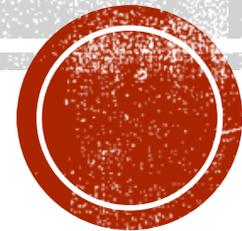
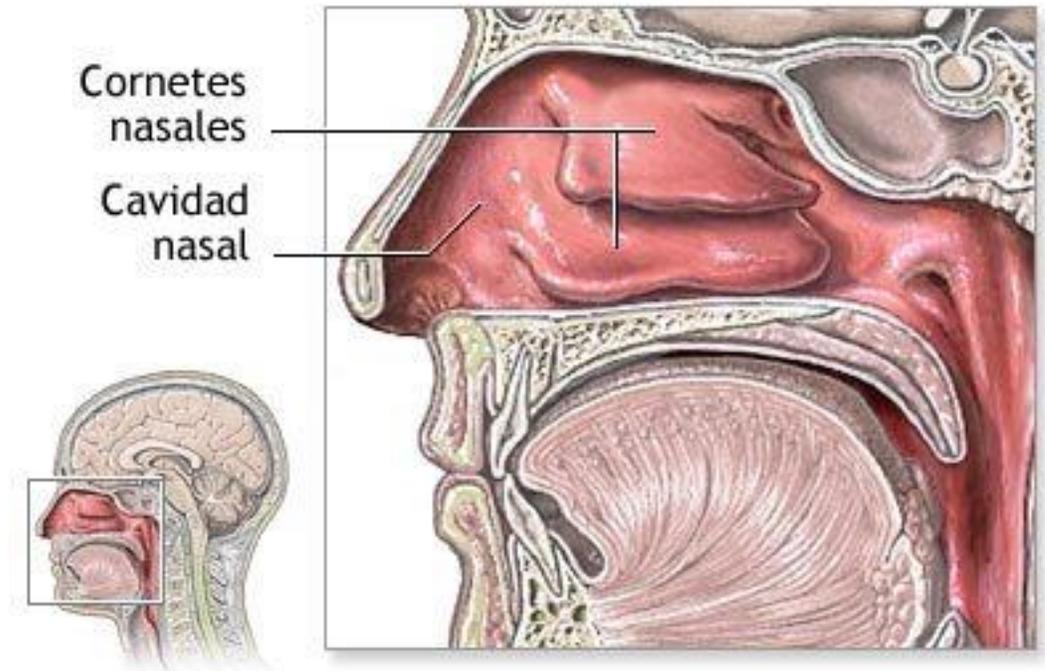
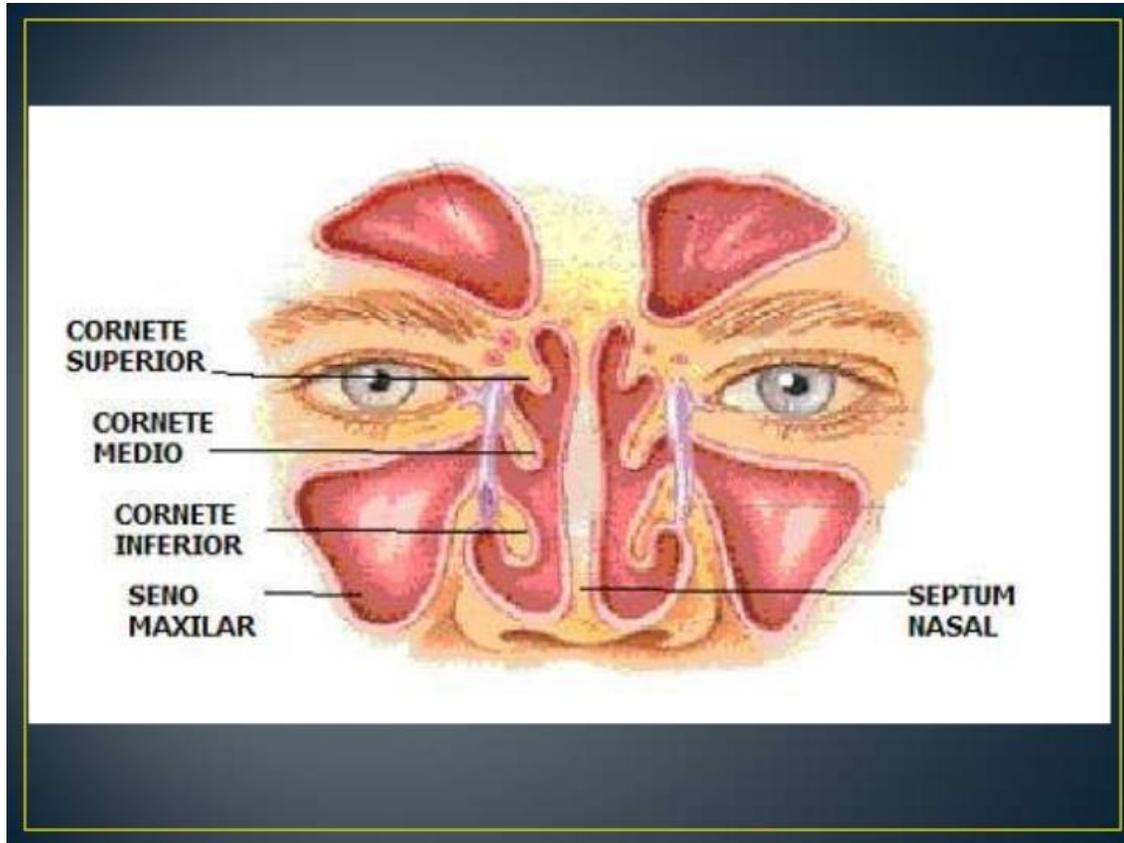


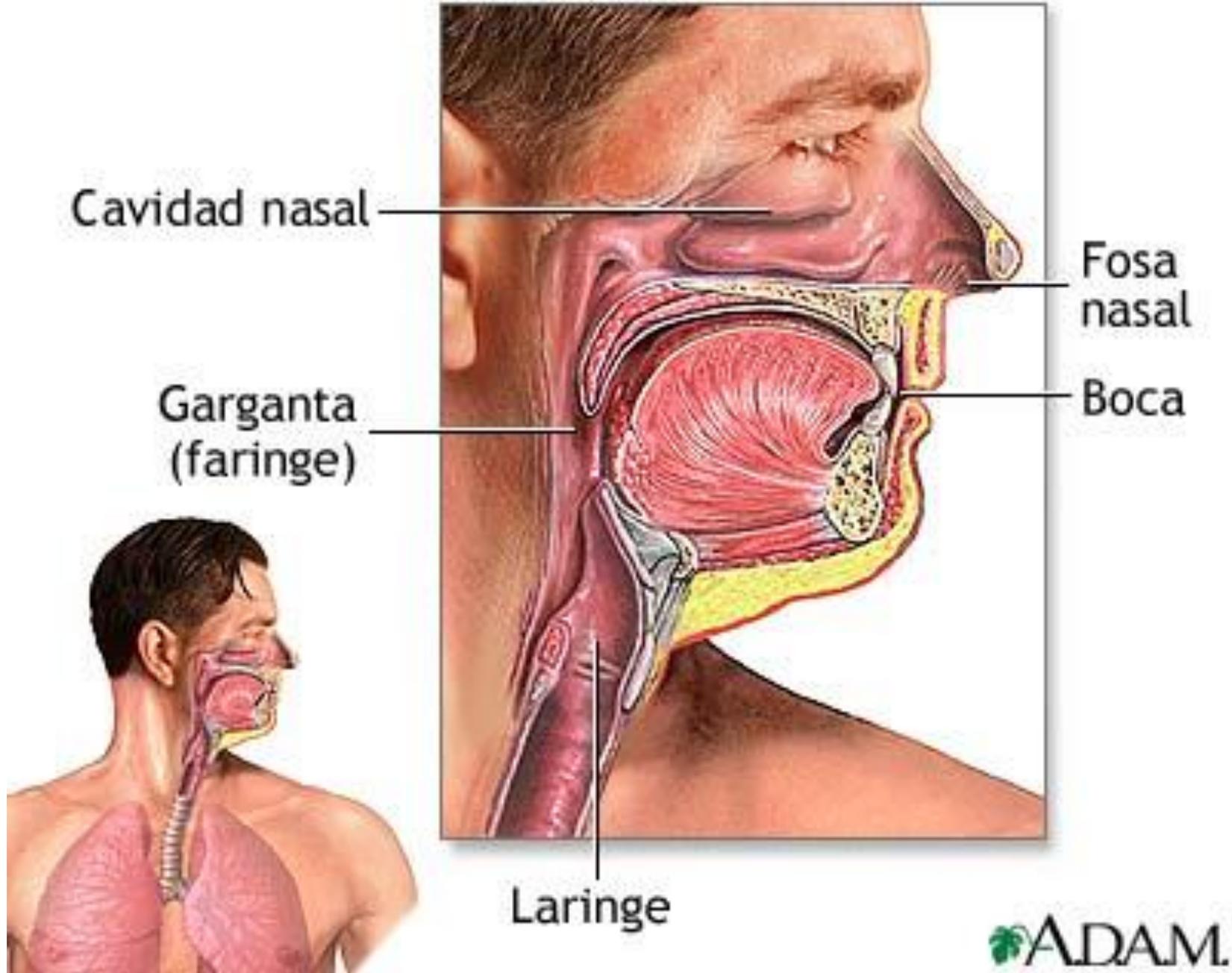
# FISIOLOGIA RESPIRATORIA EN SU FUNCIONAMIENTO NORMAL



**Dr. Rodrigo Andrés Viotti**  
**Dpto De Ingeniería Biológica - Facultad de Ingeniería-**  
**UdelaR**  
**Curso de Postgrado en Ingeniería Cardiovascular**

# ANATOMIA CLASICA





# RESPIRACIÓN:

- Secuencia de eventos que permiten el transporte de O<sub>2</sub> desde la atmósfera hasta las células, y el movimiento de CO<sub>2</sub> en sentido opuesto.
- Toda célula necesita del continuo aporte de O<sub>2</sub> y remoción de CO<sub>2</sub> para cumplir su función específica.
  
- Procesos:
  - VENTILACIÓN
  - DIFUSIÓN A-C
  - TRANSPORTE
  - DIFUSIÓN TISULAR



# VENTILACIÓN



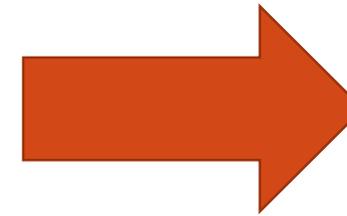
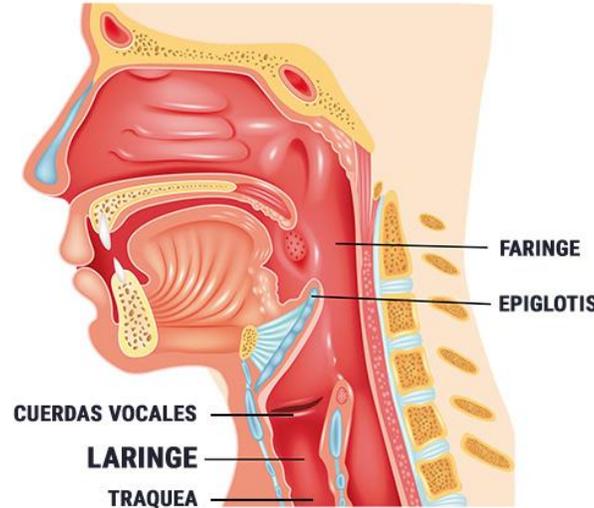
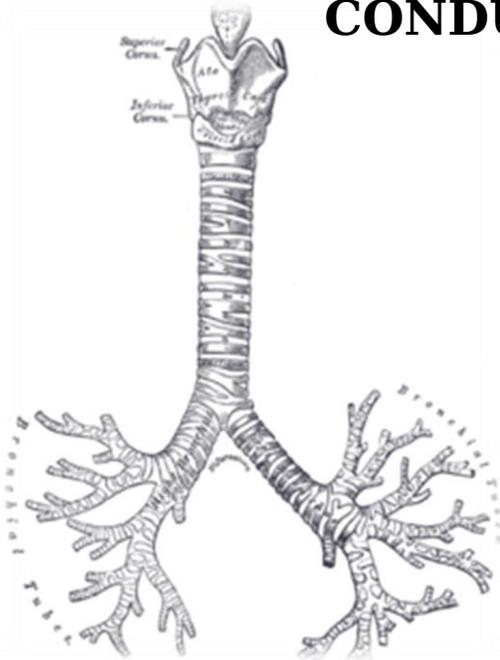
# VENTILACIÓN:

- Proceso por el cual el O<sub>2</sub> inspirado es transportado hacia el pulmones así como el CO<sub>2</sub>, en dirección contraria.
- Implica los procesos de inspiración y espiración. Procesos activos y procesos pasivos.
- Depende del estado de la vía respiratoria alta y baja



# RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA Y LA FUNCIÓN PULMONAR

## SECTOR DE CONDUCCIÓN



ESPACIO MUERTO ANATÓMICO

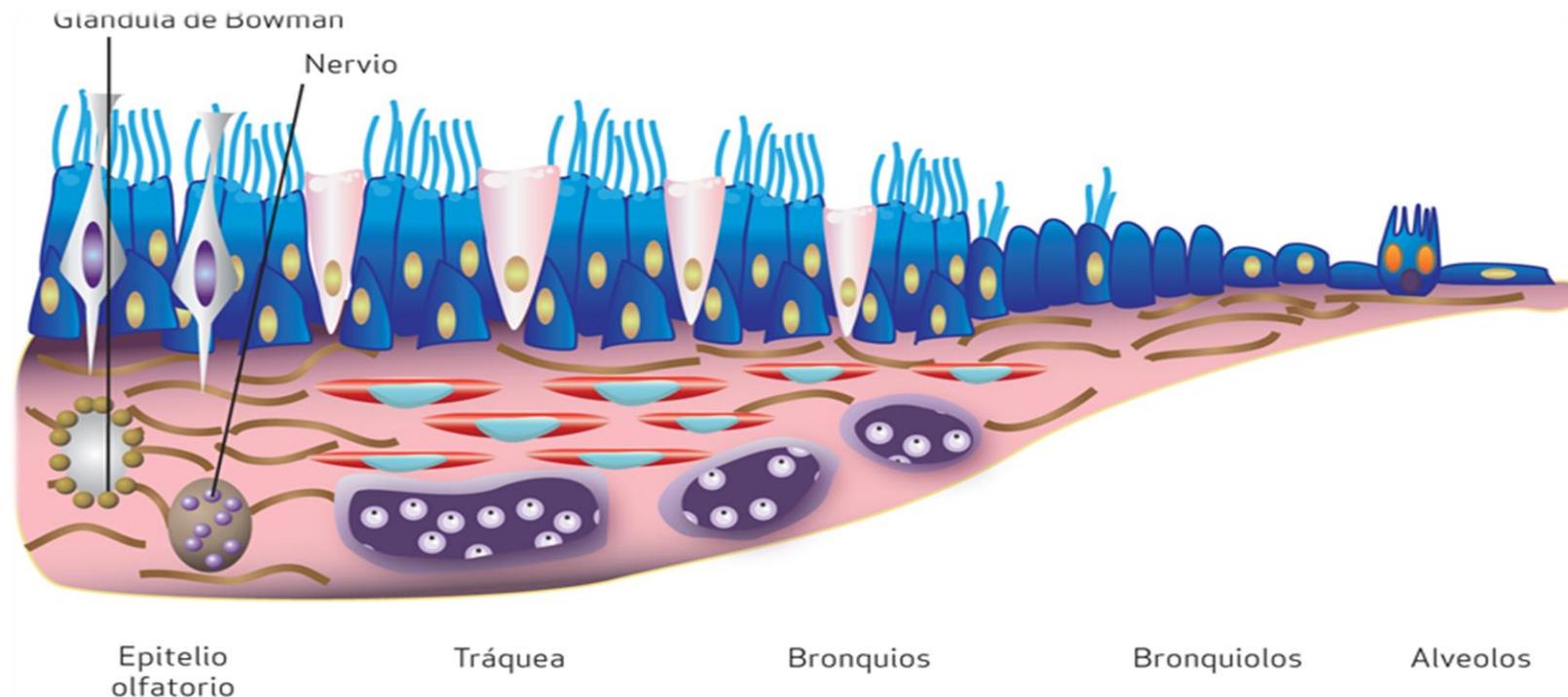
El volumen ocupado por el sistema de conducción es muy pequeño en comparación con el sistema de intercambio. 150ml y 2500ml respectivamente.

