



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO.

FACULTAD DE MEDICINA.

LICENCIATURA DE MÉDICO CIRUJANO

- PROGRAMA EDUCATIVO: MÉDICO CIRUJANO
- UNIDAD DE APRENDIZAJE: FISIOLÓGÍA
- TERCER Y CUARTO SEMESTRE
- HORAS TEÓRICAS: 8
- HORAS PRÁCTICAS: 4
- CRÉDITOS QUE OTORGA: 20
- PROFESOR RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN: M. en I.C.
Héctor Lorenzo Ocaña Servín
- **Material que se presenta: Ventilación pulmonar**
- Fecha de elaboración: Agosto 2016

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Al final de la exposición el alumno será capaz de:
 - a) Describir el concepto de ventilación pulmonar y su importancia para el intercambio gaseoso.
 - b) Señalar en un esquema el cómo entra el aire al aparato respiratorio, las zonas por las que pasa y cómo se encuentra a nivel alveolar
 - c) Describir todos los elementos que participan en el movimiento del tórax
 - d) Correlacionar la ventilación con la insuficiencia respiratoria de tipo 2.

- 1) El Tema ventilación pulmonar corresponde a la unidad de competencia: Fisiología del Aparato respiratorio. Se dará en 2 horas y al final del tema:
- 2) Es necesario elaborar un esquema para relacionar la ventilación con la hipoventilación y cómo lleva ésta última a la insuficiencia respiratoria
- 3) Es necesario elaborar un esquema que señale la importancia de la ventilación pulmonar en el intercambio de gases.

Ventilación pulmonar

DR. HÉCTOR LORENZO OCAÑA
SERVÍN
NEUMÓLOGO Y FISIÓLOGO
PULMONAR.

¿CÓMO ESTUDIAR AL SISTEMA RESPIRATORIO?

