

# Anatomía y Fisiología



Olaia Sardón, MD, PhD.  
Unidad de Neumología Infantil.  
Hospital Universitario Donostia.

## □ Anatomía

### ➤ Sistema respiratorio

- ❖ Fosas nasales

- ❖ Faringe

- ❖ Laringe

- ❖ Tráquea

- ❖ Árbol bronquial

- ❖ Pulmones

  - Dcho: lóbulo superior, medio e inferior.

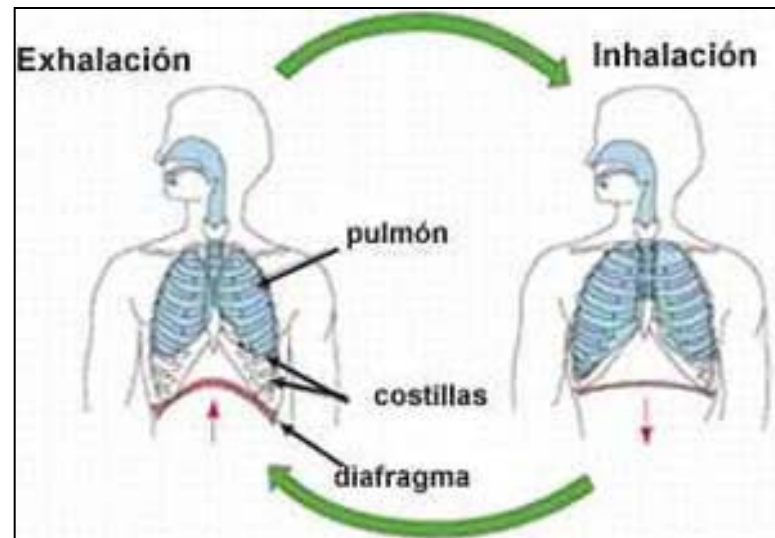
  - Izqdo: lóbulo superior e inferior.

## □ Anatomía

- Vías extratorácicas: aire en el organismo
  - ❖ Fosas nasales, boca, faringe.
  - ❖ Laringe y tráquea extratorácica.
  
- Vías intratorácicas
  - ❖ Vías de conducción (espacio muerto anatómico)
    - Tráquea, bronquios principales.
    - Divisiones bronquiales hasta bronquiolo terminal.
  - ❖ Vías de transición y zona respiratoria
    - Desde el bronquiolo respiratorio a los sacos alveolares.
    - Intercambio de gases.

## □ Mecánica de la respiración

- La ventilación se realiza por la acción de fuerzas generadas por músculos respiratorios sobre la caja torácica y los pulmones.
- La contracción y relajación de los músculos respiratorios crea un gradiente de presión entre la boca y los alveolos que permite:
  - ❖ Inspiración: entrada de aire.
  - ❖ Espiración: salida de un volumen de aire; volumen corriente o tidal ( $V_c$ ).





## ❑ Mecánica de la respiración

### ➤ Inspiración activa

❖  $V_c$  generado por diafragma, músculos intercostales y de vía respiratoria superior (constrictor de faringe y geniogloso).

❖ Contracción del diafragma que aumenta la  $P_r$  negativa intrapleural, elevación de costillas y expansión del tórax que disminuye la  $P_r$  intratorácica siendo inferior a la bucal (atmosférica) dando lugar a la entrada de aire a los alveolos.

### ➤ Espiración inicial lenta y pasiva

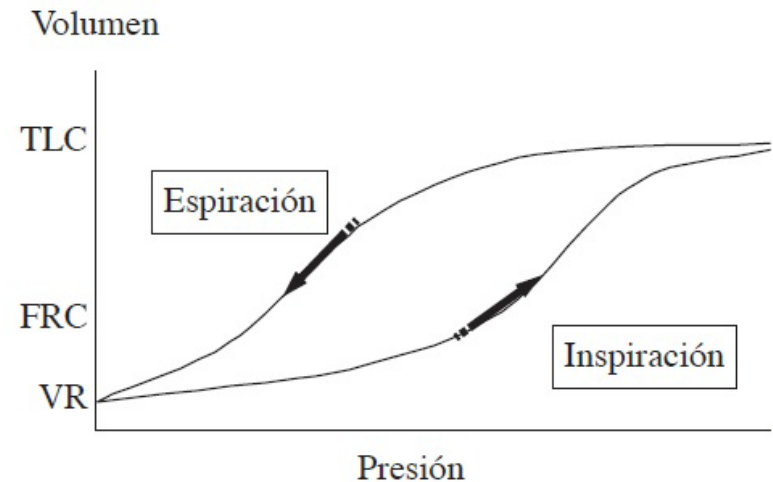
❖ Relajación de músculos inspiratorios que provoca disminución del volumen torácico y aumento de  $P_r$ , superior a la atmosférica que genera flujo espiratorio.

