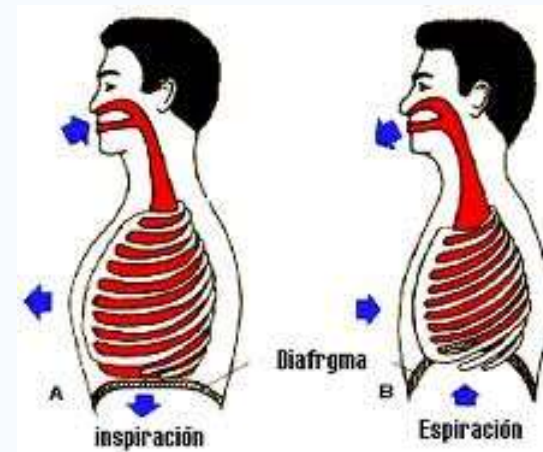
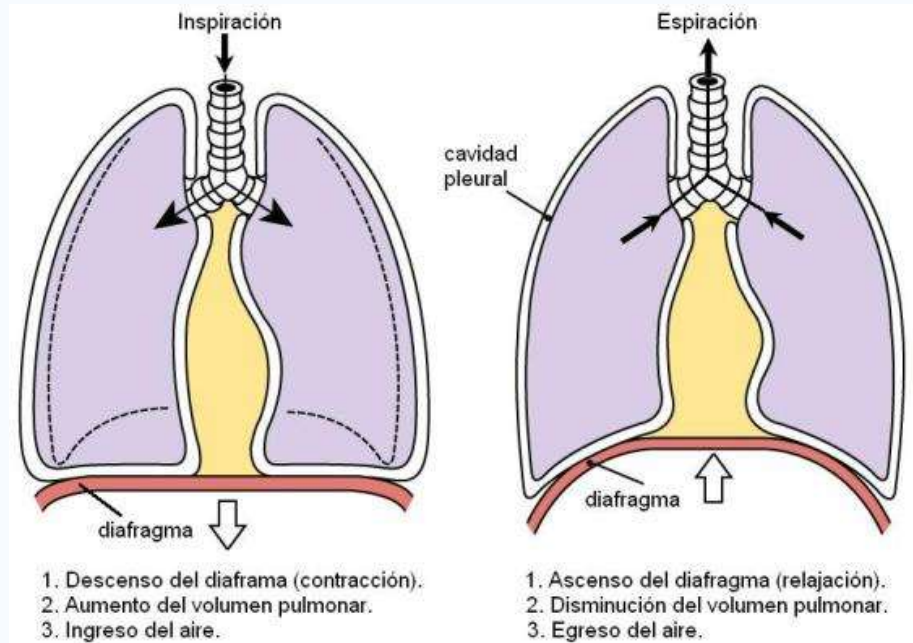
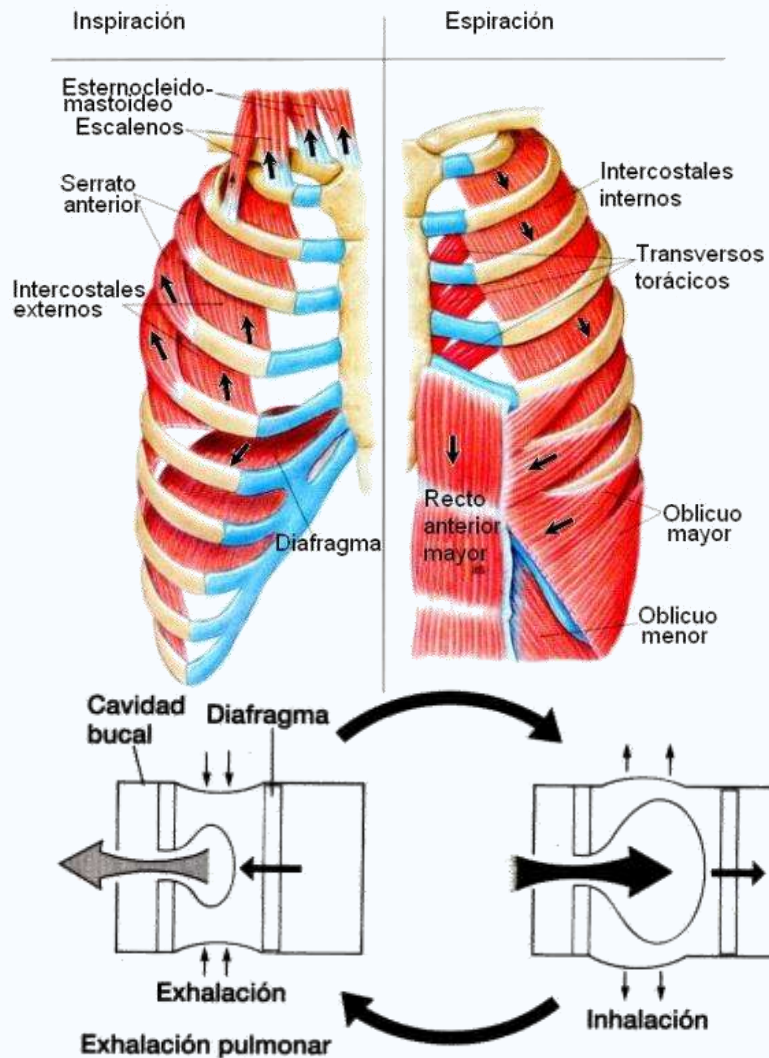
REPTILES

- Transición hacia la respiración por aspiración y de la presión pulmonar subatmosférica presente en los mamíferos.
- El diafragma, las costillas, músculos y otros órganos, producen al inspirar, la presión pulmonar subatmosférica.
- Tienen respiración intermitente, no periódica:
 1. La respiración está en función de la actividad.
 2. A mayor actividad, mayor periodicidad.
 3. Luego de un período de apnea, flujo pulmonar puede aumentar hasta 40 veces.
 4. Equilibrio ventilación/perfusión