A NIVEL CELULAR

A NIVEL TISULAR

A NIVEL MORFOLÓGICO

A NIVEL FUNCIONAL

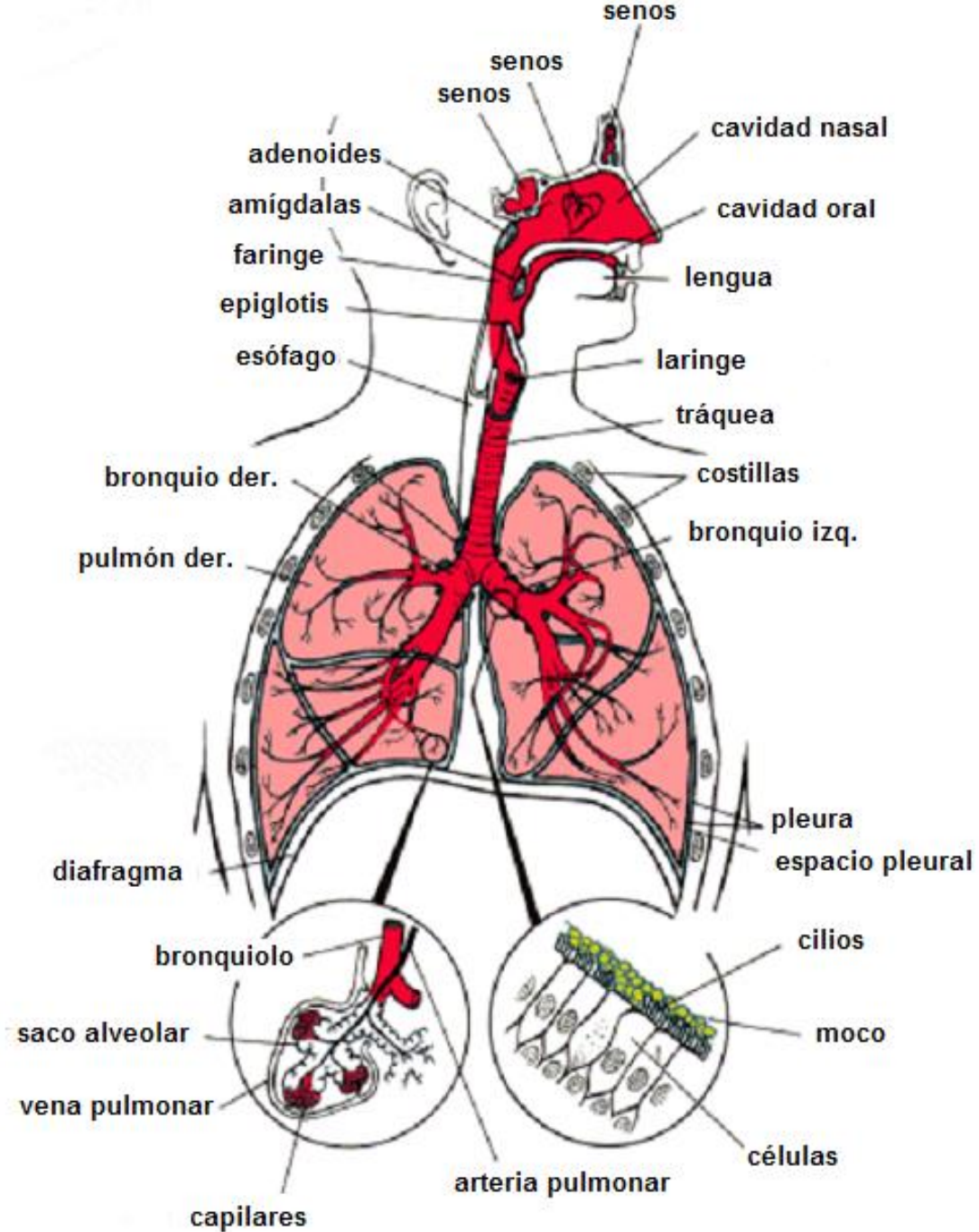
A NIVEL EMBRIOLÓGICO

SECUENCIA ANATÓMICA CEFALOCAUDAL,

ACORDE AL ORIGEN EMBRIONARIO

VIAS AEREAS SUPERIORES

VIAS AEREAS INFERIORES



Aparato Respiratorio Vías Aéreas



RESPIRATIO : Paso de aire de una habitación a otra

Respiración externa: Entrada y salida de aire de ambiente
A pulmones (VENTILACION)

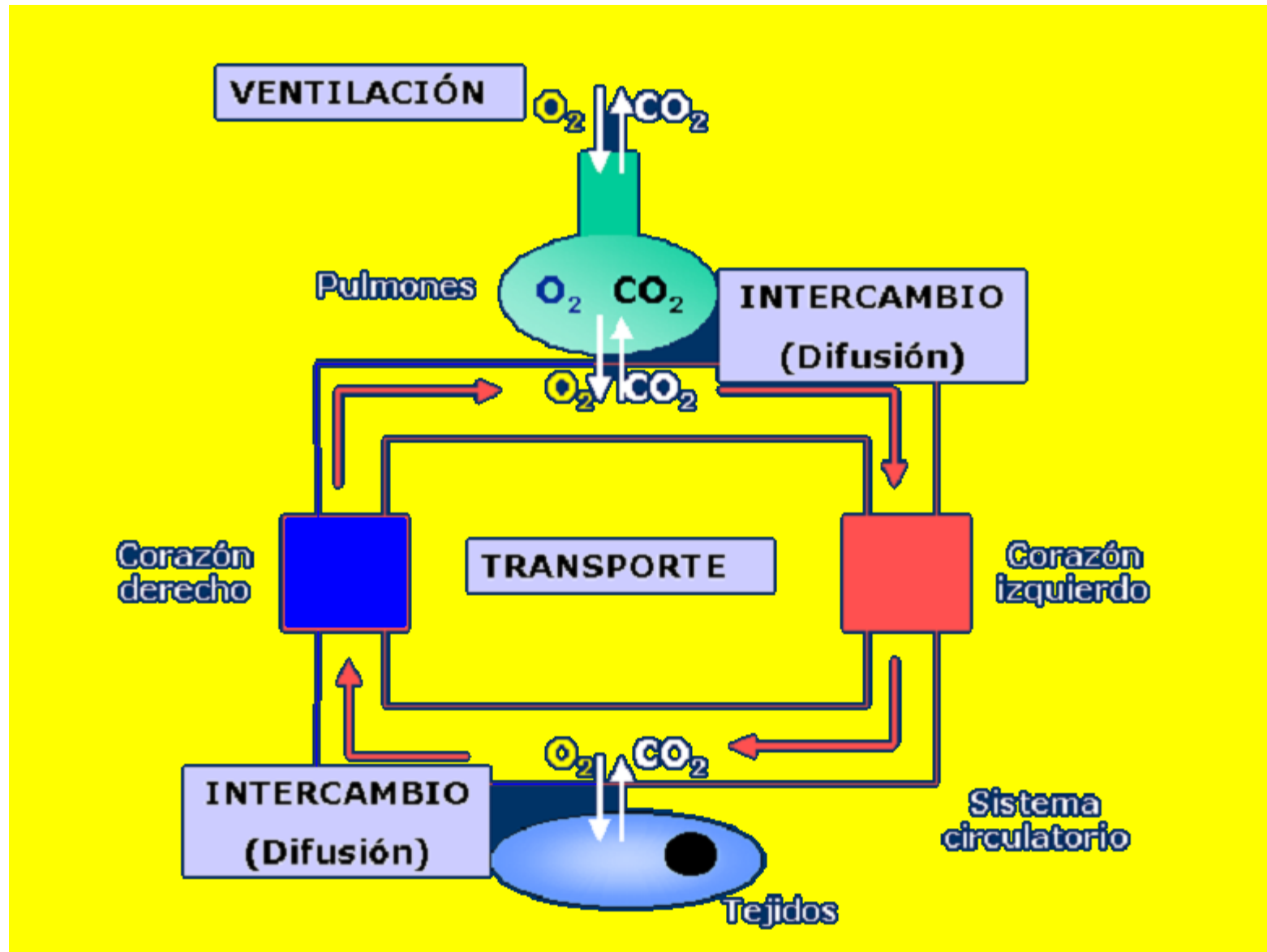
Respiración interna: Paso de oxígeno y CO₂ a través de
Membrana alveolo-capilar (DIFUSION)