## ➤ Resistencia de la vía aérea ( $R_{aw}$ )

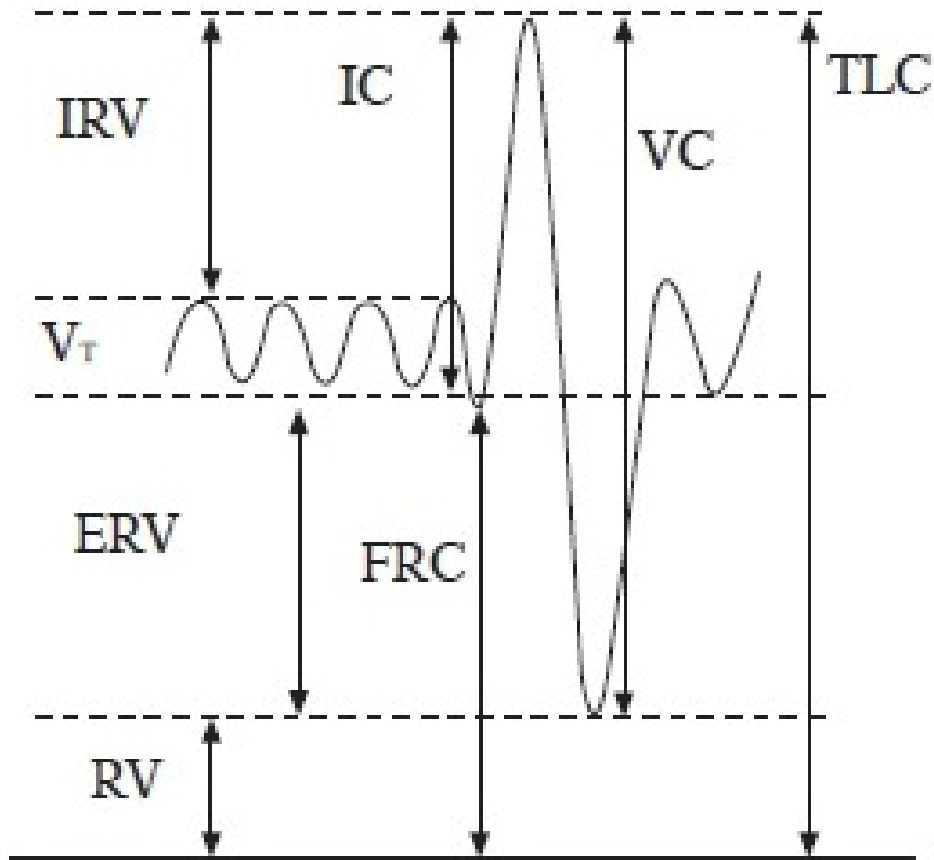
- ❖ Determinada por su radio o calibre. Es el 80% de la resistencia pulmonar total ( $R_{tot}$ ).
- ❖  $R_{aw} + \text{resistencia del parénquima pulmonar} = R_{tot}$ .
- ❖ Proporcional a diferencia de  $P_r$  entre boca y alveolo en presencia de flujo aéreo.
- ❖ Flujo turbulento en grandes bronquios.
- ❖ Flujo laminar en pequeñas vías aéreas.
- ❖ Disposición en paralelo de pequeñas vías con menor resistencia.
- ❖ Disminución progresiva de la resistencia hacia la periferia que tiene mayor superficie.

➤ Distensibilidad o compliance ( $\Delta V / \Delta P$ )

- ❖ Los pulmones y la caja torácica son estructuras elásticas.
- ❖ Variación de volumen ( $\Delta V$ ) en respuesta a cambios de presión ( $\Delta P$ ).
- ❖ Depende de:
  - Componentes estructurales
  - Unidad bronquioalveolar
  - Fuerzas de tensión superficial.
    - ✓ Surfactante pulmonar que disminuye la tensión superficial a bajos volúmenes evitando el colapso de alveolos en espiración.



## ➤ Volúmenes y capacidades pulmonares



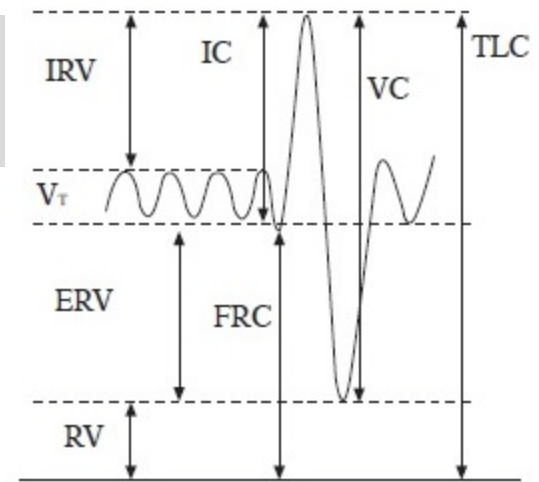
### Volúmenes (vol):

- IRV: vol de reserva inspiratorio.
- ERV: vol de reserva espiratorio.
- RV: vol residual.
- $V_t$  ó  $V_c$ : vol tidal o corriente.

### Capacidades

- IC: capacidad inspiratoria  
 $IC = V_t + IRV$
- FRC: capacidad residual funcional  
 $FRC = ERV + RV$
- VC: capacidad vital  
 $VC = IRV + V_t + ERV$   
 $VC = IC + ERV$
- TLC: capacidad pulmonar total  
 $TLC = VC + RV$   
 $TLC = IC + FRC$   
 $TLC = IRV + V_t + ERV + RV$





## ➤ Volúmenes y capacidades pulmonares

### Volúmenes (vol):

- IRV: cantidad de gas que es posible inhalar de manera forzada.
- ERV: cantidad de gas que es posible exhalar de manera forzada.
- RV: aire remanente que queda en los pulmones tras espiración forzada. El 25% de la TLC.
- Vt ó Vc: volumen de aire que se mueve en cada respiración.