Ventilación pulmonar en mamíferos

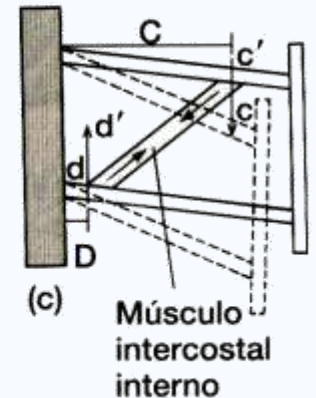
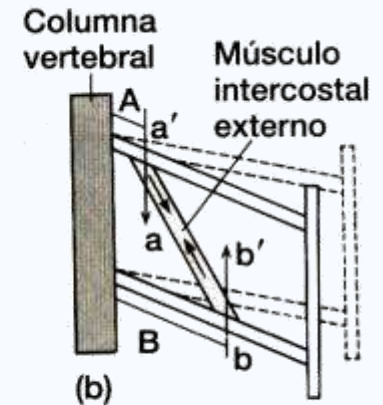
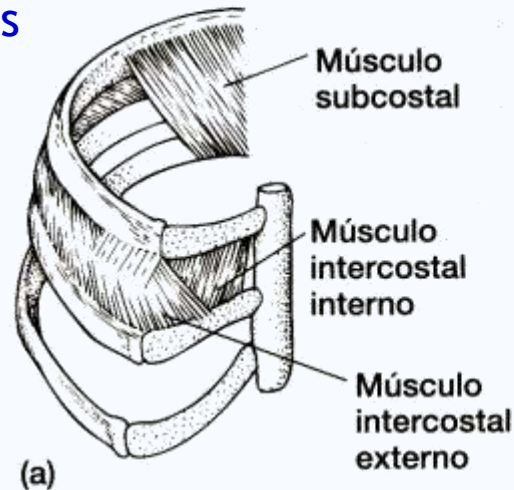
Bomba respiratoria: Actividad de los músculos respiratorios (intercostales y ppal. diafragma) modifica el volumen de la caja torácica y por ende las presiones.



INHALACIÓN

1. Contracción músculos intercostales externos
2. Giran costillas hacia afuera y adelante
3. Esternón hacia adelante
4. Expansión caja torácica
5. Contracción diafragma (aplanamiento)
6. Aumenta volumen cavidad torácica (disminuye la presión: ley de Boyle -presión negativa)
7. Expansión pulmones
8. Entrada aire

Fase activa, expande tórax



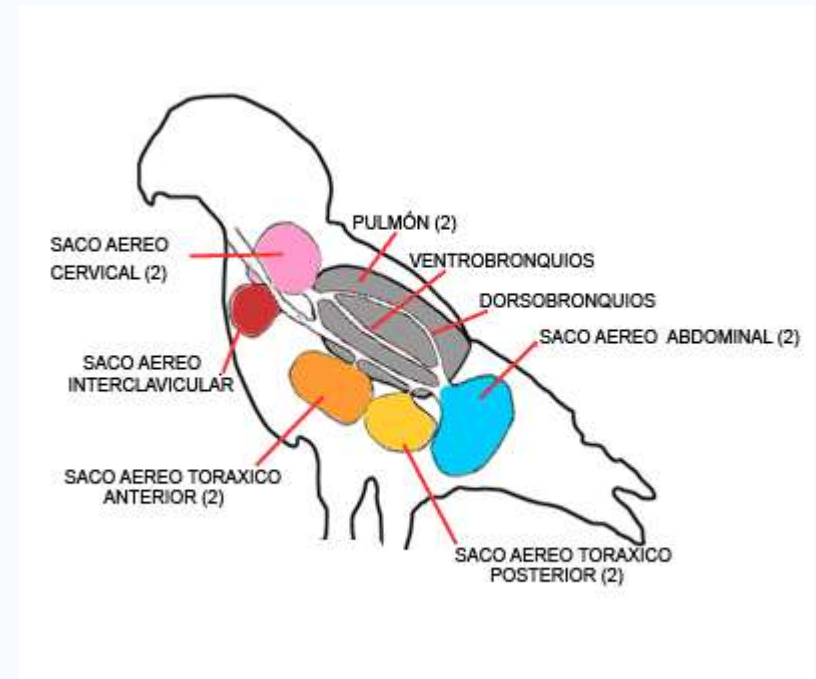
EXHALACIÓN

1. Relajación músculos intercostales internos
2. Costillas tiradas hacia atrás
3. Relajación del diafragma (forma abovedada)
4. Disminución volumen caja torácica
5. Salida aire de los pulmones

Fase pasiva, hay retracción elástica

RESPIRACION EN AVES

- Ventilación es unidireccional
- Pulmones pequeños y compactos, que se comunican con sacos de aire voluminosos de paredes delgadas y con espacios aéreos que se extienden entre los órganos internos.
- Los sacos no intervienen en el intercambio gaseoso, solo mueven el aire.



- Los parabronquios se unen (y corren paralelos) a los capilares aéreos. Este sistema permite un flujo unidireccional de aire (intercambio gaseoso).
- La sangre que va a dejar el pulmón está directamente en intercambio con el aire que acaba de entrar al pulmón y que viene de los sacos caudales con una mayor pO_2 .

Respiración en aves (unidireccional)

1ra Inhalación

- Aire pasa por tráquea, bronquios y llega a sacos aéreos posteriores (torácico posterior y abdominales)

1ra Exhalación

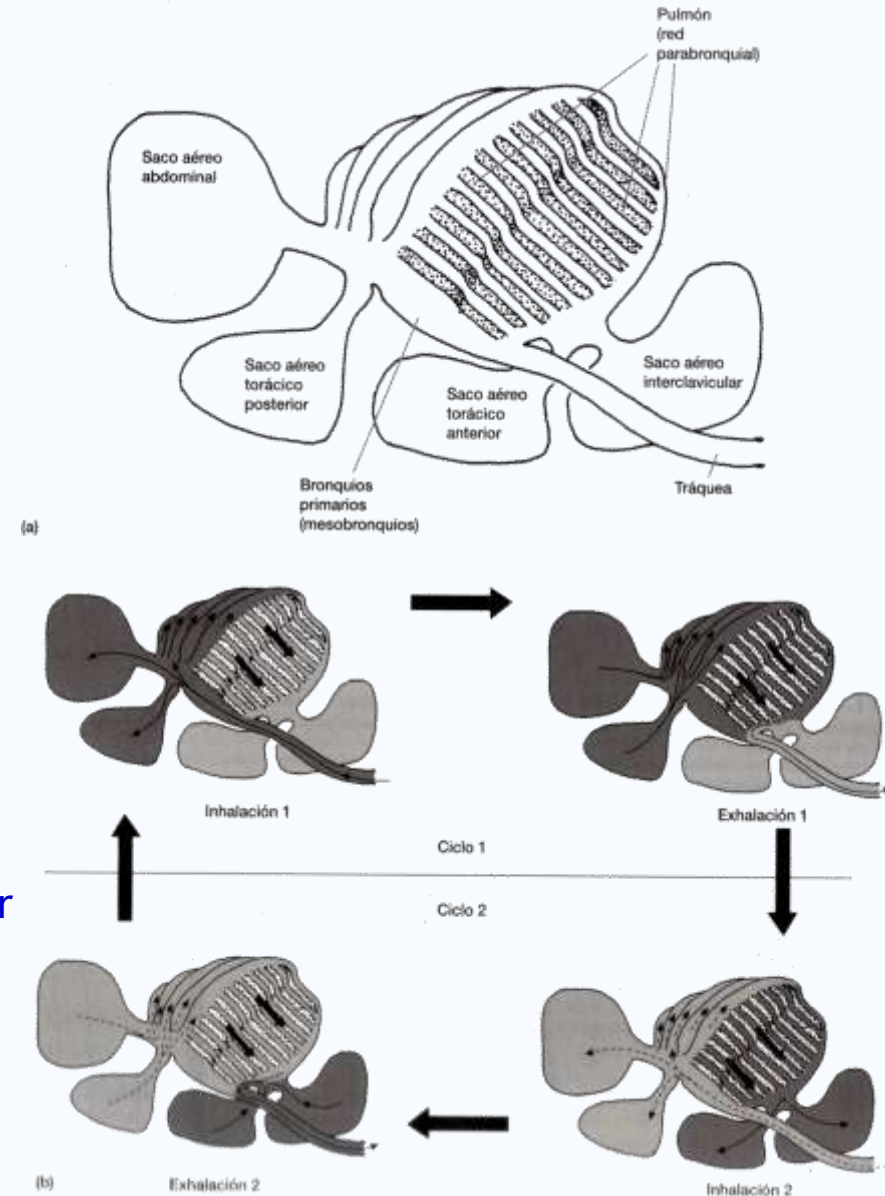
- Aire fresco desde los sacos aéreos posteriores hacia los pulmones (parabronquios) donde hay aire viciado.