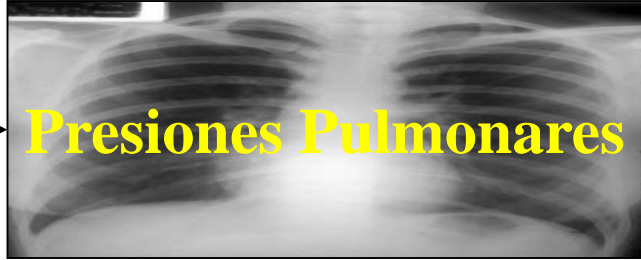
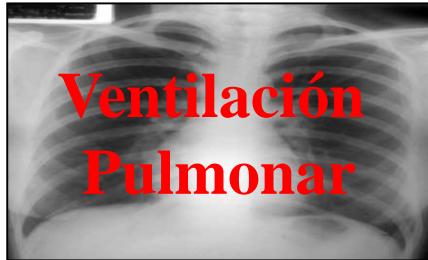
Respiración celular : anaerobia y aerobia
Sustrato (glucosa).....reacciones de óxido-reducción
Ultimo paso del aceptor de electrones (oxígeno) :
PRODUCTO : ATP

Funciones del aparato respiratorio

- Distribución del aire
- Intercambio de gases (O_2 y CO_2)
- Filtrar, calentar y humidificar el aire que respiramos
- Regulación del pH (reteniendo o eliminando CO_2)
- Regulación de la temperatura (por pérdida de agua)
- Conversión/producción de hormonas en el pulmón
- Producción del sonido (lenguaje oral)

Función Respiratoria





¿PORQUÉ Y CÓMO ENTRA EL AIRE “FRESCO”?

NARIZ : FILTRA, CALIENTA Y HUMEDECE

Filtrar: 3-6 millones de partículas /día

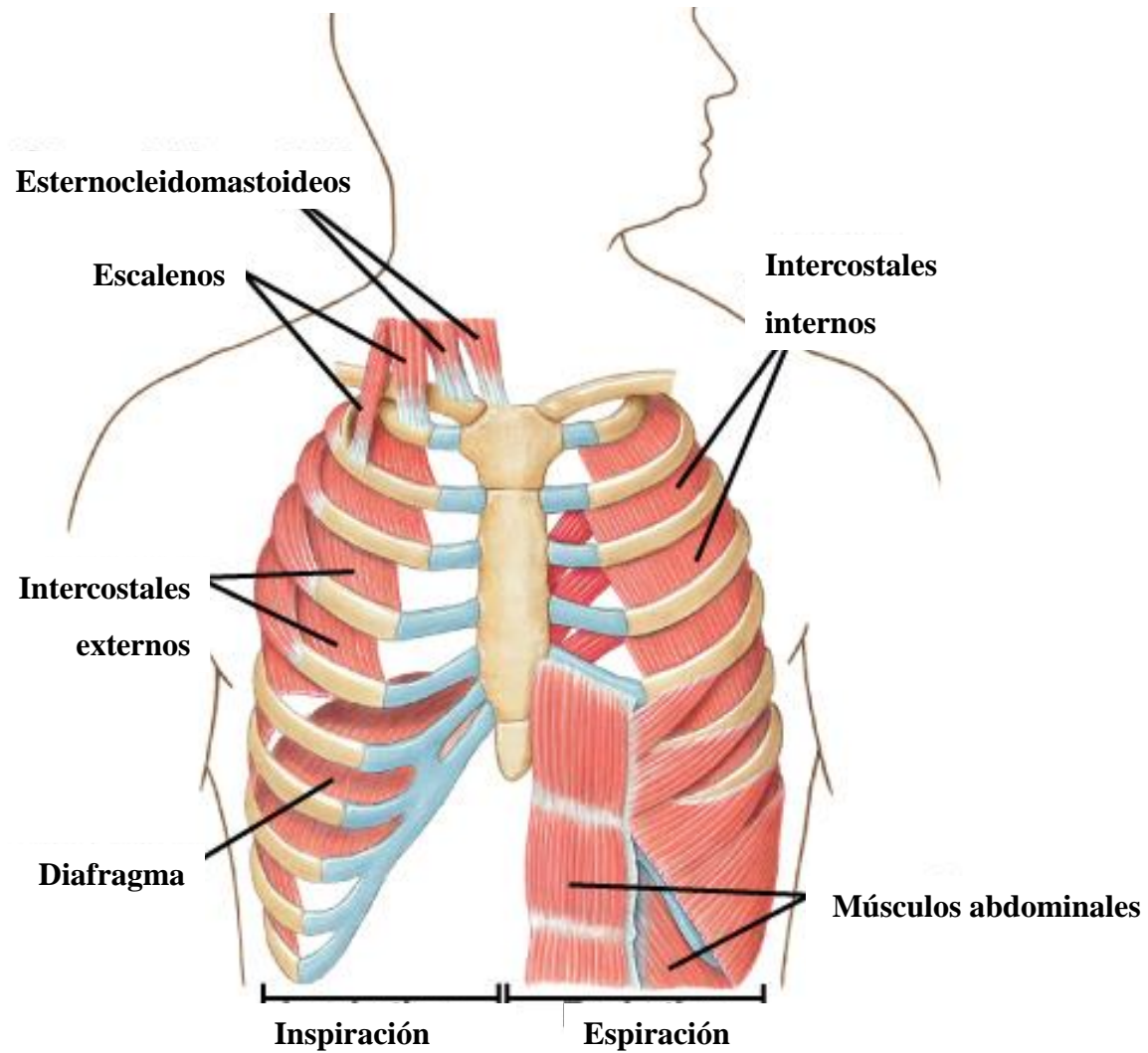
Calienta: 24-32 oC (nasofaringe)
32- 33 oC (laringe)
36-37oC (tráquea)