### Capacidades

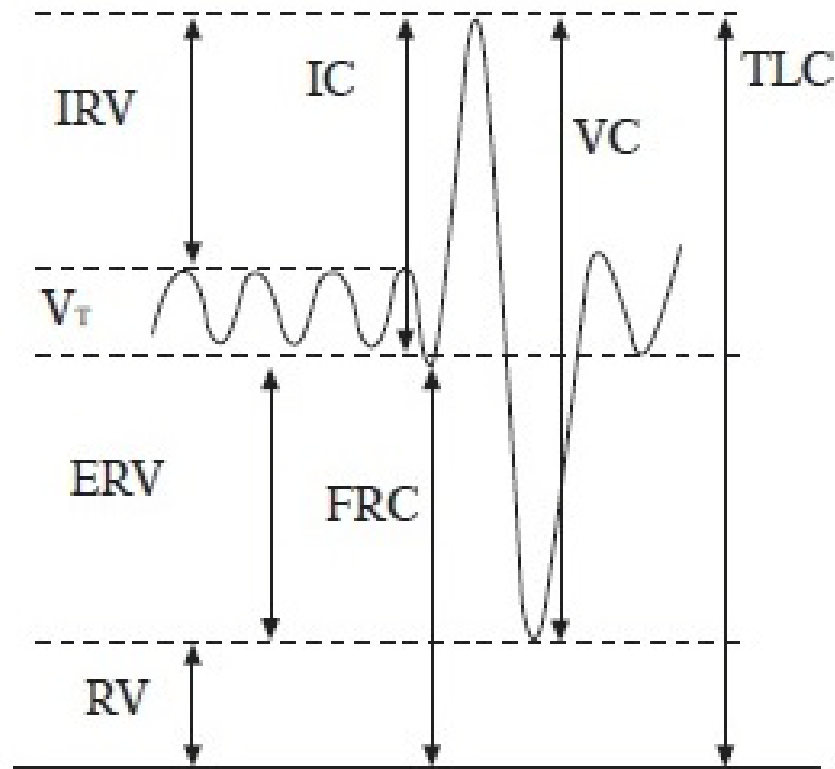
- IC: volumen que entra en los pulmones después de inspiración forzada máxima tras espiración normal.
- FRC: aire que queda en el pulmón tras respiración normal a volumen corriente o tidal.
- VC: volumen máximo que puede ser espirado tras inspiración máxima.
- TLC: cantidad de aire que contienen los pulmones totalmente distendidos tras una inspiración máxima.

**Espacio muerto anatómico:** tercio del aire inhalado que no llega a los alveolos.

**Espacio muerto fisiológico:** parte del volumen corriente que llega a los alveolos pero no participa en el intercambio de gases.

## ➤ Bases fisiológicas de la espirometría

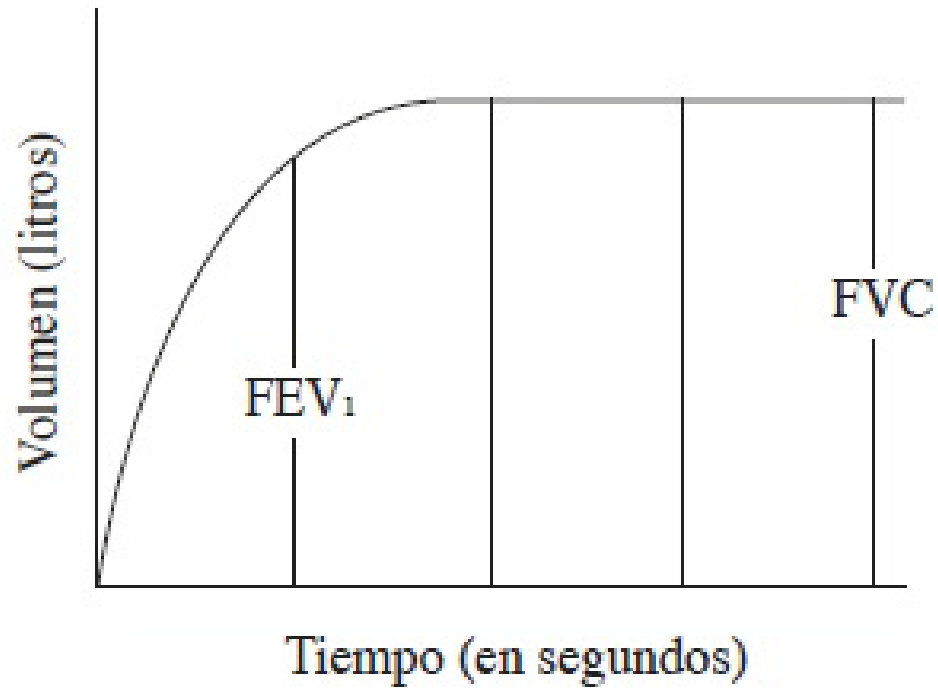
- ❖ La espirometría mide volúmenes y flujos pulmonares generados en una maniobra de espiración máxima voluntaria.
- ❖ Puede ser lenta, cuando se realiza de forma relajada, obteniéndose volúmenes y capacidades pulmonares estáticos, excepto el volumen residual (RV).



## ➤ Bases fisiológicas de la espirometría

- ❖ La espirometría forzada se realiza mediante una maniobra de máximo esfuerzo en el menor tiempo posible, obteniendo volúmenes y flujos pulmonares dinámicos.
- ❖ Inspiración:
  - El flujo máximo es dependiente del esfuerzo realizado.
  - A medida que el pulmón se expande la resistencia disminuye y resulta en una curva que tiende a mantener los valores máximos de flujo en su parte central.
- ❖ Espiración:
  - La fase inicial de la maniobra depende del esfuerzo del paciente y corresponde al aire de las grandes vías aéreas.
  - La segunda fase, independiente del esfuerzo, corresponde a las pequeñas vías aéreas determinada por la compresión dinámica de éstas.