2da Inhalación

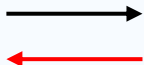
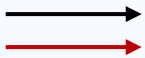
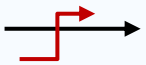
- Aire pasa de los pulmones a los sacos aéreos anteriores (torácico anterior e interclavicular; llega aire viciado)

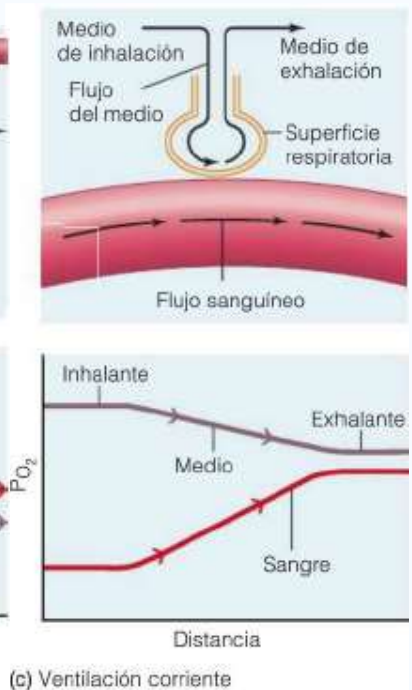
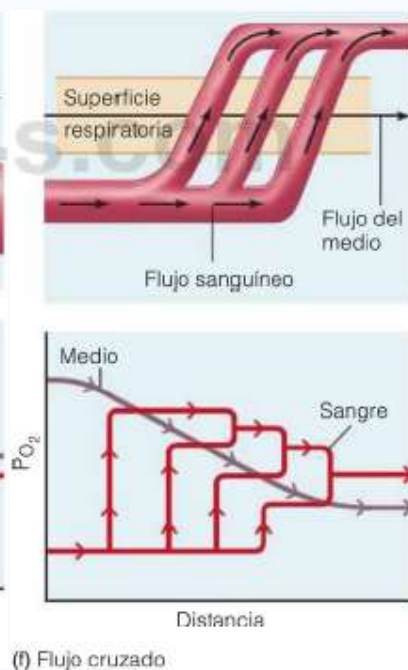
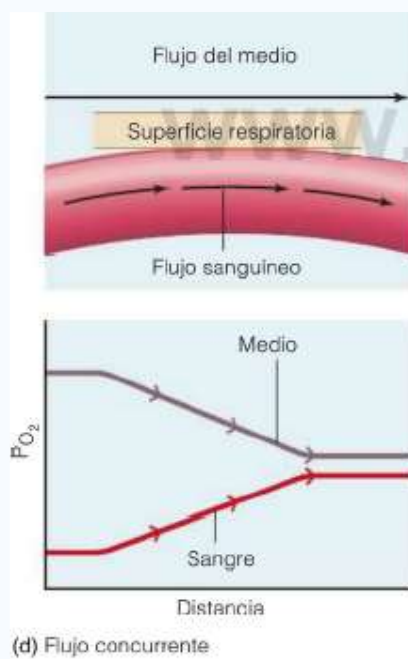
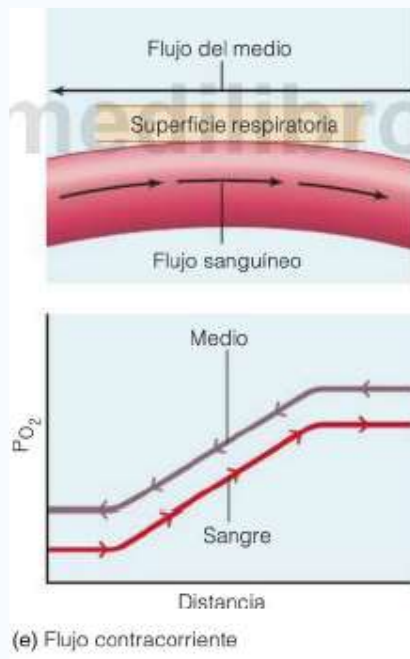
2da Exhalación

- Sale aire de los sacos aéreos anteriores por la tráquea hacia el exterior (el aire que sale es reemplazado por el aire de sacos aéreos posteriores y pulmones)



Tipos de intercambio gaseoso

Tipos:	Contracorriente	Concurrente	Cruzado	Corriente
Dirección	Opuesta	Igual	Perpendicular	Sin dirección
Organismo	Peces	Anfibios	Aves	Mamíferos
Órgano	Branquias	Piel	Parabronquios	Pulmons (alvéolos)
Eficiencia	Alta	Baja	Alta	Buena
Flujos				
Presiones parciales	100 75 50 25 75 50 25 0	100 70 50 33 0 30 44 48	100 74 48 35 0 -- a 89 77 65 53 44	



PIGMENTOS RESPIRATORIOS

- Como la solubilidad del O_2 en el plasma es baja, el O_2 que se disuelve en sangre no es suficiente, se necesitan proteínas especiales (metaloproteínas) que aumenten la afinidad por el O_2 con la sangre, pero en una combinación reversible: “Pigmentos Respiratorios”. Estos aumentan la capacidad de transporte de O_2 en la sangre.
- Existen 4 Pigmentos Respiratorios:
 1. Hemoglobina $\Rightarrow Fe^{+2}$ - porfirina (en solución o en células)
 2. Clorocruorina $\Rightarrow Fe^{+2}$ - porfirina (en solución)
 3. Hemeretrina $\Rightarrow Fe^{+2}$ - proteína (en células)
 4. Hemocianina $\Rightarrow Cu^{+2}$ - proteína (en solución)

HEMOGLOBINA

- PM = 17 000 - 3 000 000 Da
- Extensamente distribuido, al menos 10 phyla y en algunas plantas.
- Desde organismos unicelulares (Paramecium), platelmintos, nemátodos, moluscos, hasta algunas especies de insectos.
- **Invertebrados:** Hb presenta 1-250 subunidades, se encuentra en la hemolinfa y forma polímeros (>PM).
- **Vertebrados:** Hb presenta 4 subunidades (<PM) y se encuentra en los glóbulos rojos

CLOROCRUORINA

- PM = 2 750 000 Da
- El color es marcadamente diferente (**de verde a rojo**), pero sólo está dado por una pequeña alteración en la porfirina.
- Se restringe a 4 familias de poliquetos (gusanos marinos).
- Algunos poliquetos presentan ambos pigmentos.