**¿ QUE FUNCIÓN CUMPLEN LAS VÍAS DE CONDUCCIÓN?**



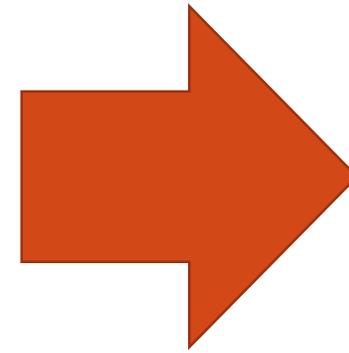
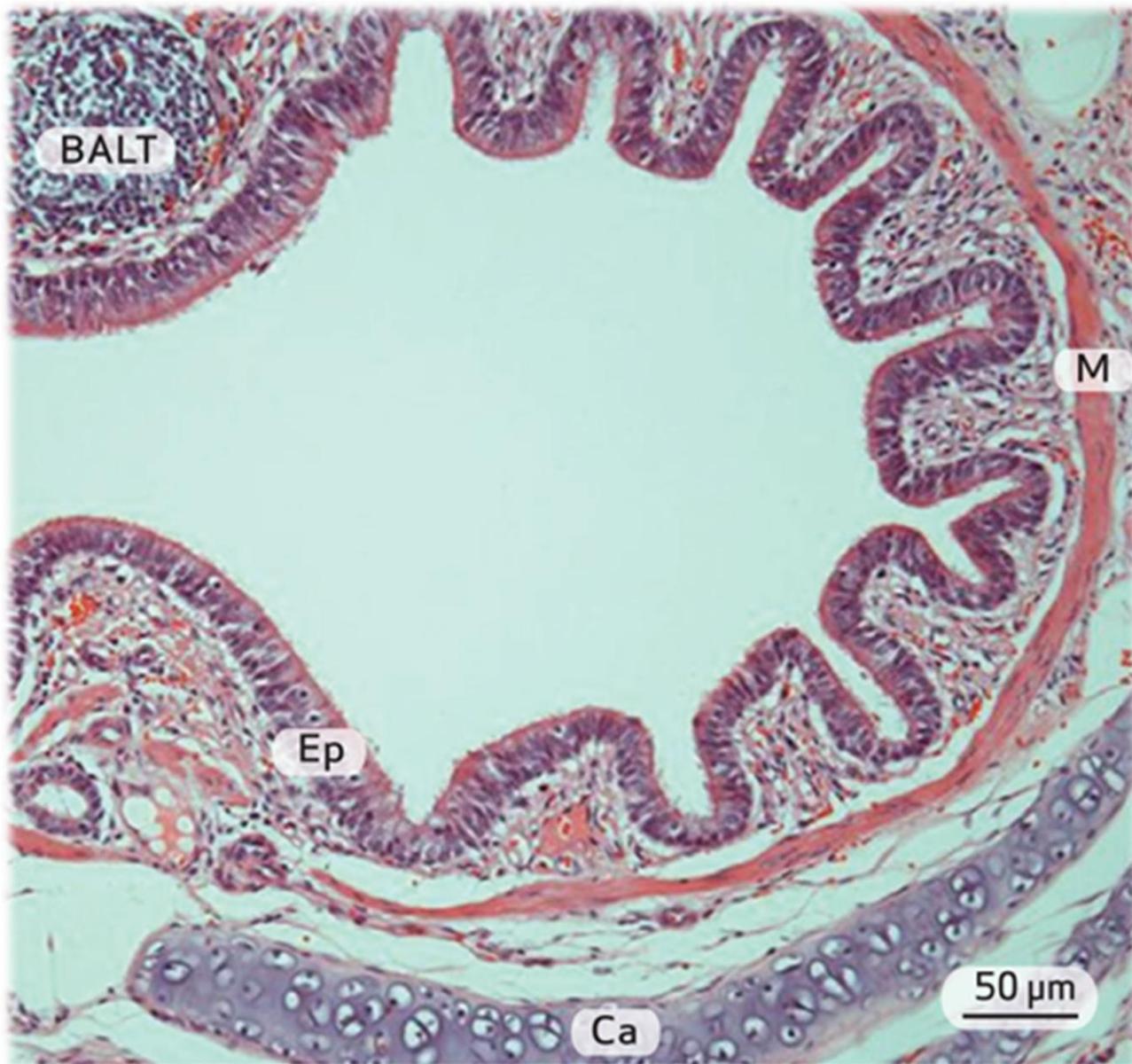
# RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA Y LA FUNCIÓN PULMONAR

¿ DE QUE DEPENDE QUE EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN, LLEGUE A SER DE INTERCAMBIO?



Fuente: Teresa I. Fortoul van der Goes: *Histología y biología celular*, 3e: [www.accessmedicina.com](http://www.accessmedicina.com)  
Derechos © McGraw-Hill Education. Derechos Reservados.





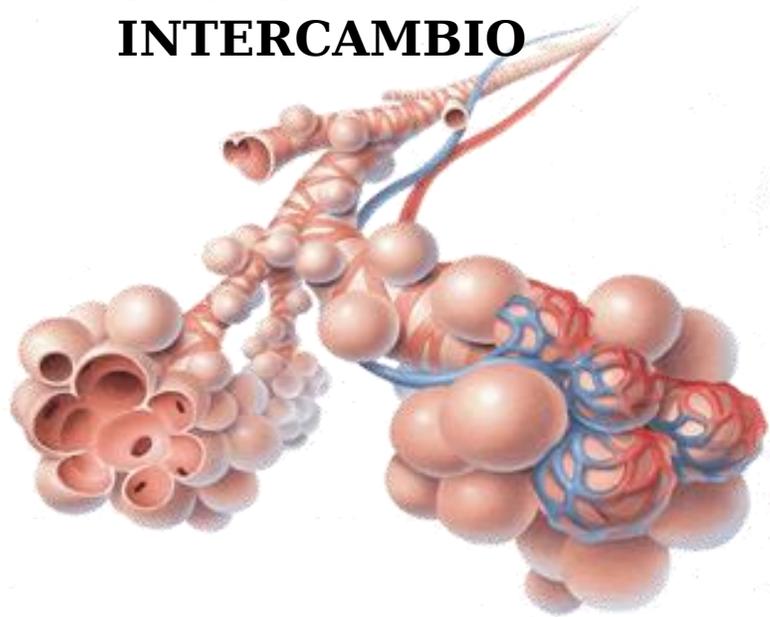
VÍA DE  
CONDUCCIÓN

Fuente: Teresa I. Fortoul van der Goes: *Histología y biología celular*, 3e:  
[www.accessmedicina.com](http://www.accessmedicina.com)  
Derechos © McGraw-Hill Education. Derechos Reservados.



# RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA Y LA FUNCIÓN PULMONAR

## SECTOR DE INTERCAMBIO

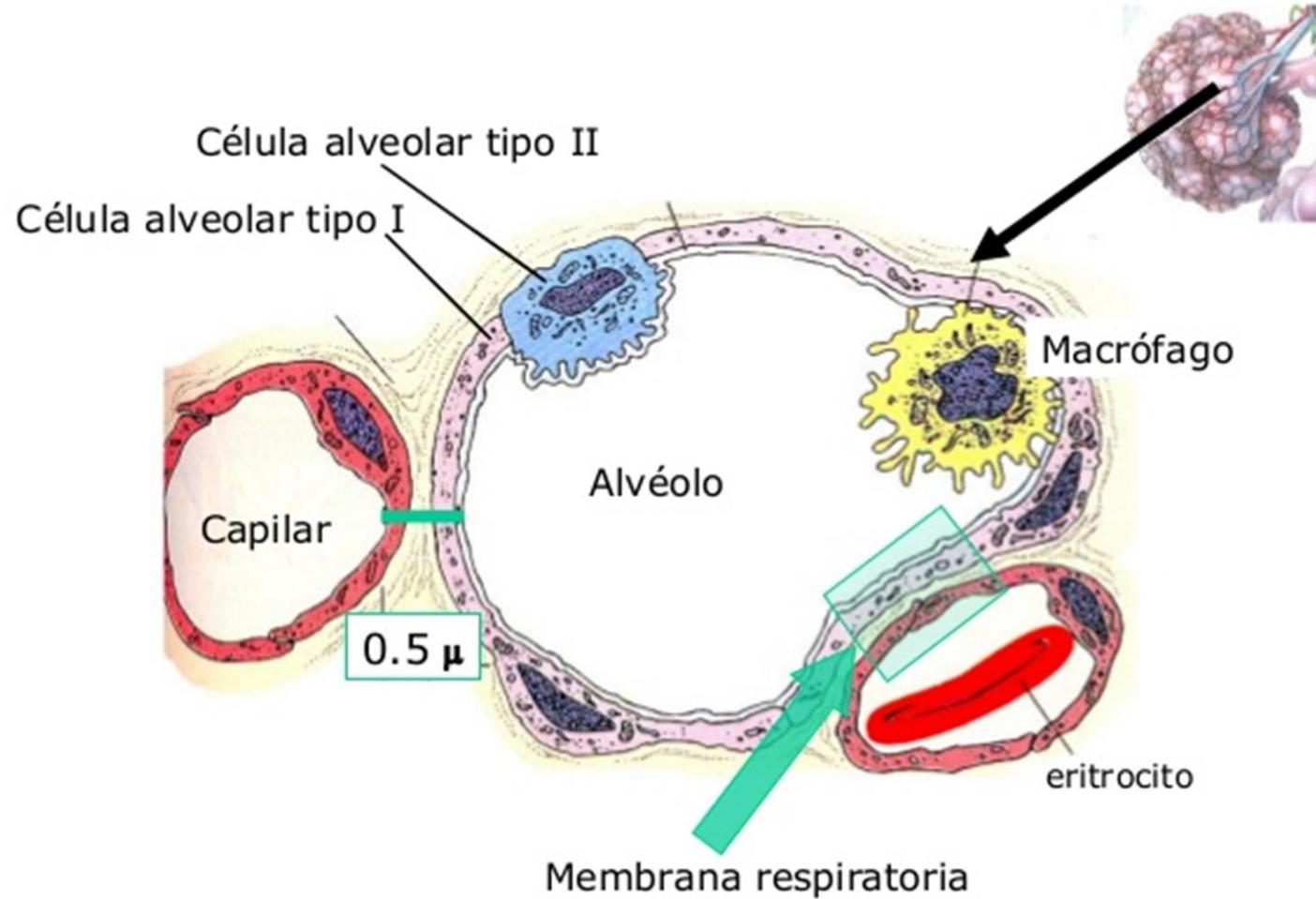


La superficie de intercambio es aproximadamente  $70\text{m}^2$ , y la barrera muy delgada.

Esto permite adaptarse a situaciones de mayor demanda.



La unidad alveolo-capilar es el lugar donde se efectúa el intercambio de gases: Membrana respiratoria