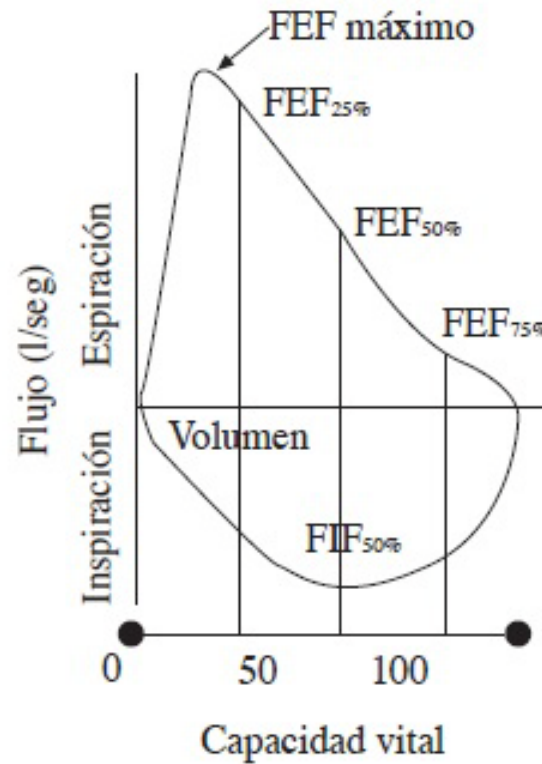
❖ Curva volumen tiempo



FVC: capacidad vital forzada; FEV<sub>1</sub>: volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

## ❖ Curva flujo-volumen

- Fase de ascenso rápido hasta llegar al flujo espiratorio máximo o Peak-Flow, y luego descenso más lento (Flujo espiratorio forzado;  $FEF_{75\%}$  a  $FEF_{25\%}$ ) hasta alcanzar la línea de base, que señala la FVC.



❖ Medición de volúmenes y flujos pulmonares dinámicos mediante espirometría forzada

<b>Capacidad vital forzada (FVC)</b>	Volumen máximo espirado en el menor tiempo tras inspiración máxima.
<b>Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV<sub>1</sub>)</b>	Volumen máximo espirado durante el primer segundo después de su comienzo, en el curso de espiración forzada iniciada a capacidad pulmonar total.
<b>Ápice de flujo espiratorio (PEF)</b>	Pico máximo de flujo obtenido en el curso de una FVC
<b>Máximo flujo espiratorio al 25% (FEF<sub>25</sub>)</b>	Flujo alcanzado cuando se lleva espirado un 25% de FVC
<b>Máximo flujo espiratorio al 50% (FEF<sub>50</sub>)</b>	Flujo alcanzado cuando se lleva espirado un 50% de FVC
<b>Máximo flujo espiratorio al 75% (FEF<sub>75</sub>)</b>	Flujo alcanzado cuando se lleva espirado un 75% de FVC
<b>Flujo espiratorio forzado 75% (FEF<sub>25-75</sub>)</b>	Flujo medio alcanzado en el tramo de la curva comprendido entre el 25 y el 75% de la FVC.
<b>Flujo espiratorio forzado 85% (FEF<sub>75-85</sub>)</b>	Flujo medio alcanzado en el tramo de la curva comprendido entre el 75 y el 85% de la FVC.

## □ La respiración

### ➤ Objetivos:

- ❖ Aporte de  $O_2$  a los tejidos
- ❖ Consumo de  $O_2$  para realizar funciones metabólicas celulares
- ❖ Eliminación de  $CO_2$

### ➤ Funciones

- ❖ Ventilación y difusión
- ❖ Transporte de  $O_2$  y su consumo periférico
- ❖ Eliminación del  $CO_2$

### ➤ Interacción de sistemas

- ❖ Sistema nervioso central (SNC)
- ❖ SN periférico (SNP)
- ❖ Aparato circulatorio, hematológico, endocrinológico y tejidos periféricos.

## □ La respiración

### ➤ Funciones

- ❖ Ventilación y difusión
- ❖ Transporte de  $O_2$  y su consumo periférico
- ❖ Eliminación del  $CO_2$

### ➤ La eficacia depende de:

- ❖ Ventilación minuto
- ❖ La frecuencia respiratoria
- ❖ Espacio muerto



## ➤ Difusión alveolo-capilar

- ❖ El aire se traslada por las vías aéreas por un mecanismo de convección.
- ❖ En el alveolo, el  $O_2$  y el  $CO_2$  pasan desde el gas alveolar a la sangre capilar a través de la membrana alveolo-capilar.
- ❖ Difusión pasiva que depende del gradiente de presión para cada gas.
- ❖ El  $O_2$  debe disolverse y difundir a través de la capa del surfactante, el epitelio alveolar, el intersticio y el endotelio capilar.
- ❖ La difusión del gas depende de:
  - La naturaleza del gas; coeficiente de difusión específico
  - La superficie de contacto
  - La distancia entre la pared alveolar y la del capilar
  - El tiempo de contacto de la sangre capilar con el alveolo