HEMERETRINA (Hr)

- PM = 108 000 Da
- Color rosado con una afinidad diferente por el O₂.
- El Fe⁺² se asocia a los aminoácidos y no a la porfirina.
- Se encuentra en corpúsculos o libre en la hemolinfa.
- Varios tipos de diferentes de Hr se pueden encontrar en un mismo organismo.
- Ph. Anélida: Sipunculidos, Poliquetos, Priapulidos
- Ph. Molusca: Braquiopodos

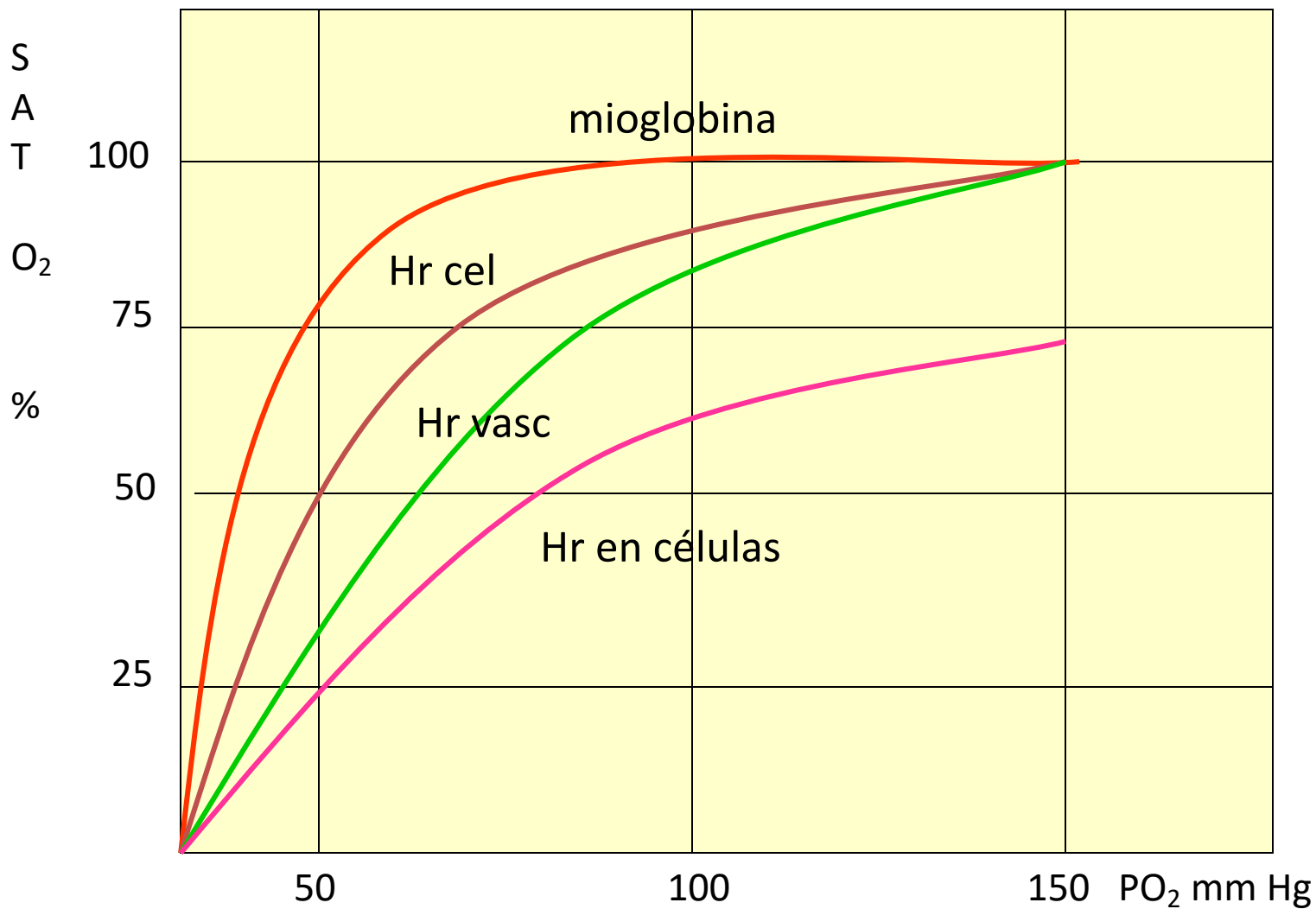
HEMOCIANINA (Hc)

- PM = 300 000 - 9 000 000 Da
- Es de color azul (Cu^{++}).
- Se le encuentra libre en la hemolinfa.
- **Ph. Mollusca**: Cl. Amphineura (chitones) y Cl. Cephalopoda (calamar, pulpo). Moléculas multiproteicas con varios sitios activos.
- **Ph. Artrópoda**: Cl. Arachnoidea (limulus, escorpiones, crustáceos malacostráceos). Moléculas multiproteicas de estructura cuaternaria diferente (aprox. 650 aa) con un sitio activo.