# Bronquios Intrapulmonares

Bronquio Pedicular Principal

Bronquio Lobular o Pedicular Secundario

Bronquio Segmentario

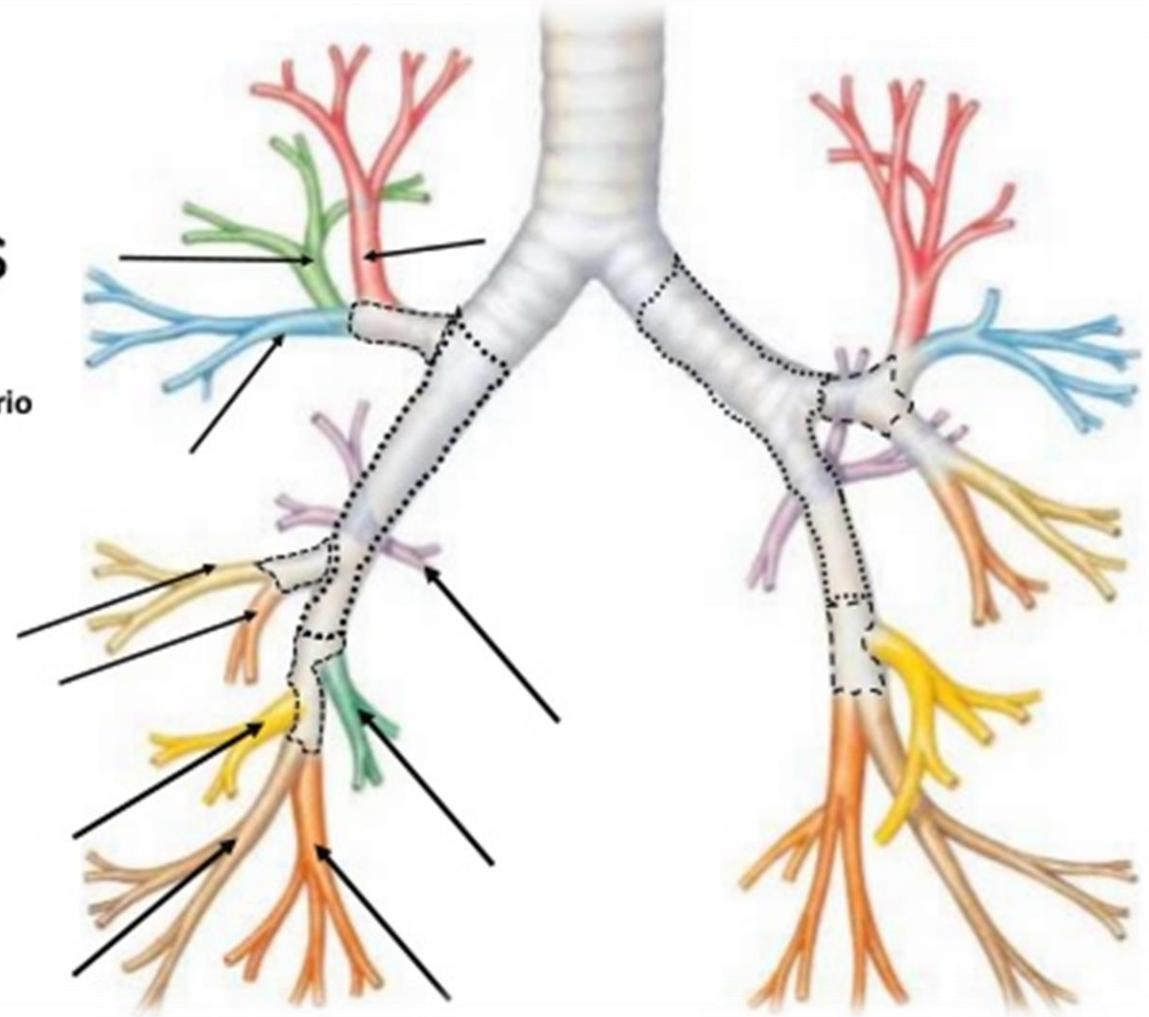
Bronquio Subsegmentario  
Mayor

Bronquio Subsegmentario  
Menor

Bronquiolo Intralobulillar o  
Terminal

Bronquilo Respiratorio

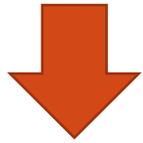
Saco Alveolar





# FLUJO MASIVO Y DIFUSIÓN EN LAS VÍAS AEREAS

Velocidades de flujo aéreo diferentes



Función diferente

Estructura y función

7

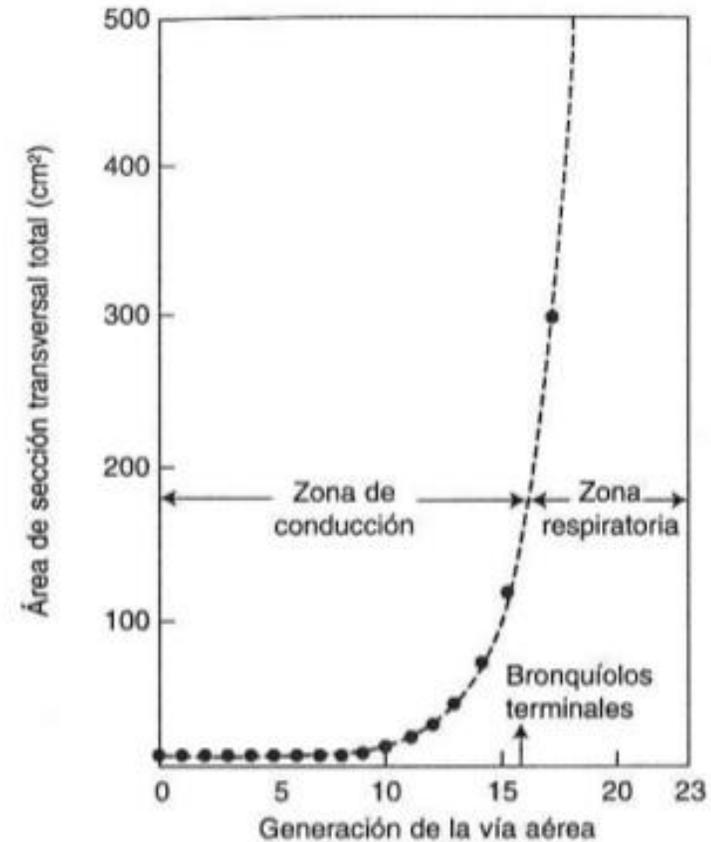
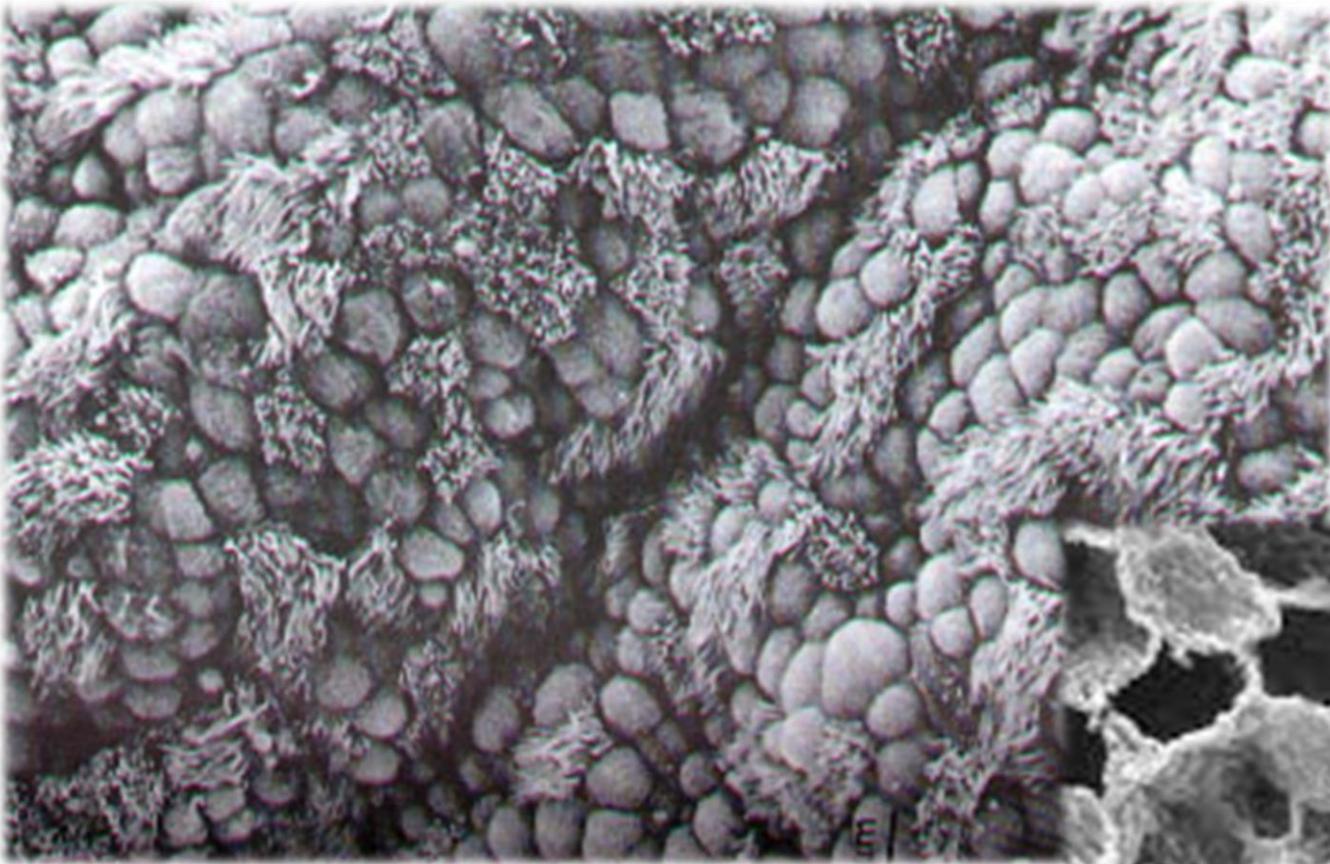
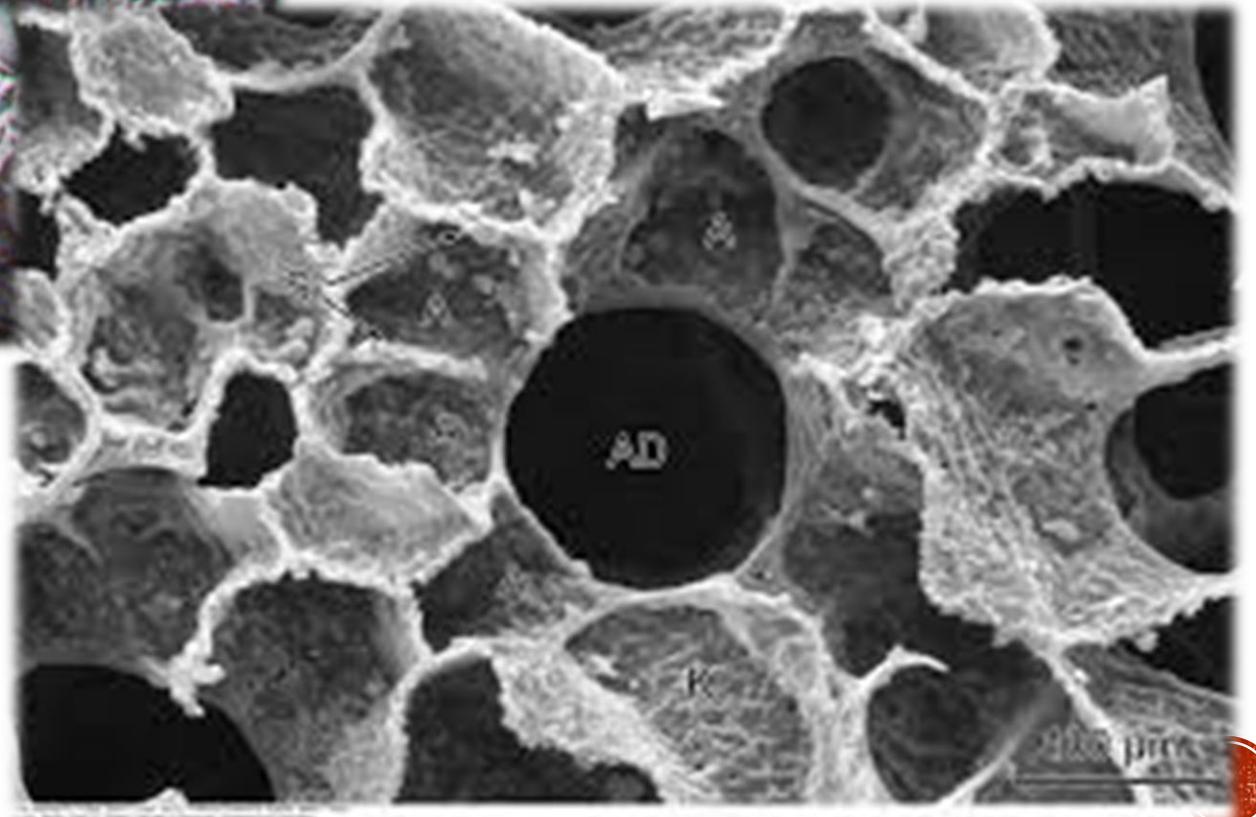


Fig. 1-5. Esquema que ilustra el aumento extremadamente rápido del área de sección transversal total de las vías aéreas en la zona respiratoria (compárese con fig. 1-4). Como resultado de ello, la velocidad frontal del gas durante la inspiración se vuelve muy pequeña en la región de los bronquiolos respiratorios, y la difusión gaseosa se convierte en el mecanismo principal de la ventilación.