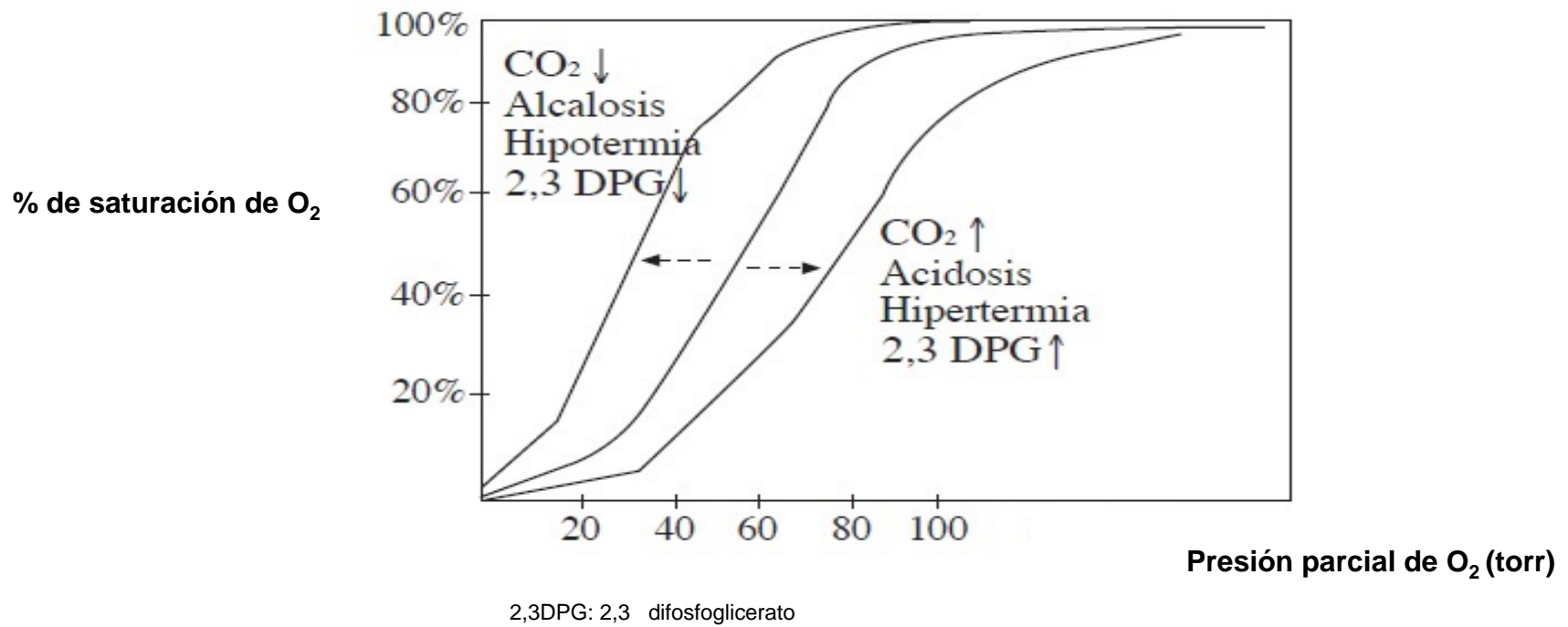
- La difusión alveolo-capilar puede alterarse
  - ❖ Aumento de la interfase alveolo-capilar (edema, exudados, fibrosis o infiltrado alveolar)
  - ❖ Disminución de superficie de contacto (enfisema, tumores, bajo gasto cardiaco...)
  - ❖ Alteración de relación ventilación-perfusión

➤ Intercambio gaseoso. Transporte de  $O_2$ .

- ❖ El gasto cardiaco, la hemoglobina (hb), la temperatura, el equilibrio ácido base y el consumo de  $O_2$  son los factores extrapulmonares determinantes del transporte de  $O_2$ .
- ❖ El  $O_2$  disuelto en sangre depende del coeficiente de solubilidad del  $O_2$  y la presión parcial de  $O_2$  ( $PaO_2$ ).
- ❖ El 99% del  $O_2$  que se transporta está unido a la hb.
- ❖ El transporte depende de la cantidad de hb, capacidad de transporte máxima de la hb y de su saturación.

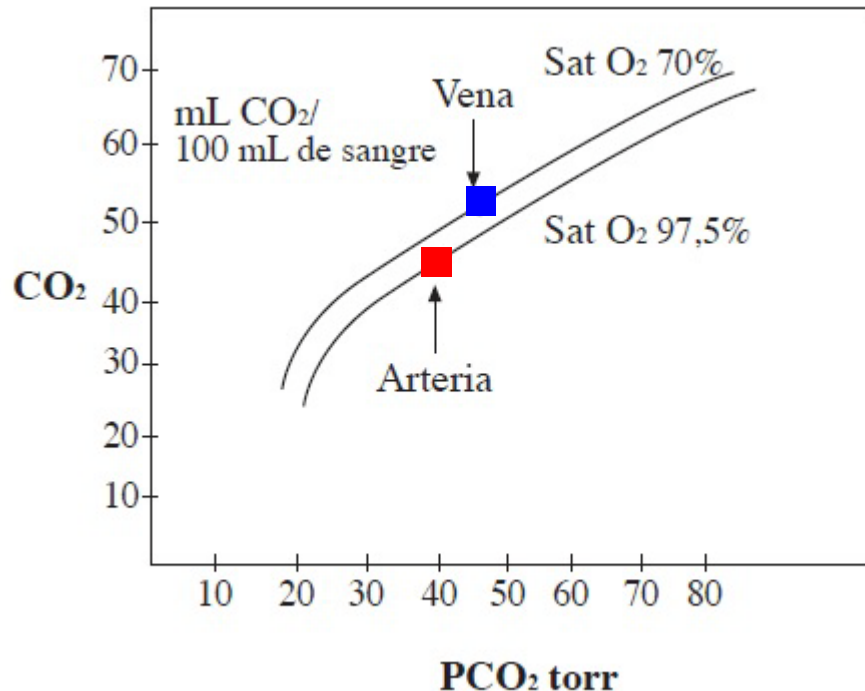
➤ Intercambio gaseoso. Transporte de O<sub>2</sub>.