INVERTEBRADOS

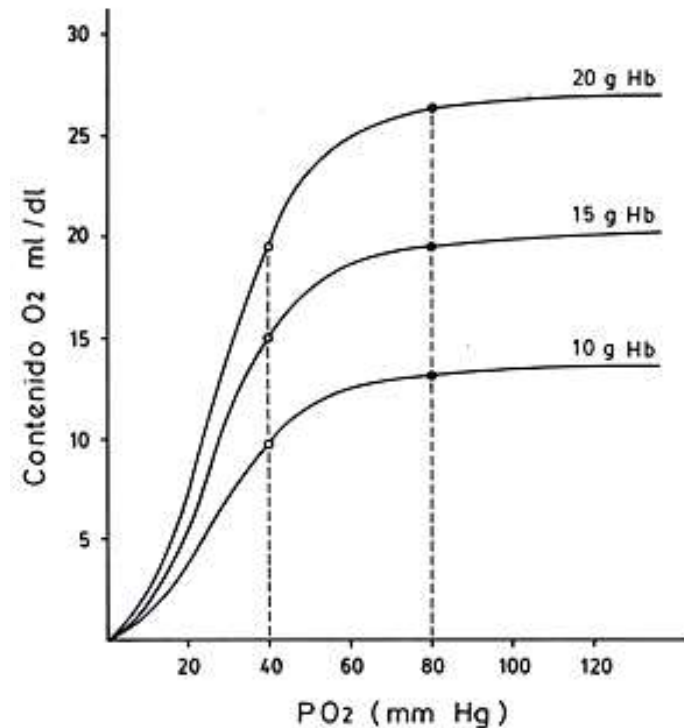
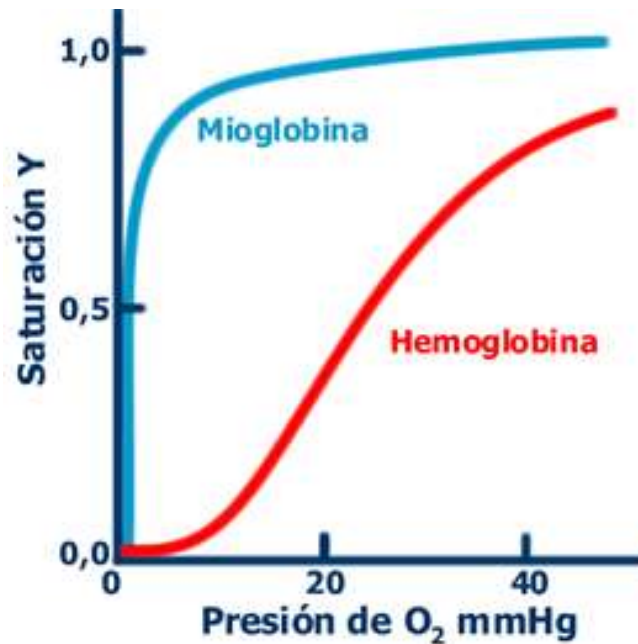
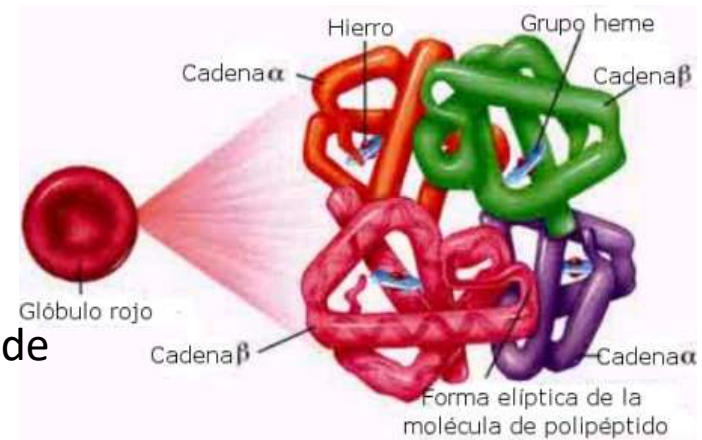
- Sus pigmentos respiratorios pueden tener diferentes afinidades según se encuentren en el fluido celómico o en la sangre.
- Dendrostomum: (gusano marino)
 - Vive enterrado en la arena, pero saca a la superficie sus tentáculos vascularizados (respiración).
 - La Hr de la sangre de menor afinidad cede el O_2 a la Hr del celoma de mayor afinidad para que el O_2 sea distribuido en todo el cuerpo enterrado.
- Ocurre algo parecido con los invertebrados que tienen mioglobina (moluscos) de mayor afinidad y otro pigmento respiratorio de menor afinidad en la sangre.

AFINIDAD DE LA HEMERETRINA



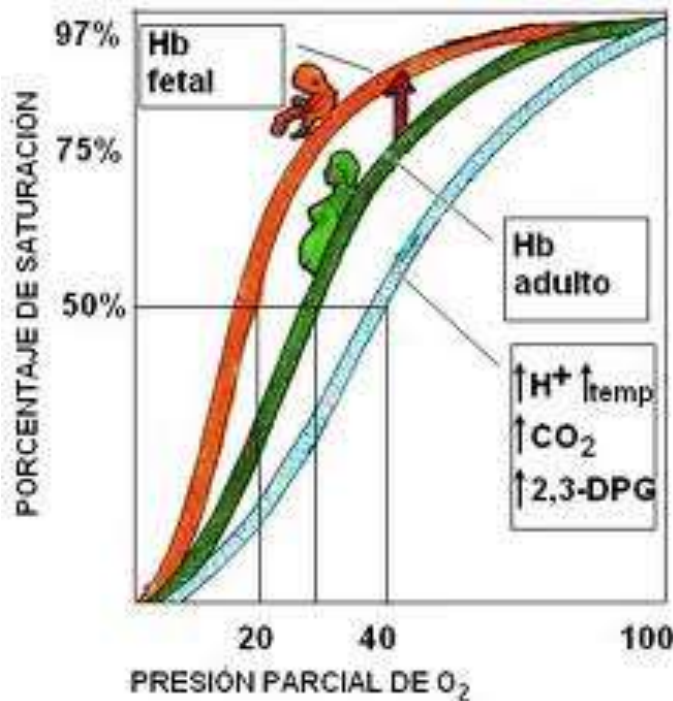
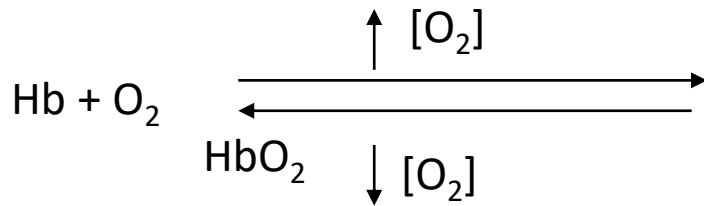
TRANSPORTE DE LOS GASES RESPIRATORIOS POR LA HEMOGLOBINA

- La hemoglobina es una metaloproteína.
- Realiza una combinación reversible (oxigenación y desoxigenación).
- Aumenta capacidad de transporte de O_2 en la sangre.
- Cada 100 ml de sangre oxigenada contiene 0,6 ml de O_2 disuelto y 19,4 ml de O_2 combinado con HB

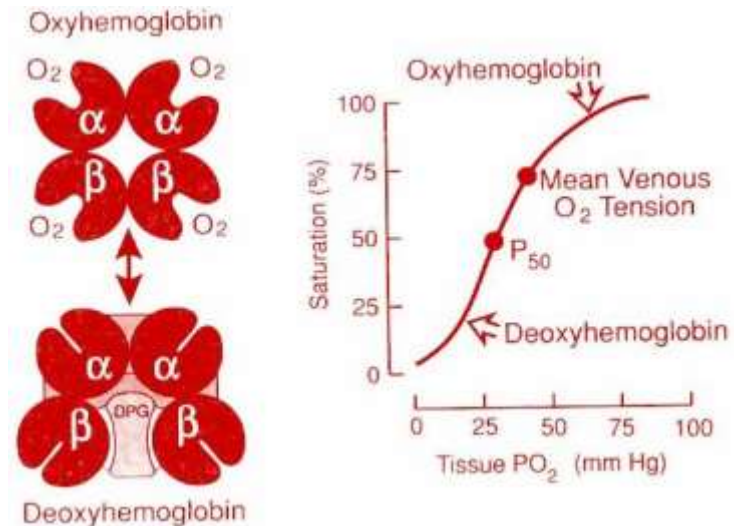


Curvas de disociación de oxígeno

“Describe como la reacción depende de la concentración de oxígeno o presión parcial”