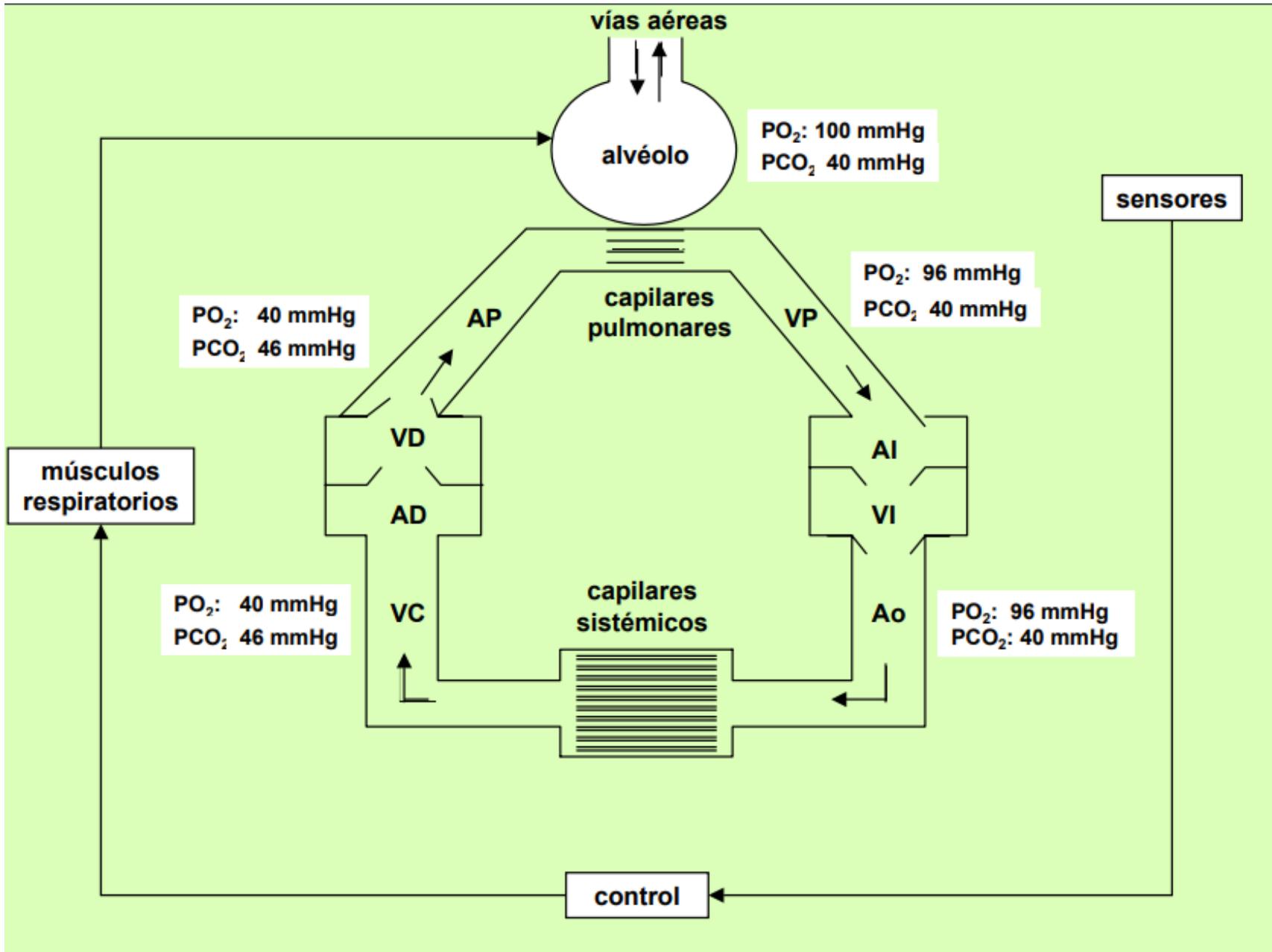


300 MILLONES POR PULMON  
ADULTO

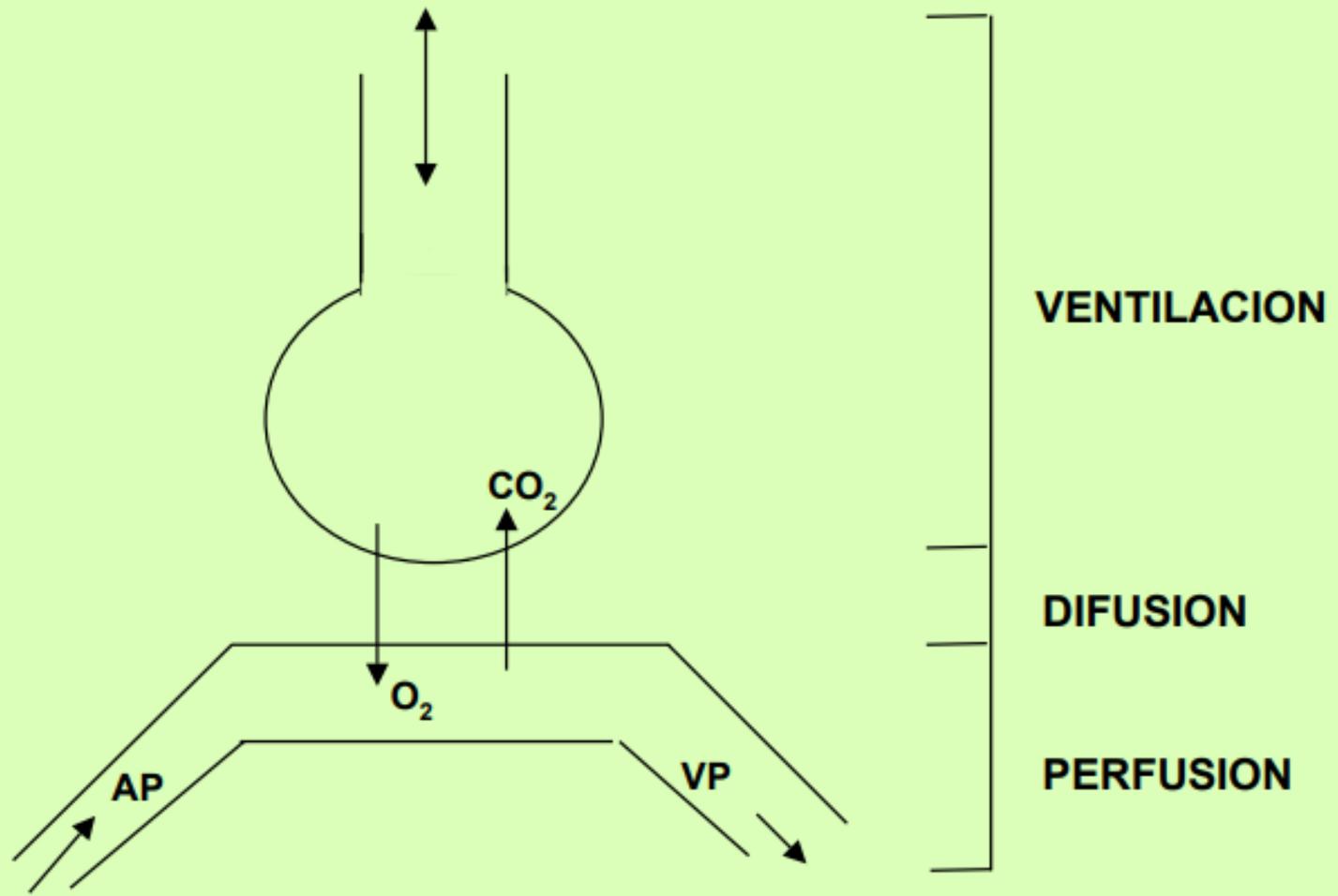


# MECANICA VENTILATORIA





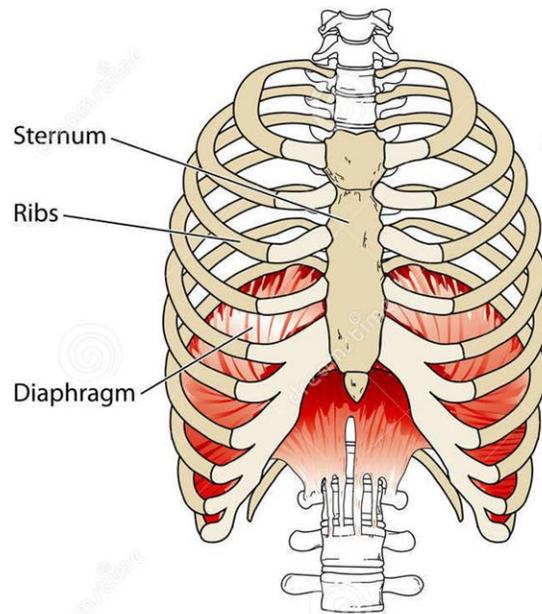
# Sectores del Sistema Respiratorio



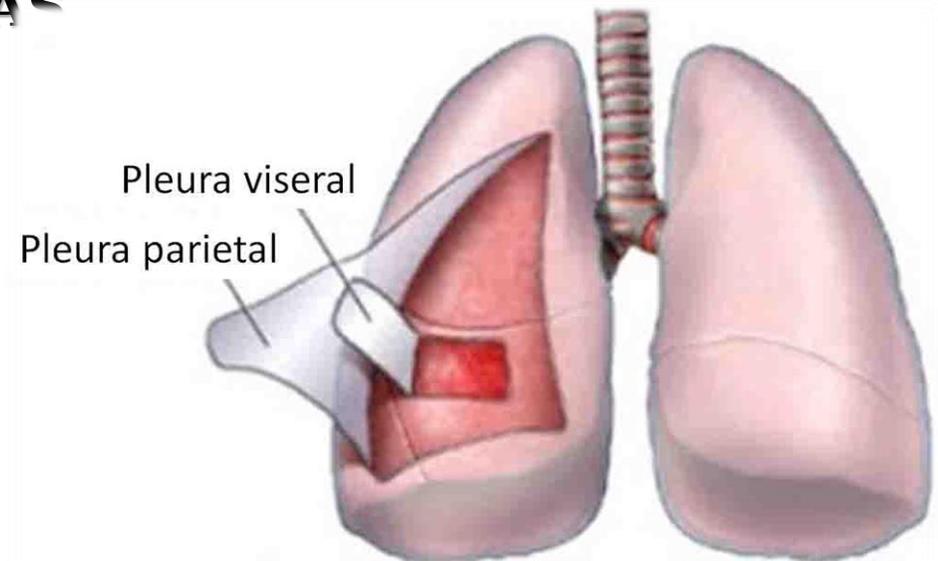
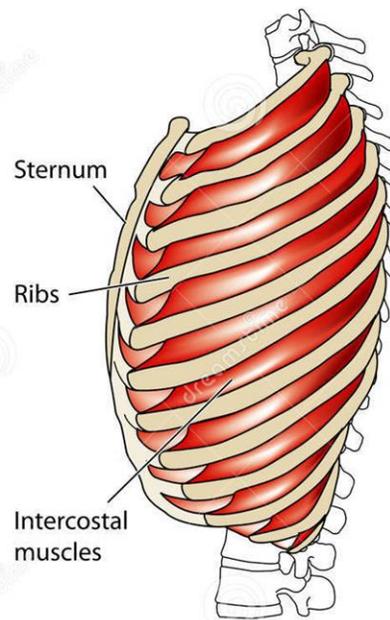
# UNIDAD TORAX - PULMÓN

- Unidad funcional acoplada.

## CAJA TORÁCICA



## PLEURAS



EL LIQUIDO PLEURAL ES QUIEN UNE LAS DOS ESTRUCTURAS.  
(20ml)



- LAS PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA CAJA TORÁCICA PROVOCAN QUE ÉSTA TIENDA A EXPANDIRSE AUN CUANDO EL VOLUMEN ES MÁXIMO. SIN EMBARGO, EL PULMON AÚN CON VOLUMENES MÍNIMOS, TIENDE A COLAPSARSE.
- A MEDIDA QUE AUMENTA EL VOLUMEN PULMONAR, TAMBIÉN LO HACE EL VOLUMEN DE LA CAJA TORÁCICA, Y AMBOS SE EXPANDEN, PERO LAS FUERZAS ELÁSTICAS SON OPUESTAS.
- ENTONCES, SI HACEMOS UNA INCISIÓN A LO LARGO DE UN MUSCULO INTERCOSTAL, EL PULMON SE COLAPSA HASTA LLEGAR A VOLUMENES MENORES QUE UNA ESPIRACIÓN FORZADA. EL TÓRAX, POR LO CONTRARIO, TIENDE A EXPANDIRSE HASTA LLEGAR AL 75% DE SU VOLUMEN MÁXIMO.



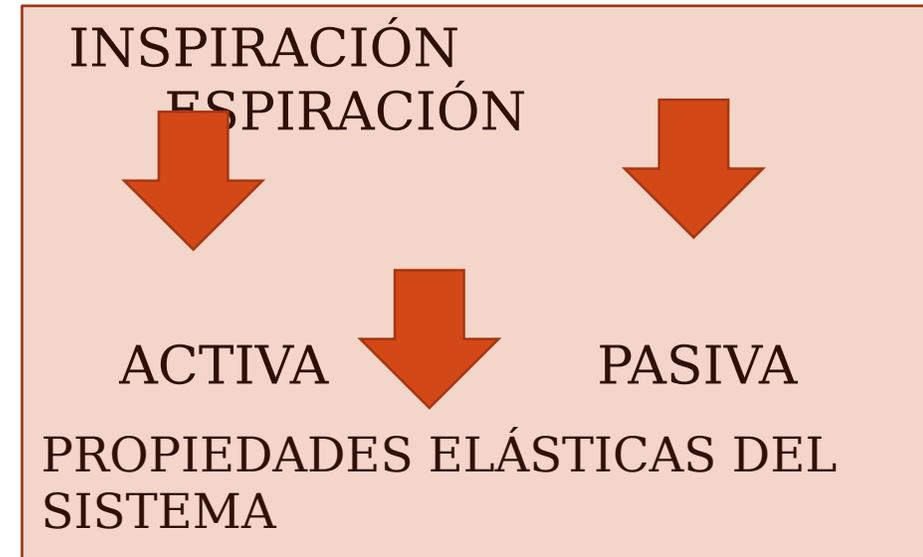
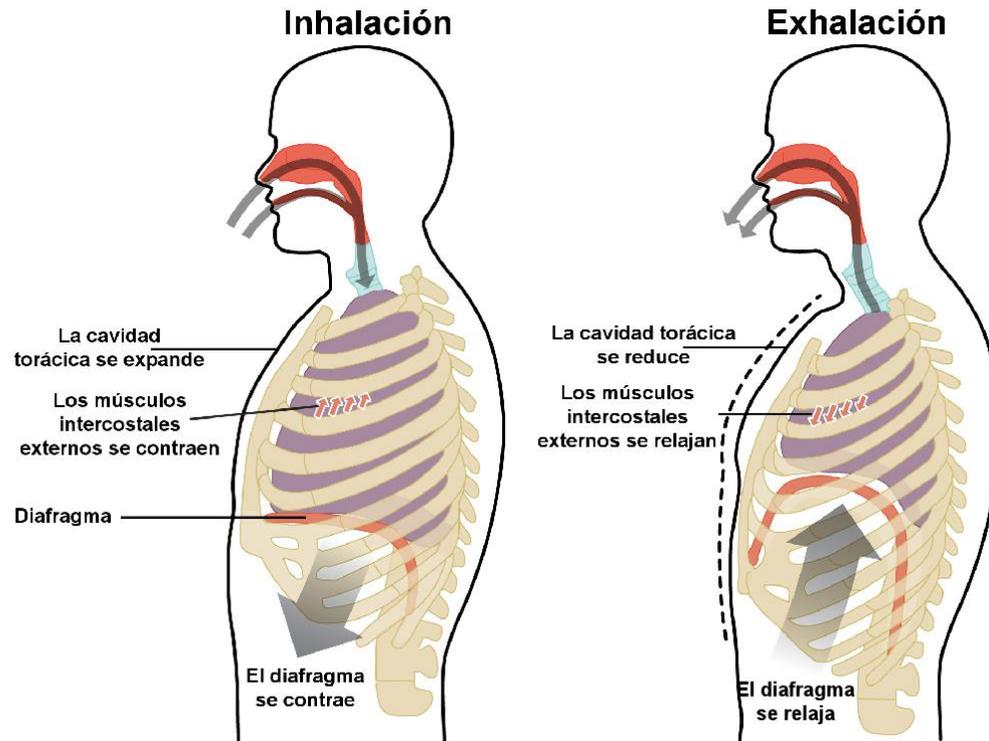
- EL EQUILIBRIO ENTRE LAS FUERZAS OPUESTAS GENERADAS POR LAS PROPIEDAD ELÁSTICAS DEL PULMON Y DE LA CAJA TORÁCICA, SE LOGRA A FINAL DE LA ESPIRACIÓN NORMAL.
- LA TENDENCIA DEL PULMÓN A RETRAERSE ES BALANCEADA PERFECTAMENTE POR LA TENDENCIA DEL TORAX A EXPANDIRSE.

ENTONCES, PARA CAMBIAR ESTA SITUACIÓN DE EQUILIBRIO Y VOLVER A AUMENTAR O DISMUNUIR EL VOLUMEN...