- ❖ La relación entre la PaO<sub>2</sub> y la saturación de la hb se expresa en una curva de disociación.
- ❖ La desviación a la izqda, aumenta la afinidad de la hb por el O<sub>2</sub> liberando menos a los tejidos.
- ❖ La desviación a la dcha, disminuye la afinidad de la hb por el O<sub>2</sub> liberando más a los tejidos.



➤ Intercambio gaseoso. Transporte de  $\text{CO}_2$ .

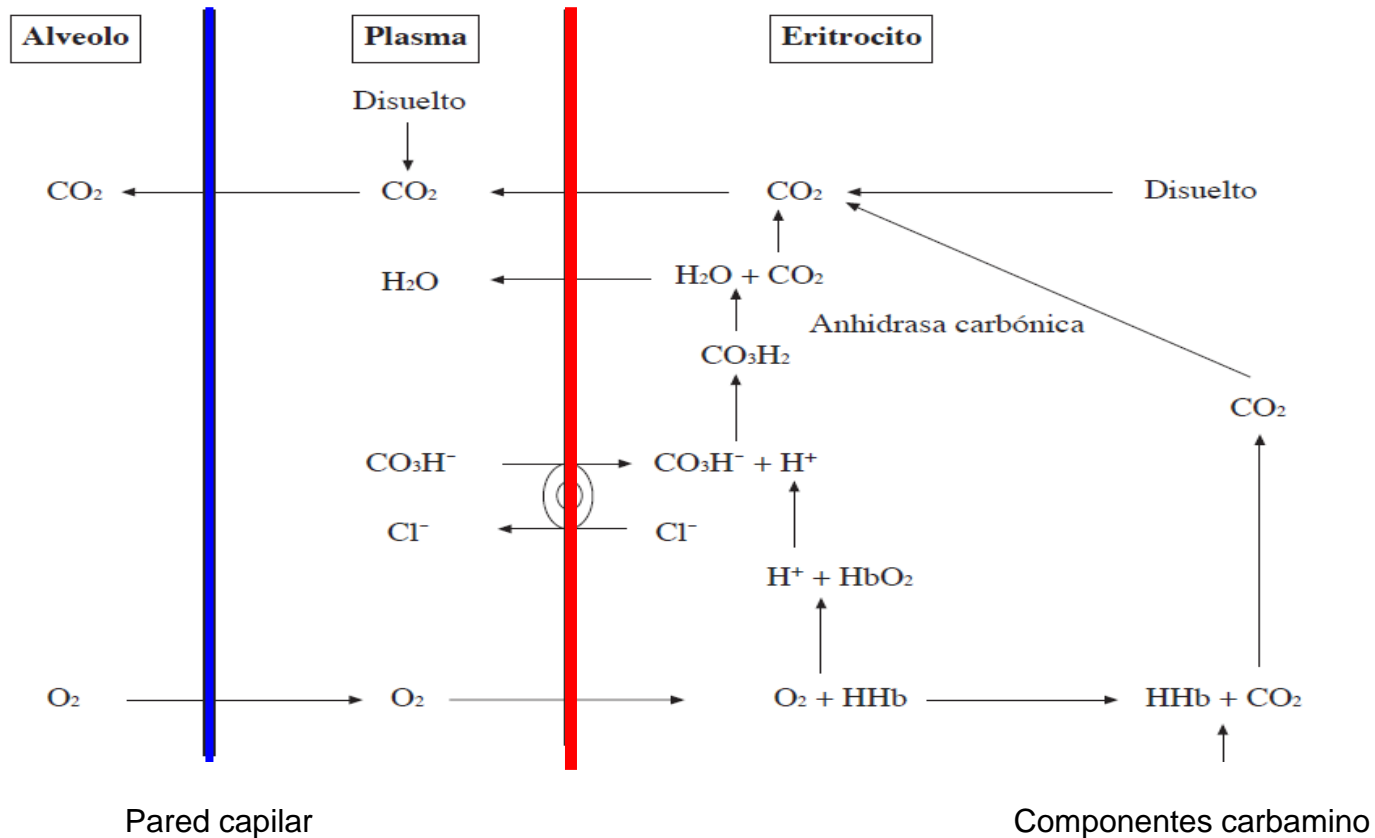
- ❖ Los factores que regulan la  $\text{PaCO}_2$  son la ventilación, la relación ventilación-perfusión ( $V/Q$ ) y la producción de  $\text{CO}_2$ .
- ❖ Es transportado disuelto, combinado con proteínas sanguíneas y como ión bicarbonato.
- ❖ Curva de disociación de  $\text{CO}_2$ .



- Desviación a la dcha si niveles elevados de hb oxidada.
- Desviación a la izqda al aumentar la hb reducida.