- ✓ Desoxihemoglobina (Hb)
- ✓ Oxihemoglobina (Hb + O₂)
- ✓ Carbohiemoglobina (Hb + CO)
- ✓ Carbahemoglobina (Hb + CO₂)

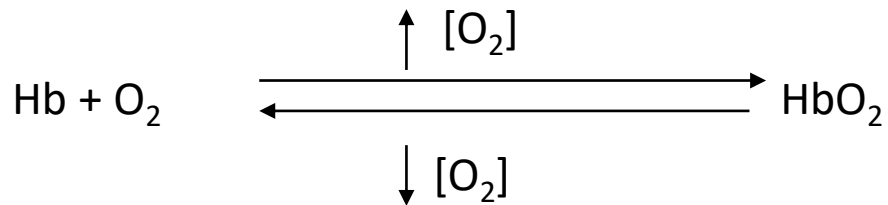


P₅₀ = presión de saturación media

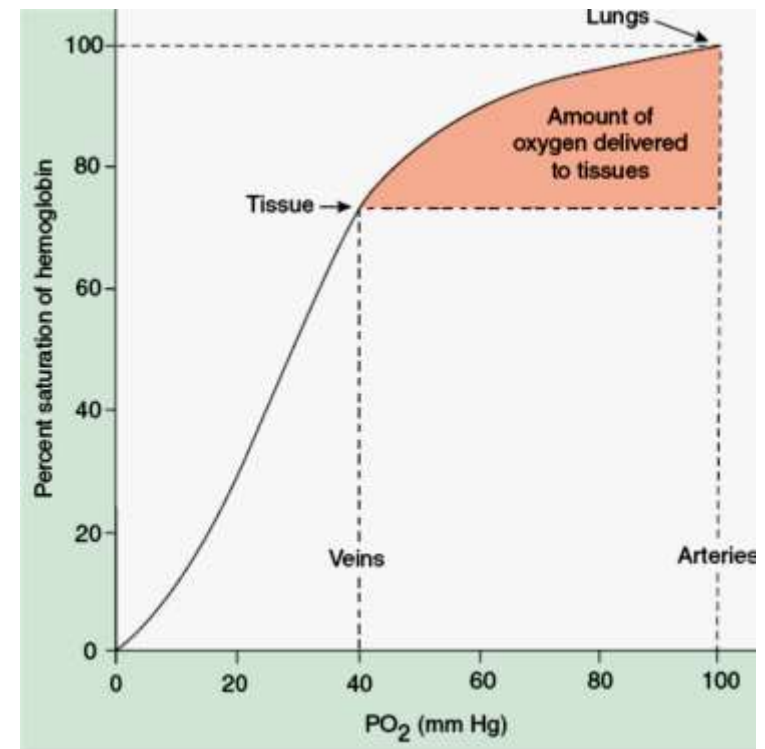
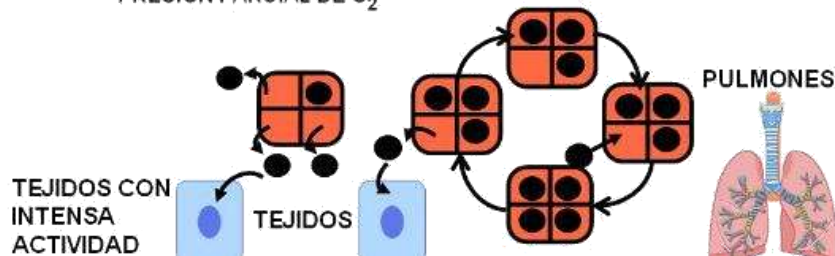
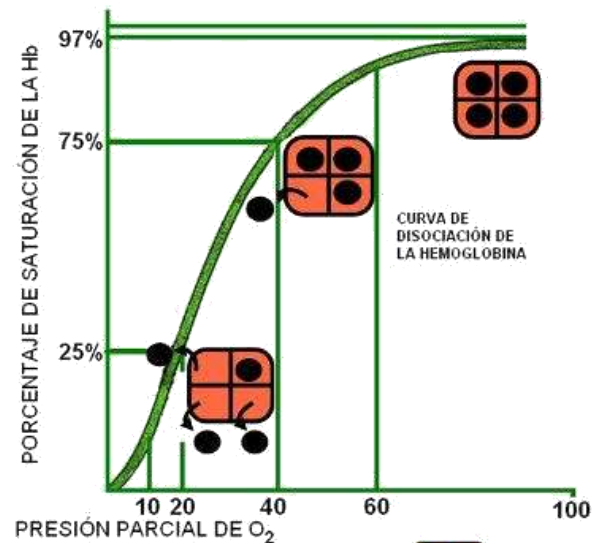
Significado fisiológico de la forma
sigmoide de la curva

Curvas de disociación de oxígeno y la hemoglobina

“Describe como la reacción depende de la concentración de oxígeno o presión parcial”



- Alta afinidad (curva izquierda)
- Baja afinidad (curva derecha): libera más O_2



Factores que afectan la unión O_2 - Hb

1. Temperatura

“A mayor temperatura hay ruptura de la $Hb-O_2$ ”