# MUSCULOS DE LA VENTILACIÓN

- MÚSCULOS DE LA RESPIRACIÓN → Principal y Accesorios

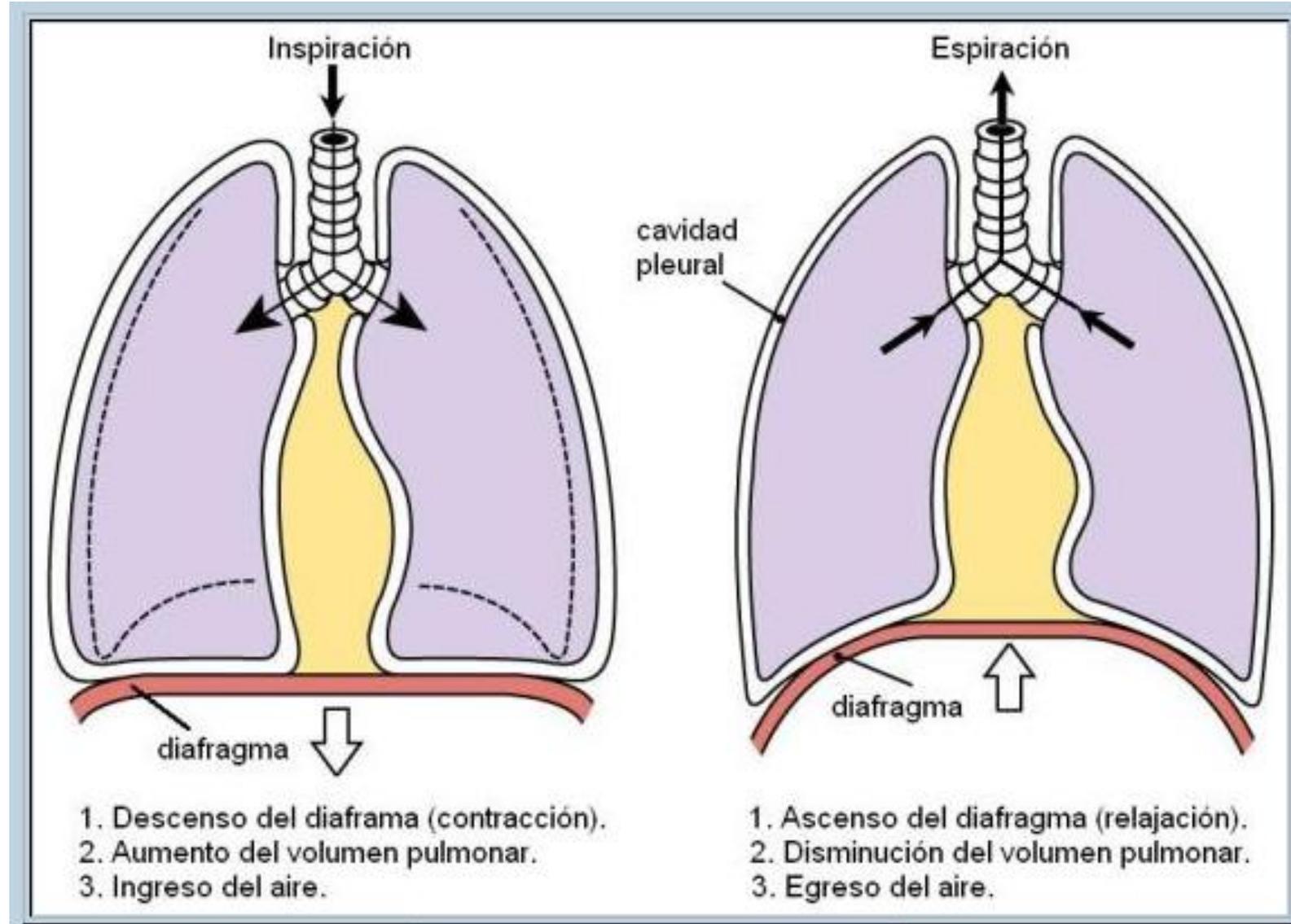


EL PULMON ARRASTRA EL SECTOR CENTRAL DEL DIAFRAGMA.

Proporcionan la fuerza necesaria para mover la pared torácica y superar las resistencias de la VA.



# MECÁNICA VENTILATORIA



- EL DIAFRAGMA TIENE UNA SUPERFICIE TOTAL DE 250CM<sup>2</sup>, POR ENDE CAMBIOS PEQUEÑOS DE SU ESTRUCTURA, GENERAN GRANDES CAMBIOS DE VOLUMEN
- EJEMPLO: UN DESCENSO PROMEDIO DEL DIAFRAGMA DE 2cm, AUMENTA EL VOLUMEN PULMONAR 500ml aproximadamente.



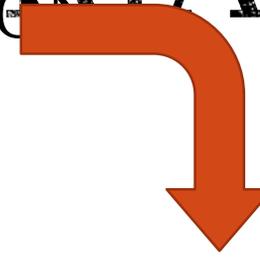
# MECÁNICA

# VENTILATORIA

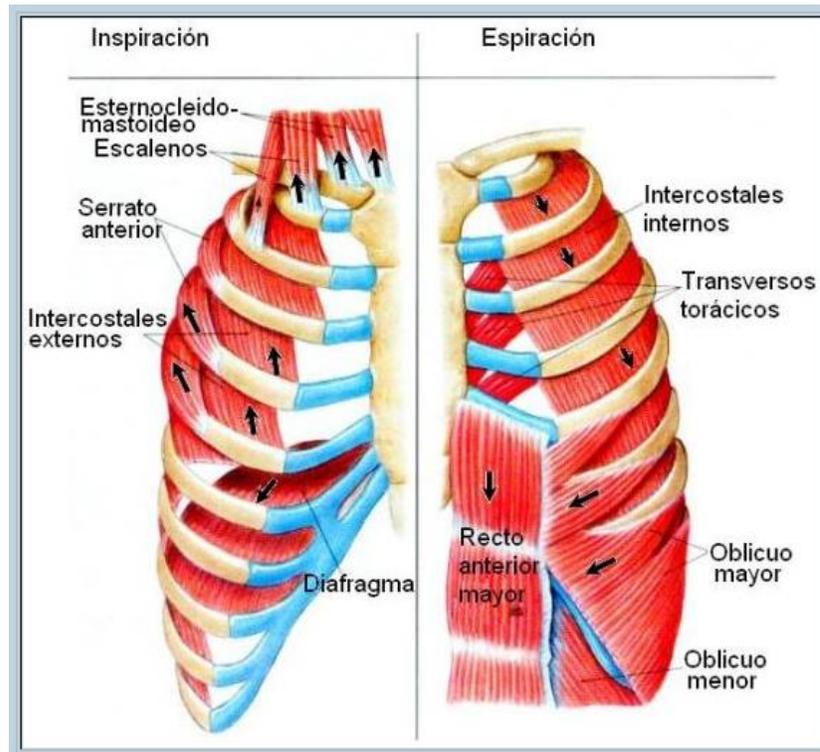
## ■ MUSCULOS DE LA ESPIRACIÓN



AUMENTO DE LA Pia



- Utilizados durante el ejercicio
- Maniobras forzadas
- Patologías respiratorias



# PROPIEDADES ESTÁTICAS DEL PULMÓN



# PRESIÓN PLEURAL , ALVEOLAR Y TRANSPULMONAR

- La ventilación pulmonar es resultado de las fuerzas ejercidas por los músculos respiratorios actuando sobre estructuras elásticas como el pulmón y el torax, cambios en el volumen y flujo aéreo.
- La tendencia elástica del pulmón lo lleva a retraerse, y la del tórax a expandirse, es decir que ambas estructuras tienden a separarse. Esto tiene como resultado una presión negativa en el espacio pleural. También se le denomina presión intratorácica.
- La presión alveolar, es aquella que existe al final de la vía aérea, en los alvéolos. Cuando no existe flujo aéreo por el sistema, la presión alv es igual a la atmosférica (barométrica). Durante la inspiración o espiración se crea un gradiente de presión entre  $P_{alv}$  y  $P_{pl}$
- A este gradiente se le llama PRESIÓN TRANSPULMONAR. ( Dif entre el int y ext del pulmón)
- $P_{tp} = P_{alv} - P_{pl}$



# DISTENSIBILIDAD PULMONAR

- La retracción del pulmón es contrarrestada por la presión transpulmonar, cuanto mas aumenta el volumen pulmonar, mayor será la tendencia al colapso, por ende, mayor será la Ptp necesaria para oponerse a la retracción y mantener un volumen X.
- ES EL CAMBIO DE VOLUMEN POR UNIDAD DE PRESIÓN
- CUANTO MAS RÍGIDO ES EL PULMÓN, MENOR ES LA DISTENSIBILIDAD.
- ESTA PROPIEDAD SE ALTERA (DISMINUYE) EN ENFERMEDADES DONDE EL TEJIDO ELÁSTICO DE COLÁGENO, SE SUSTITUYE POR TEJIDO FIBROSO, O CUANDO EXISTE LÍQUIDO ENTRE LOS ALVÉOLOS.
- EN OTRAS, COMO EL ENFISEMA PULMONAR, LA DISTENSIBILIDAD AUMENTA A VALORES POCO EFECTIVOS. EL ENFISEMA EVITA LA EXPANSIÓN DE OTRAS UNIDADES ALVEOLARES.



# RESISTENCIAS PULMONARES

RESISTENCIAS ESTATICAS (ELASTICIDAD): Dependen de la distensibilidad pulmonar, es decir de la elasticidad y tensión superficial.

RESISTENCIAS DINAMICAS (aéreas): Dependen del diámetro de las vías aéreas y del flujo de aire, tomar relevancia en las enfermedades bronquiales obstructivas



# ELASTICIDAD PULMONAR

- DOS FACTORES SON LOS IMPLICADOS EN LA TENDENCIA DEL PULMON A RETRAERSE.
- 1- COMPENENTE ELÁSTICO DEL PULMÓN - FIBRAS ELÁSTICAS
- 2- TENSIÓN SUPERFICIAL



# Tensión superficial (TS)

***Definición: fuerza que actúa a través de una línea imaginaria de 1cm de longitud en la superficie líquida:***

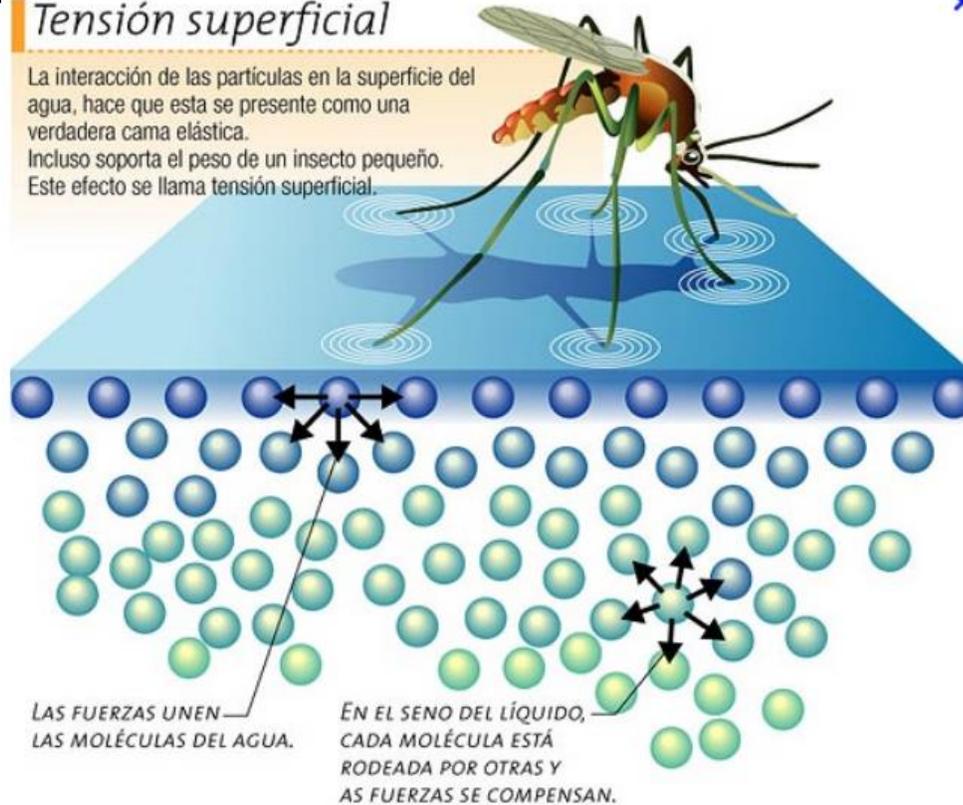
La TS genera presión en un burbuja de jabón y sigue la ley de Laplace



# TENSIÓN SUPERFICIAL

## Tensión superficial

La interacción de las partículas en la superficie del agua, hace que esta se presente como una verdadera cama elástica. Incluso soporta el peso de un insecto pequeño. Este efecto se llama tensión superficial.



$$P = \frac{2TS}{r}$$



Cuanto mayor es la TS del líquido que contiene la burbuja, mayor es la presión que debe oponerse para mantener el volumen determinado.

La presión necesaria para contrarrestar el efecto de la TS y mantener un volumen determinado, es mayor cuanto mas pequeña es la burbuja.



**ELASTICIDAD:** Capacidad de un tejido u otro material de expandirse producto de una fuerza aplicada y de volver a su forma original sin alterar su estructura o romperse.

El aire atmosférico es un mezcla de gases, por ende la presión total es la suma de las presiones parciales de cada gas.

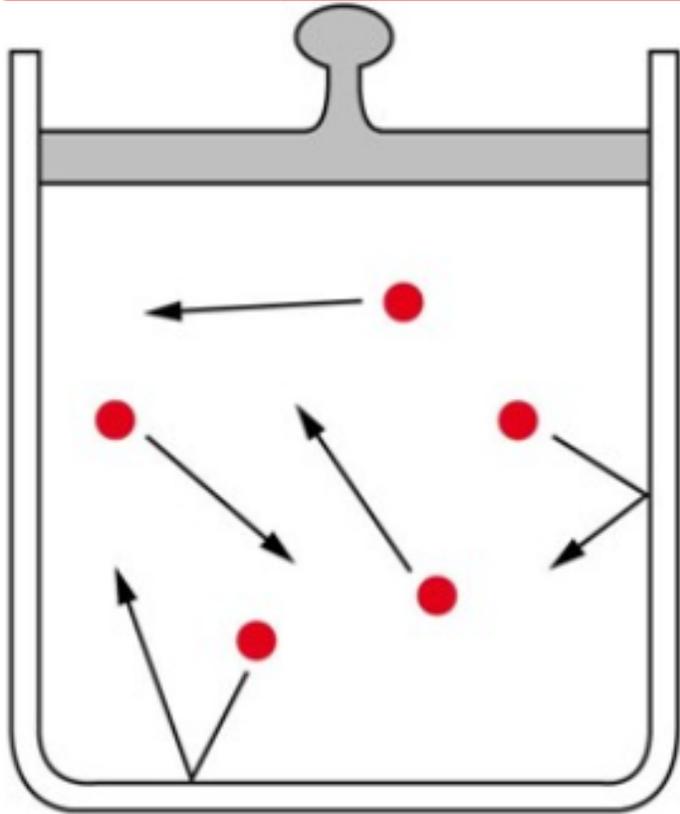
El aire o los gases en cuestión por si mismos, se mueven a favor del gradiente de presiones de un lugar a otro.