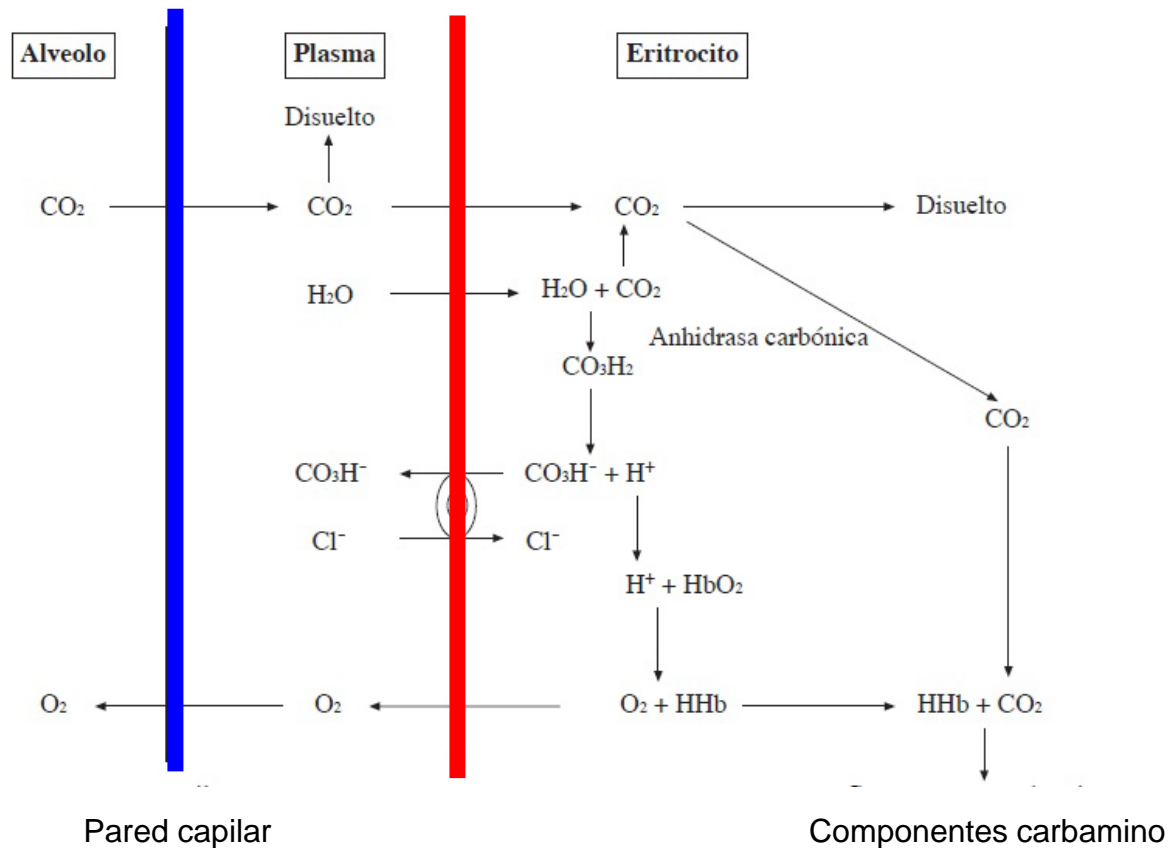
➤ Liberación y captación de  $O_2$  y  $CO_2$  en parénquima pulmonar

- ❖ La  $PO_2$  es alta, la  $PCO_2$  baja y la curva de disociación de hb está desviada a la izqda.
- ❖ El  $O_2$  se une a la hb que libera el  $H^+$  formando  $CO_3H_2$  que se disocia en  $CO_2$  y  $H_2O$ .
- ❖ El  $CO_2$  es liberado de los grupos aminos, difunde del eritrocito al plasma y de allí al alveolo.



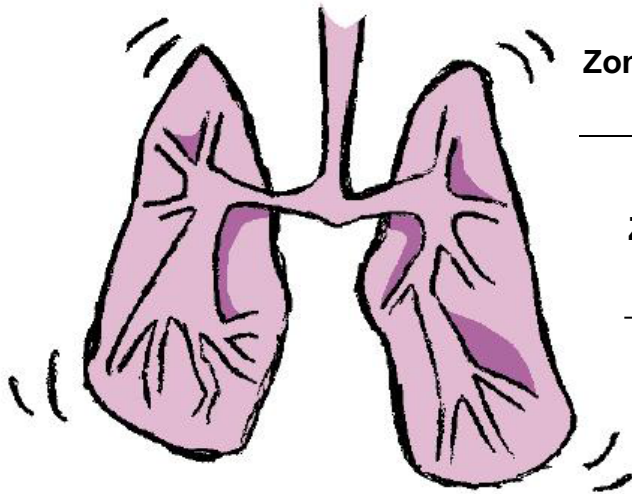
➤ Liberación y captación de  $O_2$  y  $CO_2$  en los tejidos

- ❖ La  $PO_2$  es baja, la  $PCO_2$  es alta y la curva de disociación de la hb está desviada a la derecha.
- ❖ El  $CO_2$  se disuelve en el plasma, y difunde al eritrocito donde se transforma en  $CO_3H_2$  que se disocia en  $H^+$  y bicarbonato.



## ➤ Circulación pulmonar

- ❖ La circulación no es homogénea debido a la gravedad.
- ❖ En bipedestación las partes declives del pulmón reciben la mayor parte del gasto cardiaco.
- ❖ Depende del gasto cardiaco y de la presión capilar pulmonar de enclavamiento (PCP) (funcionamiento del ventrículo izqdo).
- ❖ División del parénquima pulmonar en 3 zonas funcionales (zonas de West).



**Zona I:**  $PA_{lv} > PAP > PCP$

**Zona II:**  $PAP > PA_{lv} > PCP$

**Zona III:**  $PAP > PCP_m > PA_{lv}$

$PA_{lv}$ : presión alveolar.