2. CO_2 y pH

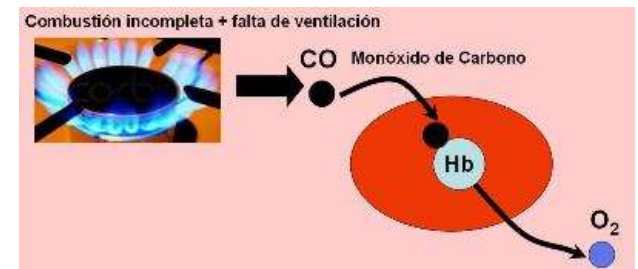
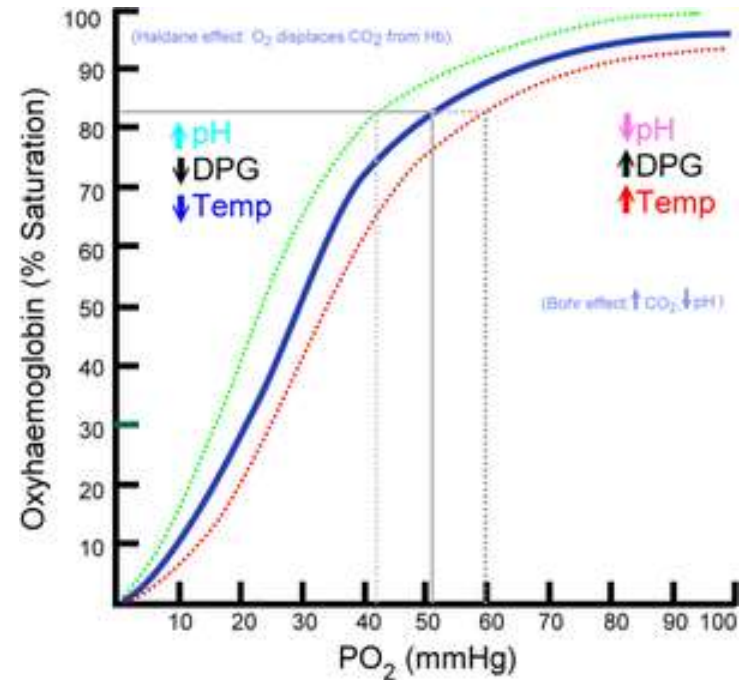
- A mayor $[CO_2]$ más oxígeno es liberado
- A mayor $[CO_2]$ menor pH (curva derecha)

3. Fosfato orgánicos

- DPG (2,3 difosfoglicerato) disminuye la afinidad de la Hb por el O_2 (curva derecha), excepto ciclóstomos, cocodrilos y rumiantes
- Alta [DPG] en personas que viven en grandes alturas, baja concentración de O_2 y baja concentración de Hb

La curva se desplaza a la **derecha** cuando:

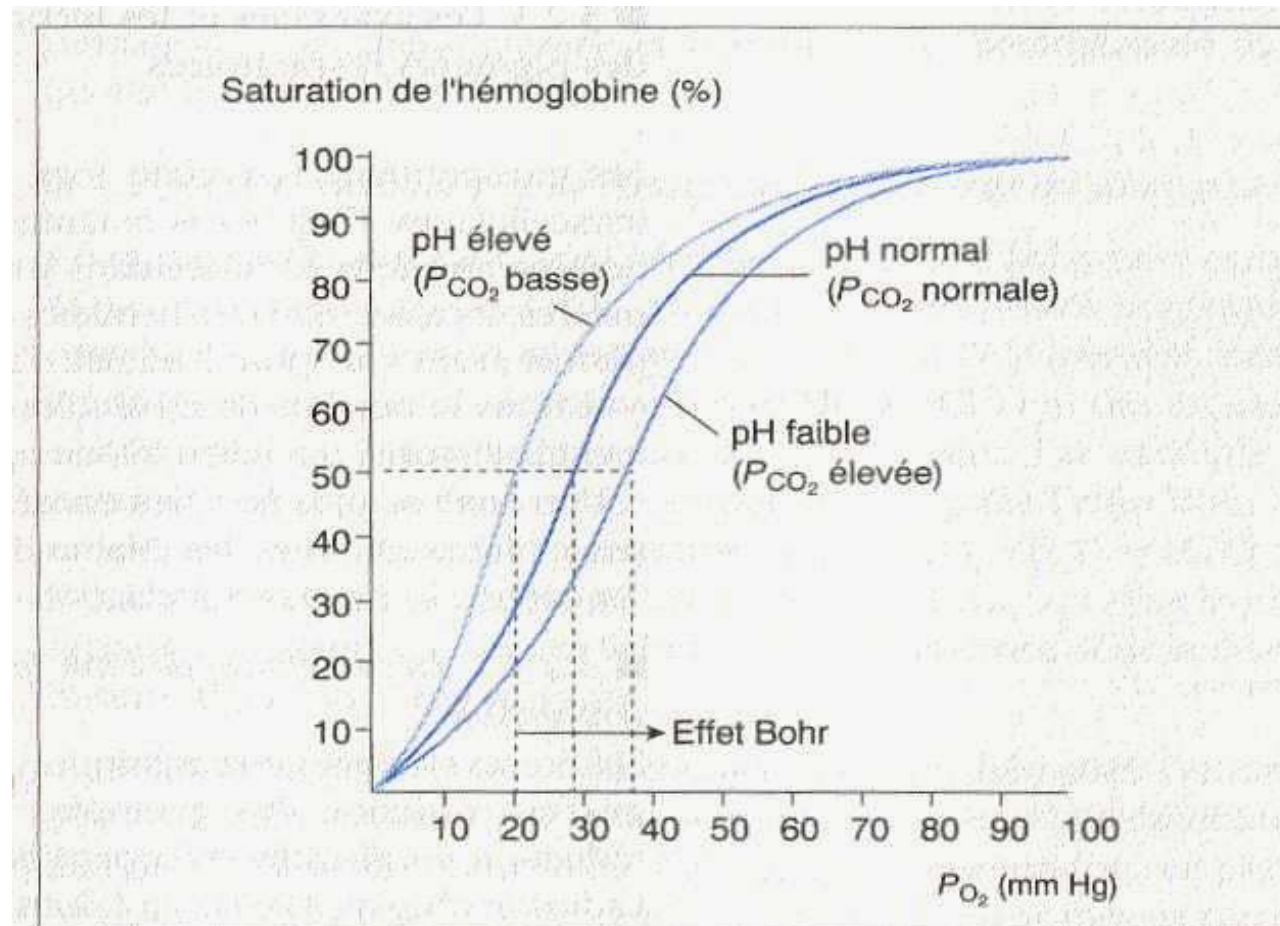
$\uparrow T^\circ$, $\uparrow pCO_2$, $\uparrow [H^+]$ y $\uparrow$ 2-3-DPG