La presión que ejerce un gas es inversamente proporcional al volumen que ocupa

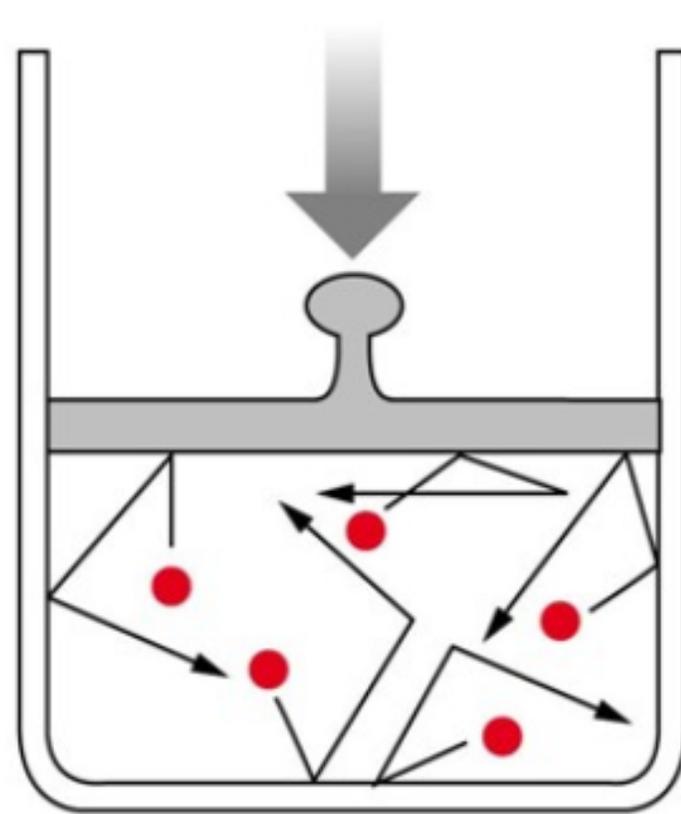
$$P1 * V1 = P2 * V2$$



# Ley de Boyle



$V_1 = 1.0\text{ L}$   
 $P_1 = 100\text{ mm Hg}$

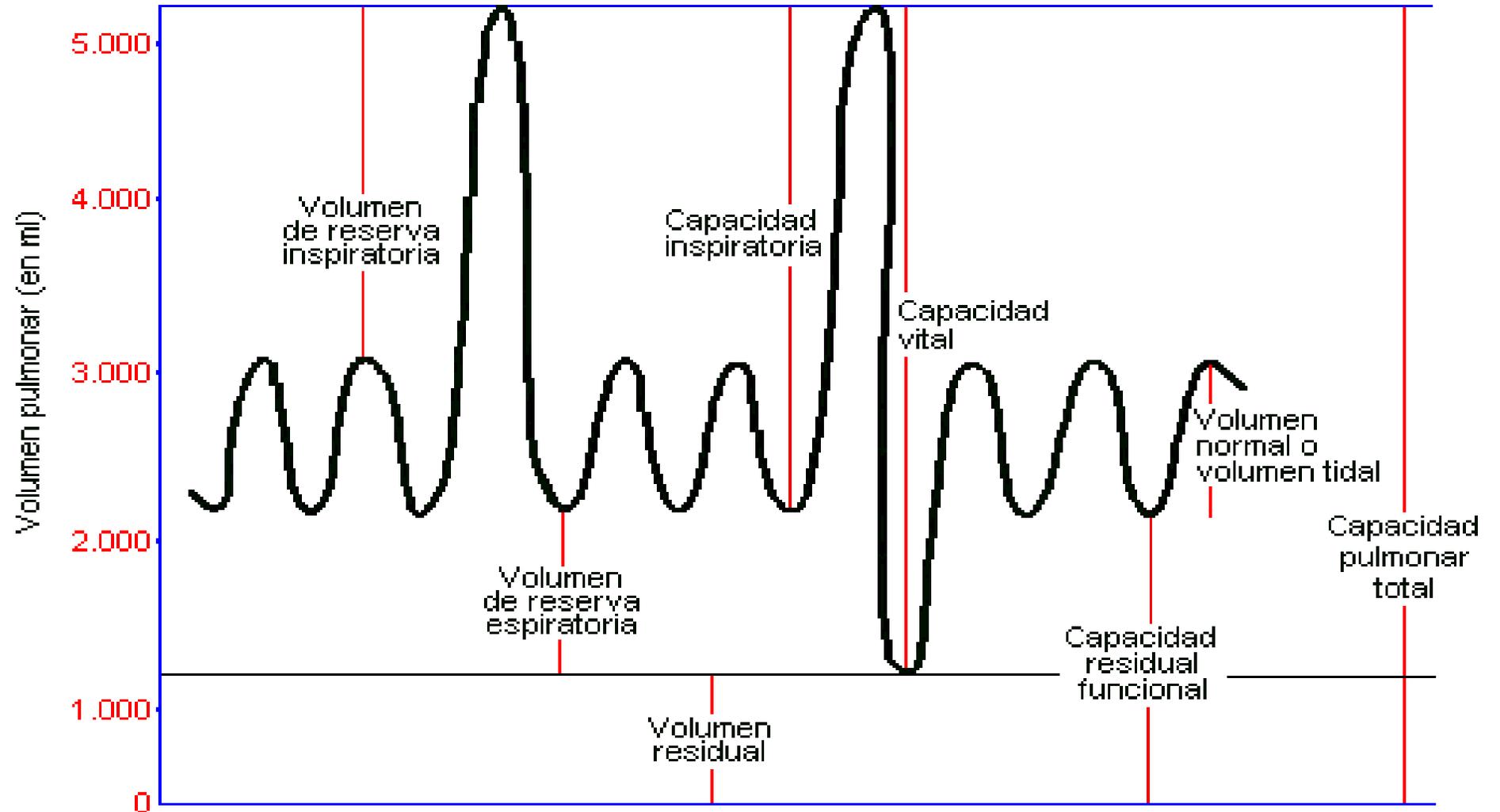


$V_2 = 0.5\text{ L}$   
 $P_2 = 200\text{ mm Hg}$



# VOLUMENES Y CAPACIDADES

## DETT MONTAÑES



# PROPORCIÓN DE GASES EN EL AIRE ATMOSFÉRICO



## MEZCLA DE GASES

Fracción de cada Gas

79% N<sub>2</sub>

21% O<sub>2</sub>

## PRESIÓN PARCIAL DE N<sub>2</sub> Y O<sub>2</sub>

760mmHg a nivel del mar

$PO_2 = 760\text{mmHg} \times FiO_2$ .



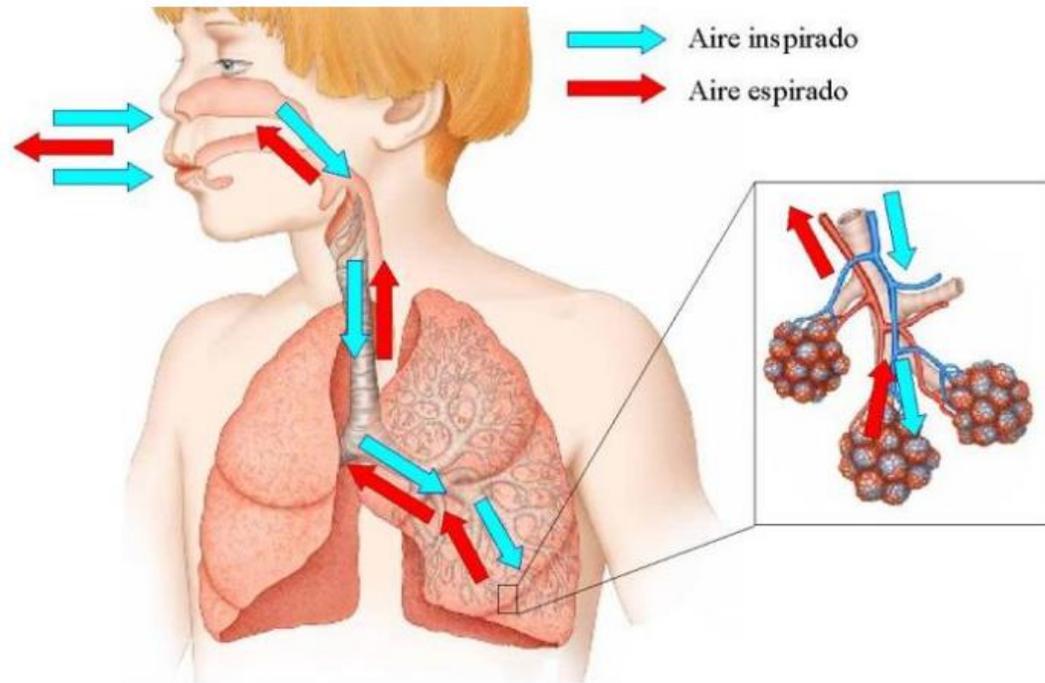
8.848m (1999)

Patm: 250mmHg Aprox

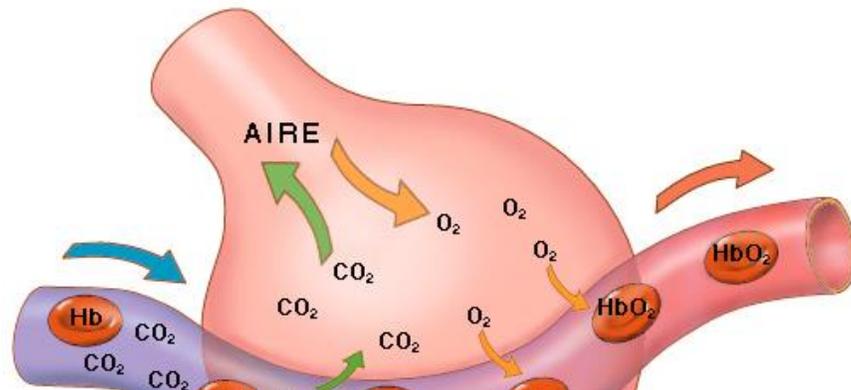
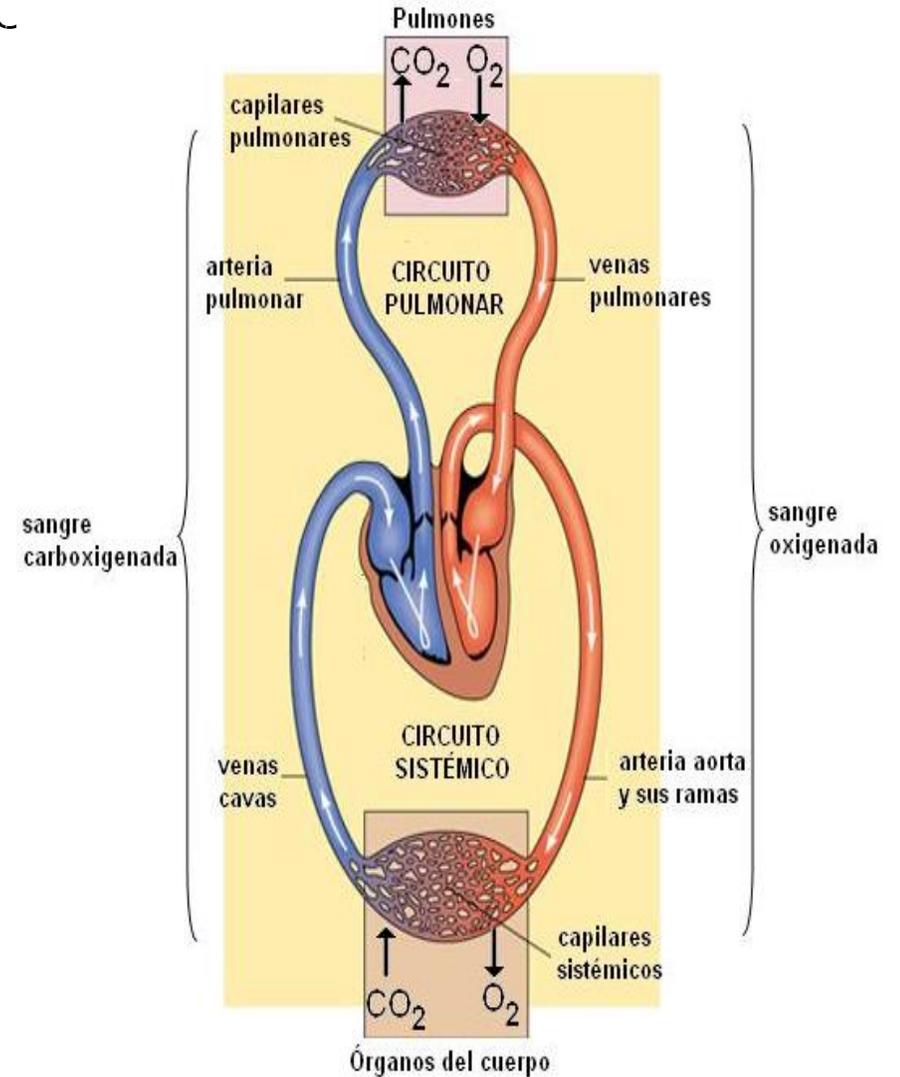
## PO<sub>2</sub>?