$PAP$ : presión en arteria pulmonar

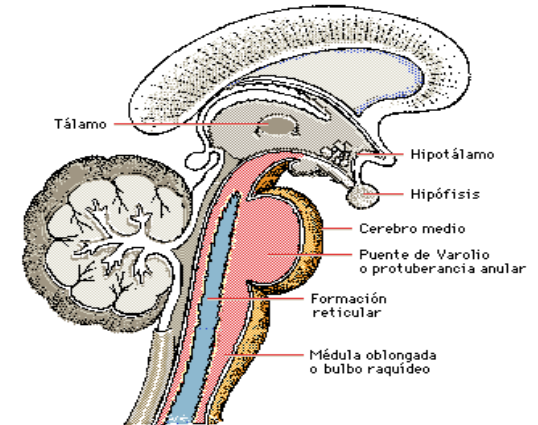


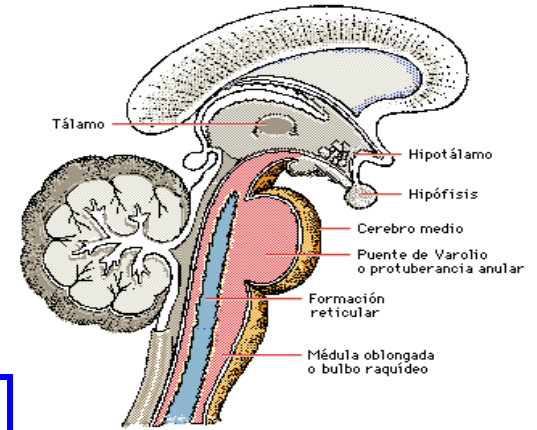
➤ Relación ventilación-perfusión (V/P)

- ❖ La  $[CO_2]$  y  $[O_2]$  en sangre arterial depende de la distribución del flujo sanguíneo y de la ventilación de los pulmones (V/P).
- ❖ Cuando la ventilación de los alveolos es igual a la sangre que los perfunde;  $V/P = 1$ .
  - V/P global en condiciones normales = 0,85.
  - V/P mayor en los vértices (3,3) que en las bases (0,66)
- ❖ Áreas perfundidas y no ventiladas;  $V/P = 0$ .
  - Cortocircuito pulmonar. Sangre no oxigenada. No se elimina  $CO_2$ .
- ❖ Áreas ventiladas y no perfundidas;  $V/Q = \infty$ 
  - Espacio muerto alveolar

## □ Control de la respiración

- Inicio espontáneo
- Mantenimiento automático por el SNC
- Sistema de Retroalimentación negativa
  - ❖ Vía aferente. Recepción de información y transmisión.
  - ❖ Mecanismo regulador central.
  - ❖ Vía eferente. Ejecuta órdenes del centro regulador.
- Objetivo
  - ❖ Gasometría normal

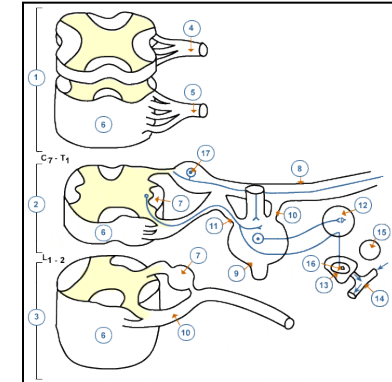
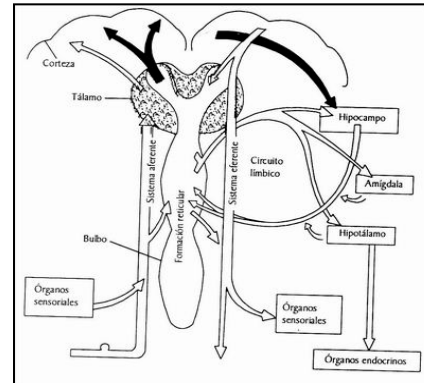




## CENTRO RESPIRATORIO

Corteza cerebral

Sistema nervioso autónomo



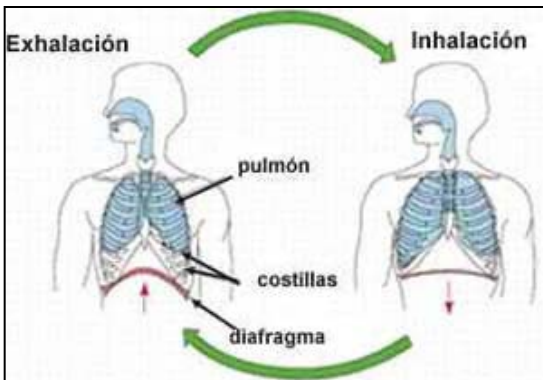
Musculatura respiratoria

- ❖ Diafragma
- ❖ Músculos de la vía aérea
- ❖ Músculos de la caja torácica y abdomen

Receptores

- ❖ Centrales
- ❖ Periféricos

Ventilación



## ➤ Mecanismo en desarrollo

### ❖ Etapa prenatal

- Generador del impulso respiratorio (función y maduración)

### ❖ Etapa perinatal-recién nacido

- Complejo preBotzinger – Marcapasos Respiratorio
  - ✓ Canales de sodio voltaje dependientes ( $I_{NAP}$ ) y canales de calcio activado no específicos ( $I_{CAN}$ ).

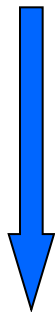
Aumentan Excitabilidad neuronal  
Generadores del impulso respiratorio

## ➤ Mecanismo en desarrollo

❖ Etapa perinatal, recién nacido y lactante. Adquisición progresiva.

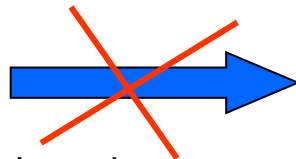
- Phox 2a, neuronas A6 pontinas, Nad: ritmo respiratorio normal.
- Mayor sensibilidad a estímulos aferentes.

### Quimioreflejos laríngeos



- Deglución, constricción laríngea
- Apnea, alerta
- Hipertensión, bradicardia

Protección vía aérea



Inmadurez  
Prematuridad

Episodios aparentemente letales (ALTEs)  
Síndrome de muerte súbita del lactante (SMSL)