EFEECTO BOHR

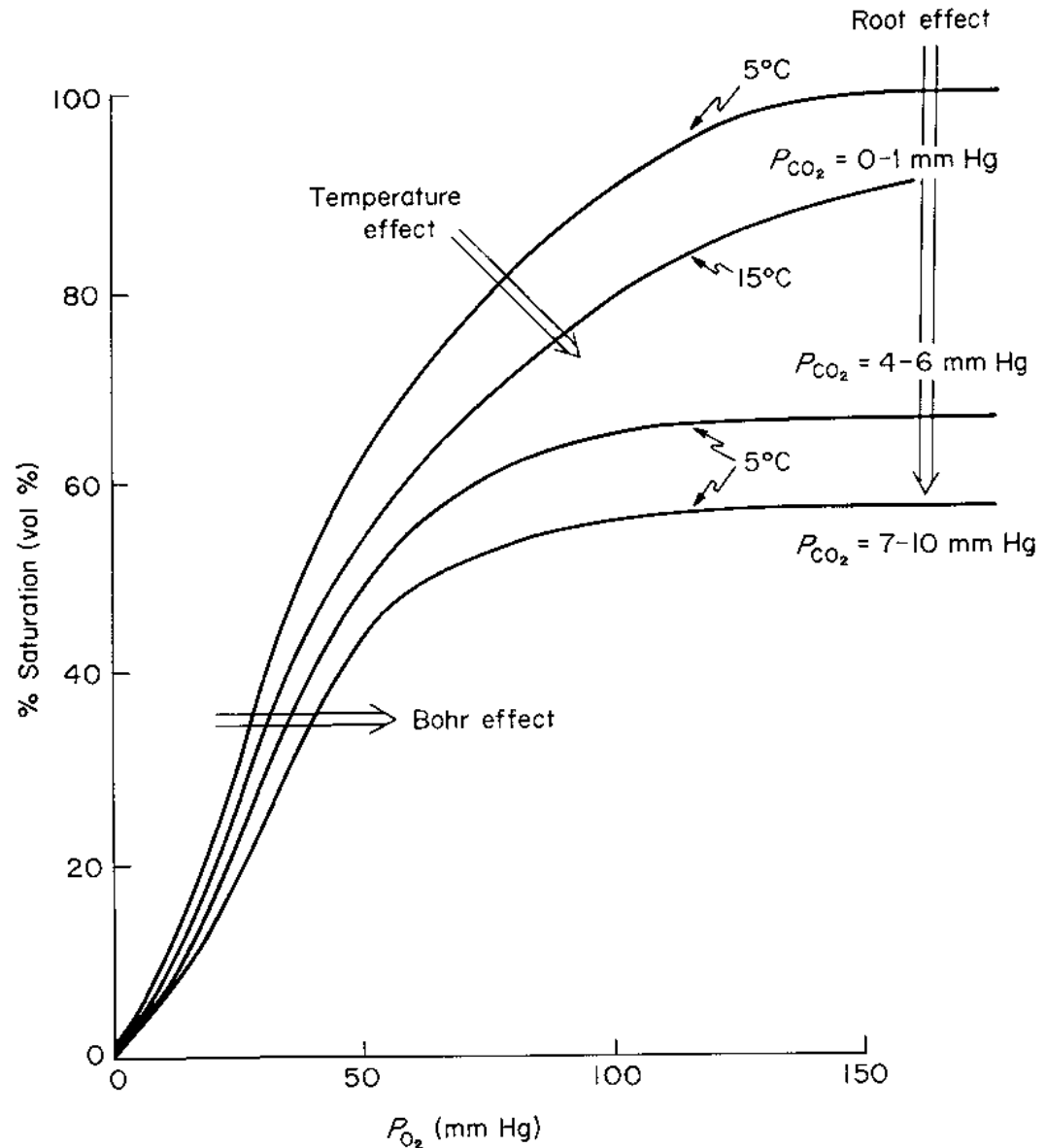
Cambio en la P_{50} que ocurre por unidad de cambio en el pH

- El **incremento de ácidos o CO_2** disminuye el pH del plasma y mueve la curva de disociación de la Hb **hacia la derecha**.
- → disminuye la afinidad y promueve una mayor entrega de O_2 a los tejidos a igual PO_2 .
- La Hb de un ratón es más pH sensible que la de un elefante.



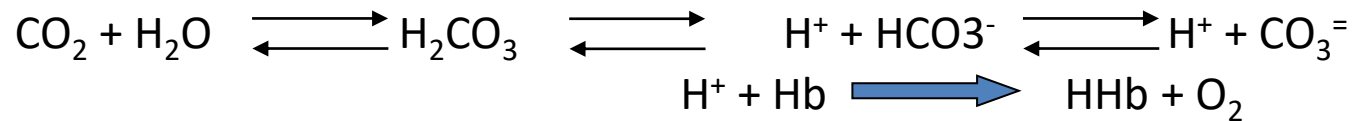
EFEECTO ROOT

- Ocorre principalmente en peces.
- Es la reducción máxima de la saturación de O_2 que puede ocurrir en presencia de un efecto Bohr muy marcado.
- La curva se corre tanto hacia la derecha que ya no se satura bien.
- Teleosteos $\Rightarrow$ favorece la entrega de O_2 a las vejigas natatorias.
- El efecto Bohr, junto con el efecto Root, influyen en el transporte de O_2 más no en el transporte de CO_2 .

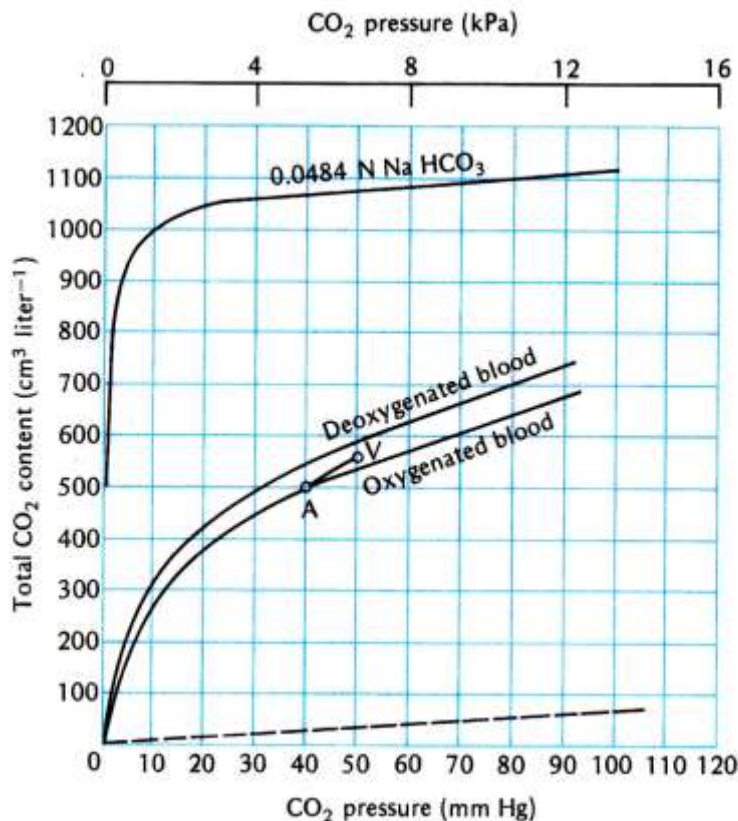


Transporte de CO₂

1. Disuelto en el plasma en forma gaseosa (≈5%)
2. Difusión al interior de los glóbulos rojos convirtiéndose en ácido carbónico (70%)



3. Combinación dióxido de carbono con la hemoglobina (25%)
 $\text{CO}_2 + \text{Hb} \longrightarrow \text{HbCO}_2$ (carbaminohemoglobina)



Curva de disociación de CO₂

HbO₂ (curva derecha; ligeramente ácida)

Efecto Haldane, cuando la curva se desplaza a la derecha ante una mayor presencia de O₂