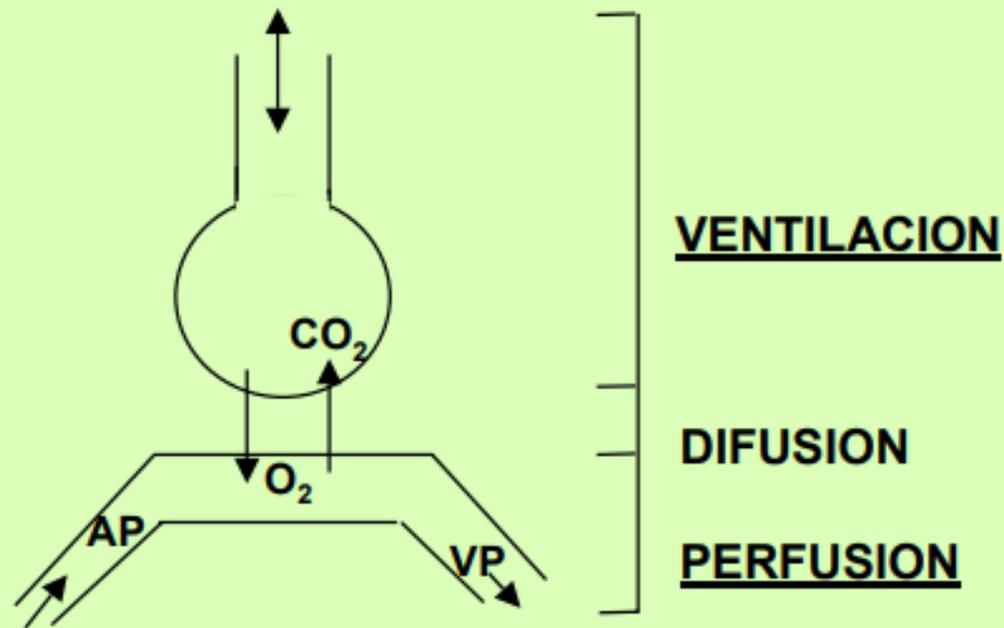
# INTERCAMBIO DE GASES



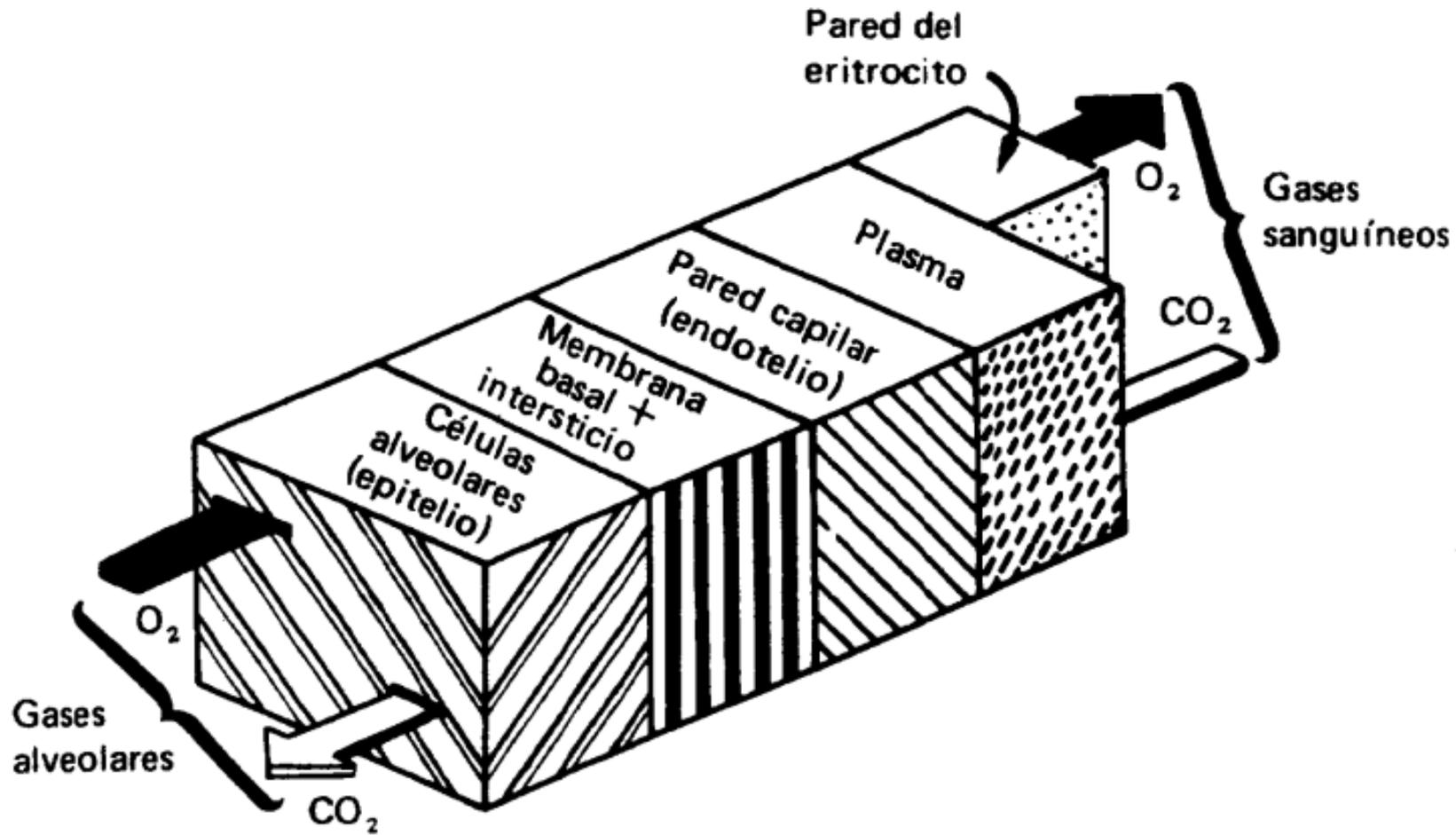
LC CARIBIAD



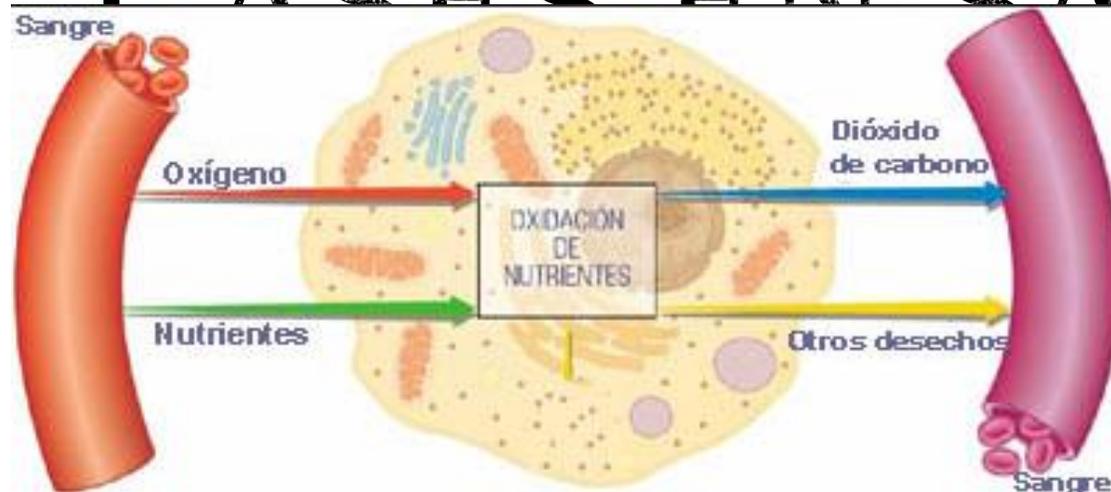
# Relación ventilación - perfusión (V/Q)



# Esquema de la membrana alvéolo - capilar



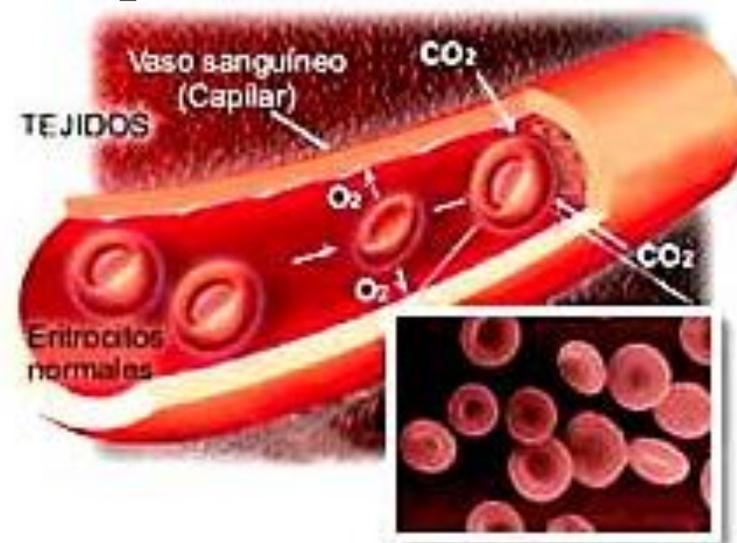
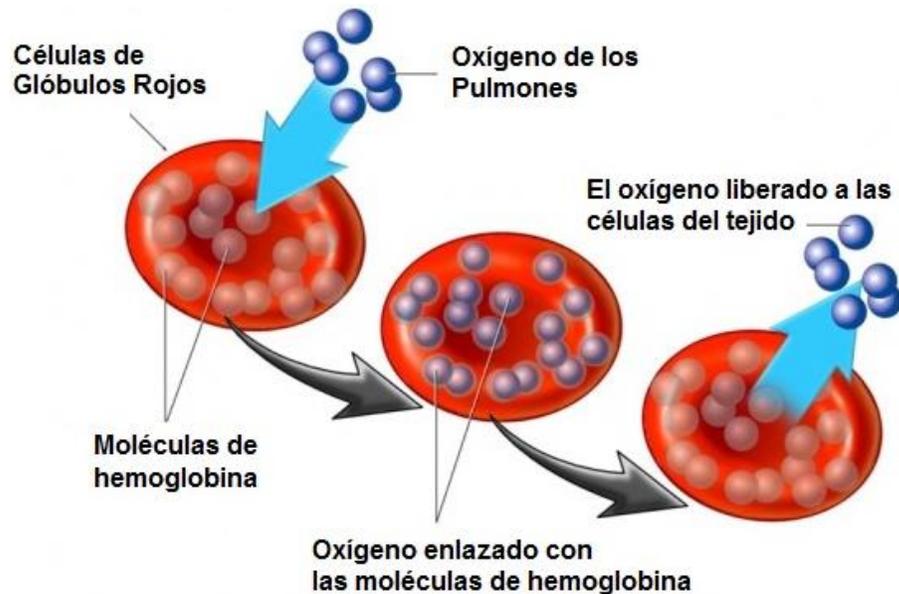
# TRANSPORTE DE CASES EN SANGRE



Transporte de O<sub>2</sub>



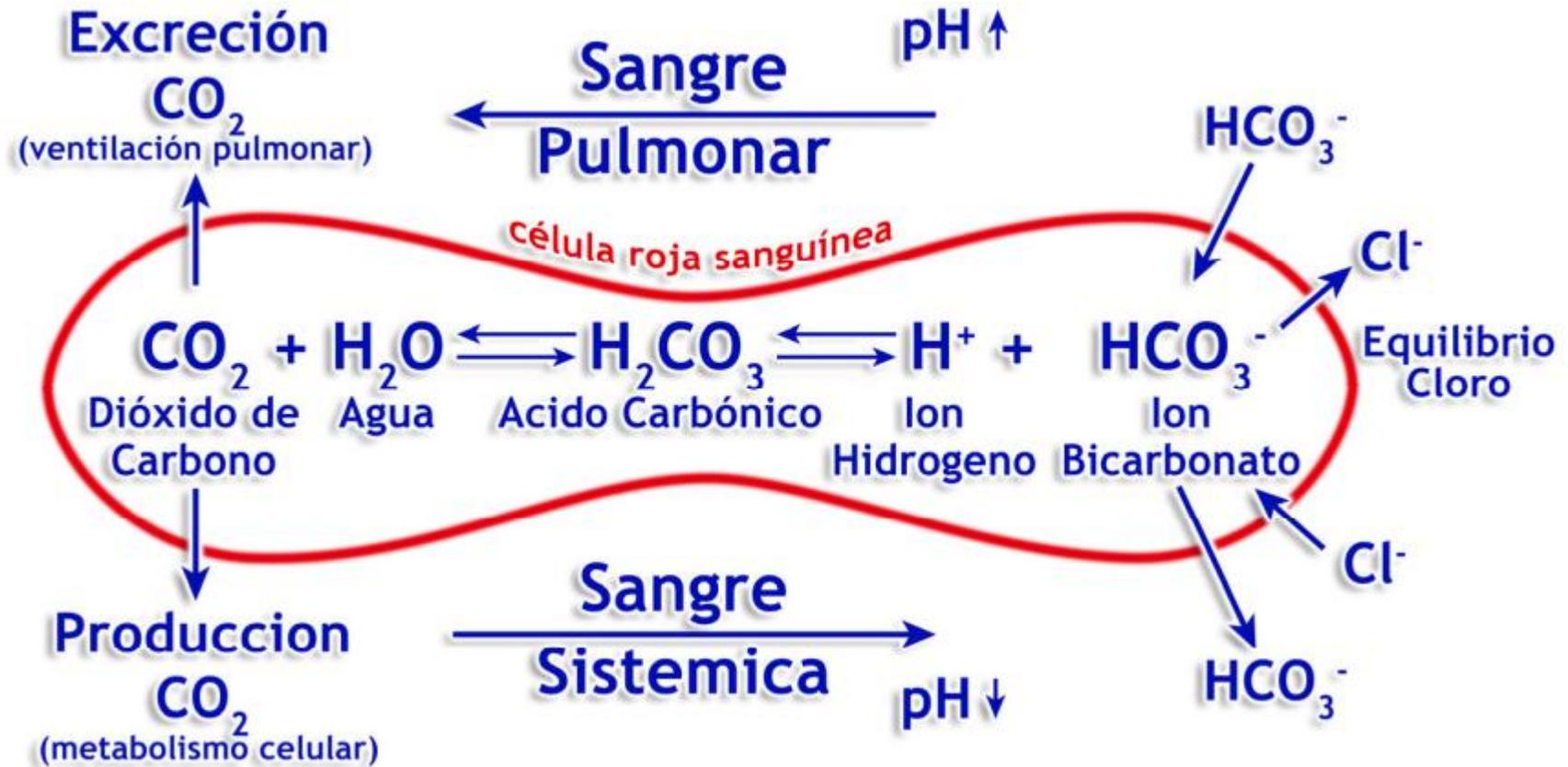
98% Unido a la Hb  
2% Disuelto en  
plasma



- El 97% del O<sub>2</sub> es transportado por la hemoglobina formando la Oxihemoglobina
- La hemoglobina tiene 4 átomos de hierro a los cuales se les une a cada uno una molécula de O<sub>2</sub>. Esta unión es reversible y competitiva.
- El 3% restante se transporta disuelto en plasma.
- La Hb es 200 veces más afín por el CO que por el O<sub>2</sub>.
- La presencia de CO en el medio, satura la Hb de CO y se forma la Carboxihemoglobina.

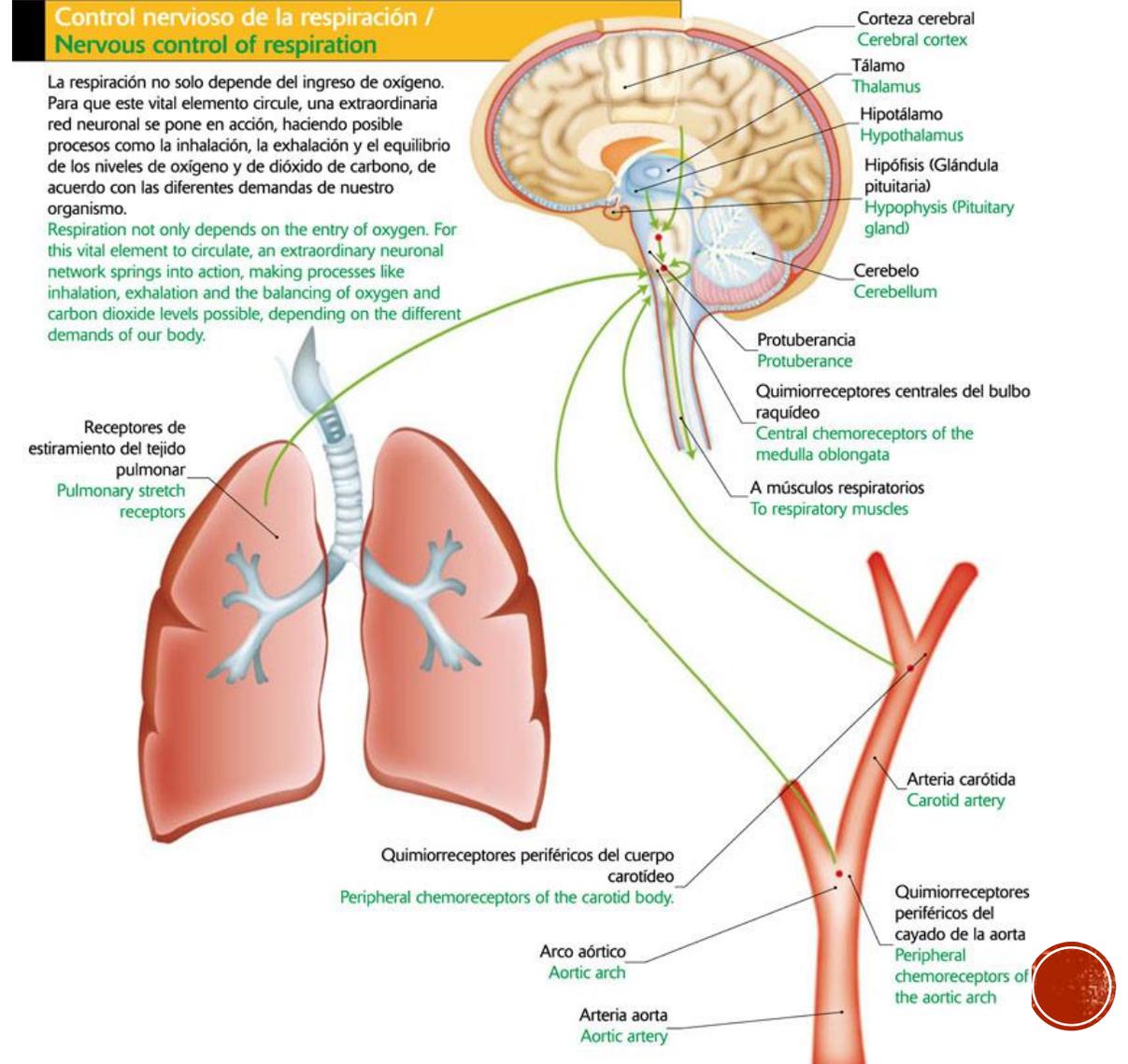


# BUFFER - AMORTIGUACIÓN DEL PH



# CONTROL DE LA RESPIRACIÓN

- CENTROS SUPERIORES DE LA RESPIRACIÓN EN EL ENCÉFALO
- QUIMIORECEPTORES



# CONTROL DE LA RESPIRACION

- EL PATRON DE LA RESPIRACION CAMBIA EN DISTINAS SITUACIONES:
- POR CAMBIOS EN: pH, temperatura, concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, ejercicio, emociones etc.

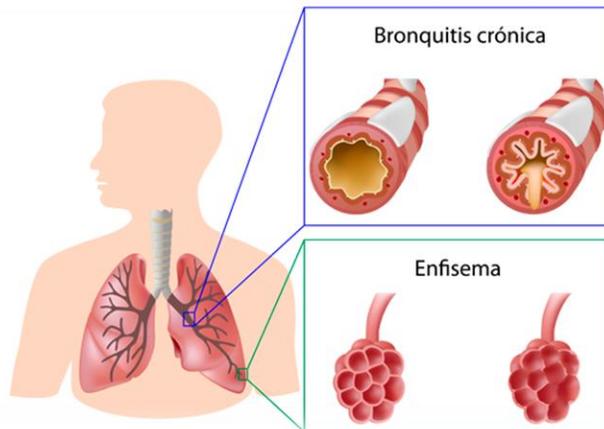


# ENFOQUE PATOLÓGICO:

- Ventilación
- Difusión A-C
- Transporte
- Difusión a los tejidos



Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

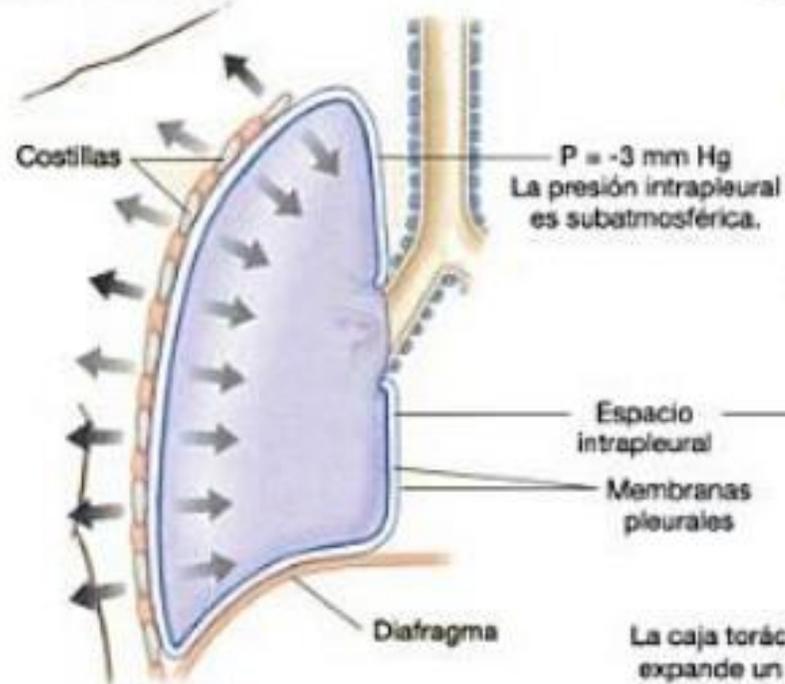


ESTRATEGIAS TERAPÉUTICAS BASADAS EN  
EL ENTENDIMIENTO DE LA FISIOLÓGIA  
RESPIRATORIA Y EL COMPORTAMIENTO DE  
LOS GASES



# NEUMOTORAX

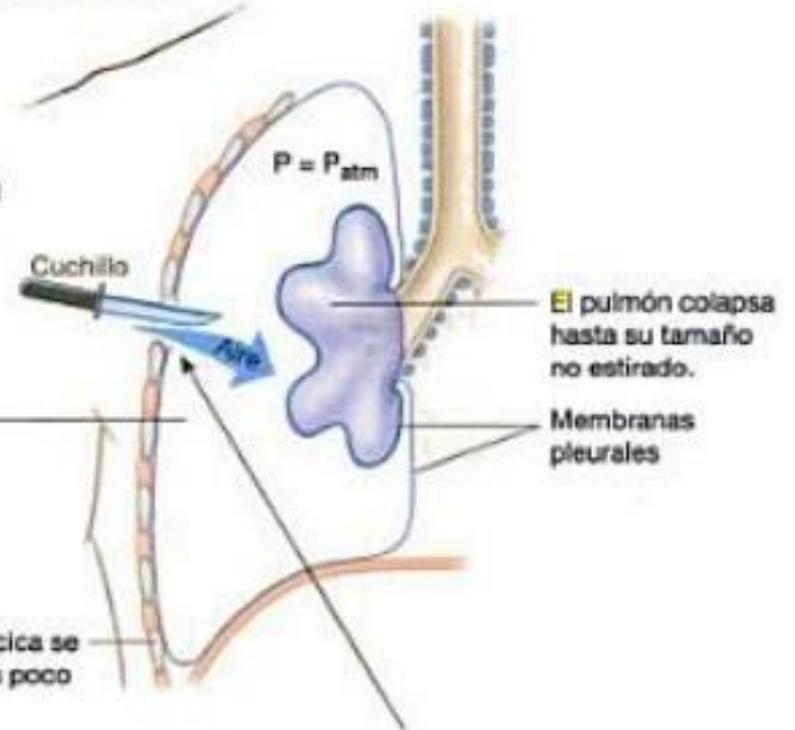
(a) Pulmón normal en reposo



El retracción elástica de la pared del tórax trata de tirar a la pared torácica hacia afuera.

El retracción elástica del pulmón genera un empuje hacia adentro.

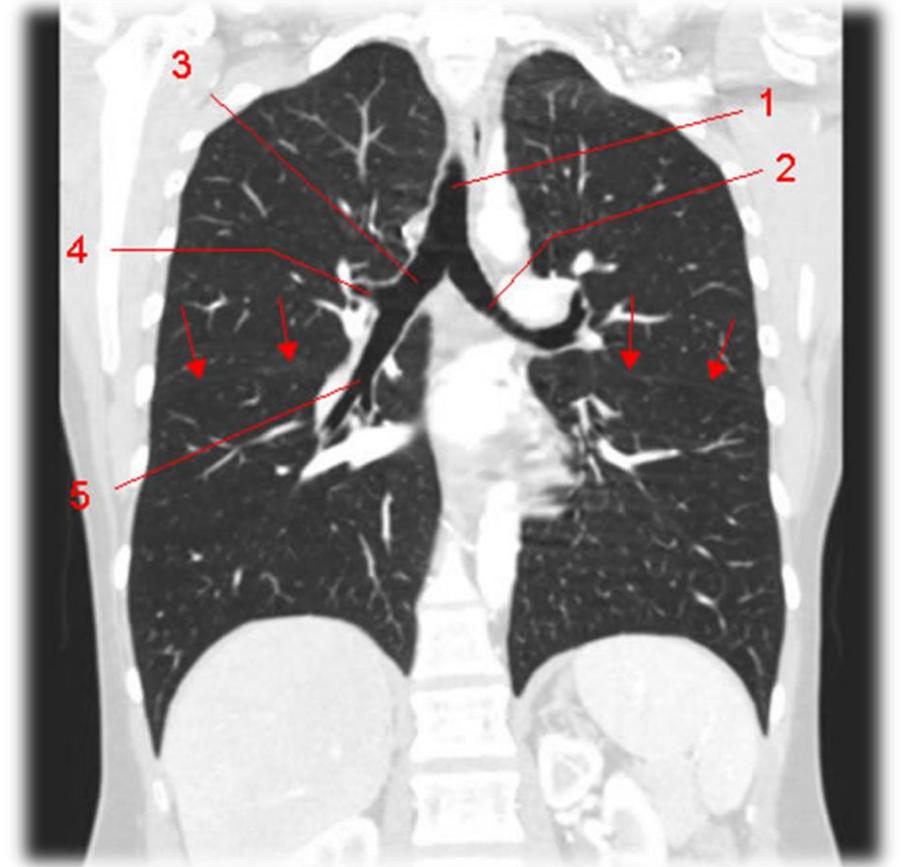
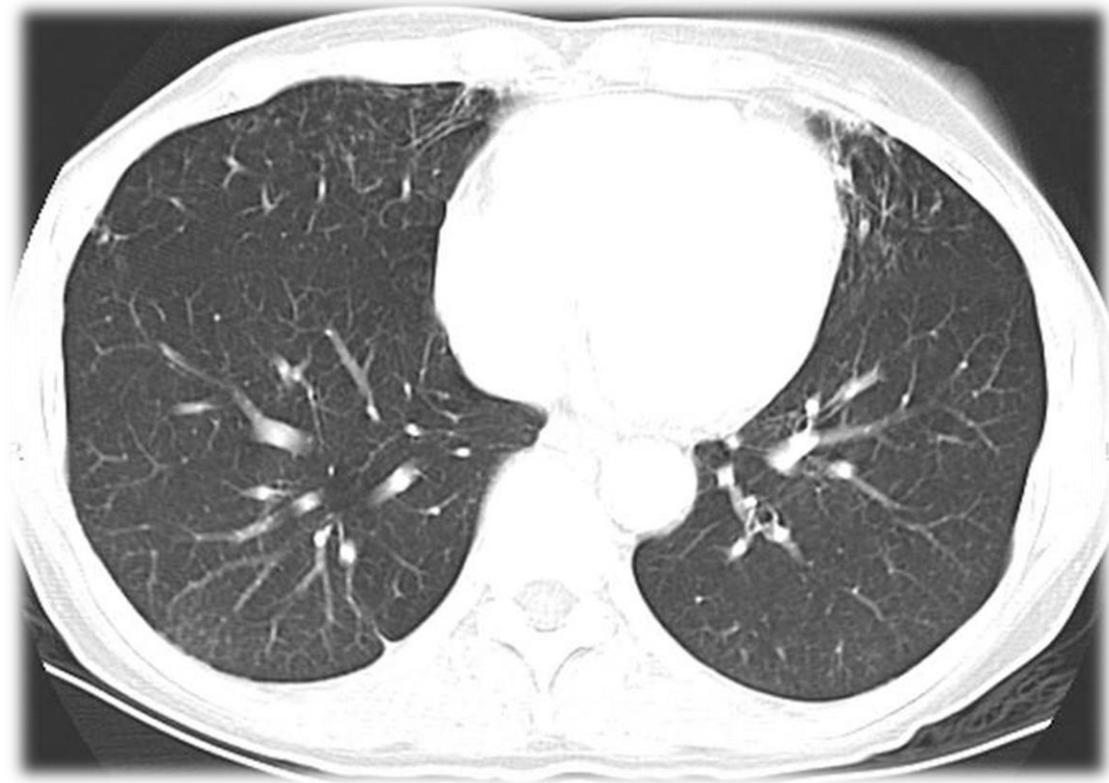
(b) Neumotórax



Si la cavidad pleural sellada se abre a la atmósfera, el aire fluye hacia su interior.



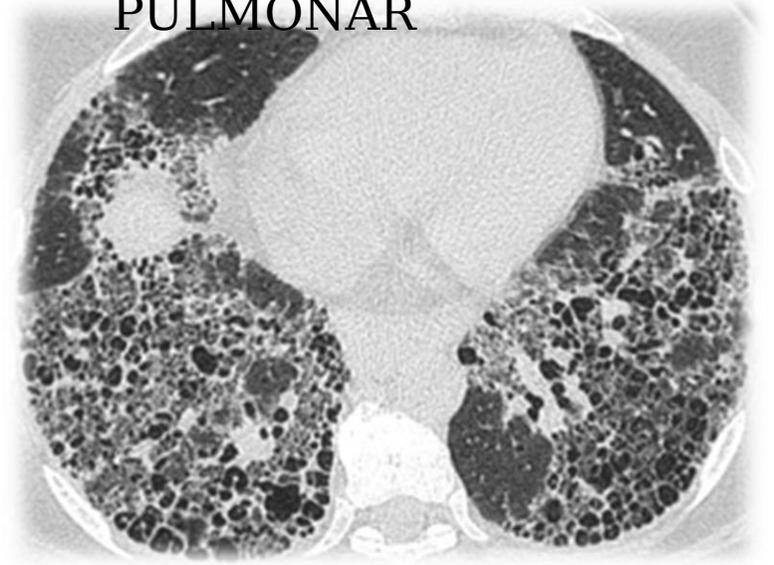
# TOMOGRAFIA COMPUTADA VENTANA PULMONAR



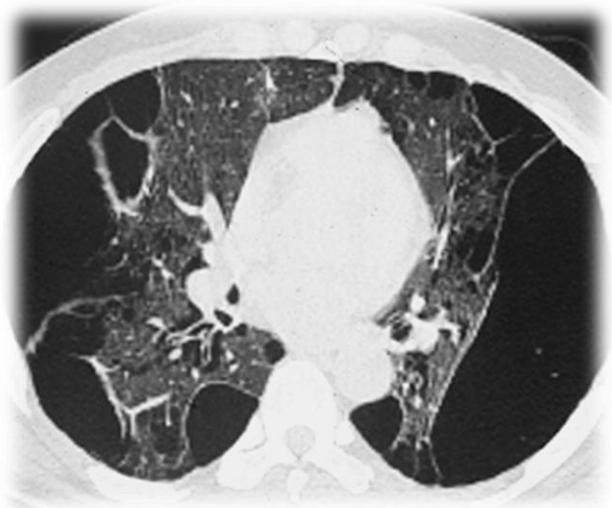
# TOMOGRAFÍA COMPUTADA VENTANA PULMONAR



FIBROSIS  
PULMONAR



EPOC- ENFISEMA



CARCINOMA  
PULMONAR



# BIBLIOGRAFÍA:

- Best y Taylor, Bases fisiológicas de la práctica médica.
- Houssay, Bernardo A. Fisiología Humana. 2000
- Guyton y Hall, Tratado de Fisiología Médica
- Bases de la fisiología para Ingeniería - Introducción a la ingeniería biomédica - Dr. Edmundo Cabrera Fischer.