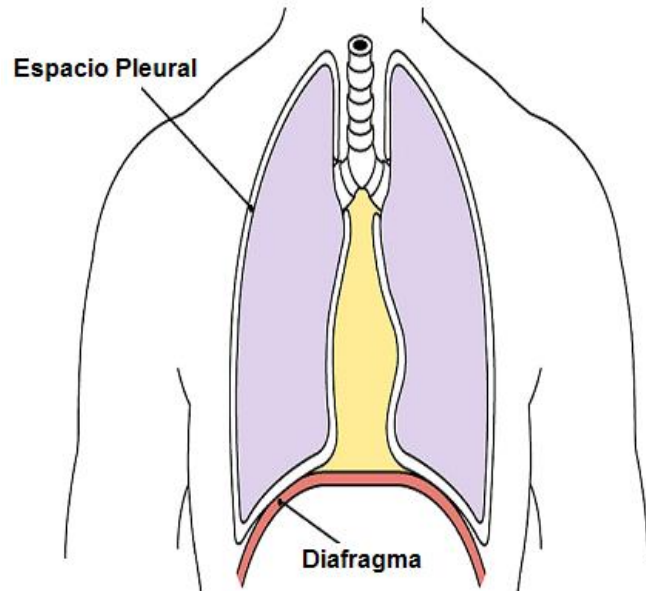
Humedece: mete vapor de H₂O
(a 100% de humedad = 47 mm de Hg
De presión de vapor de agua)

MÚSCULOS DE LA VENTILACIÓN

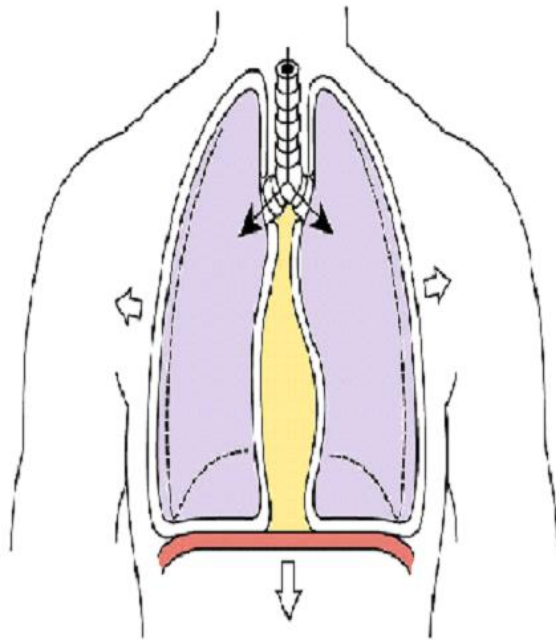
Inspiración: Diafragma
Intercostales externos
Esternocleidomastoideo
Escaleno

Espiración: Diafragma
Intercostales internos
Abdominales

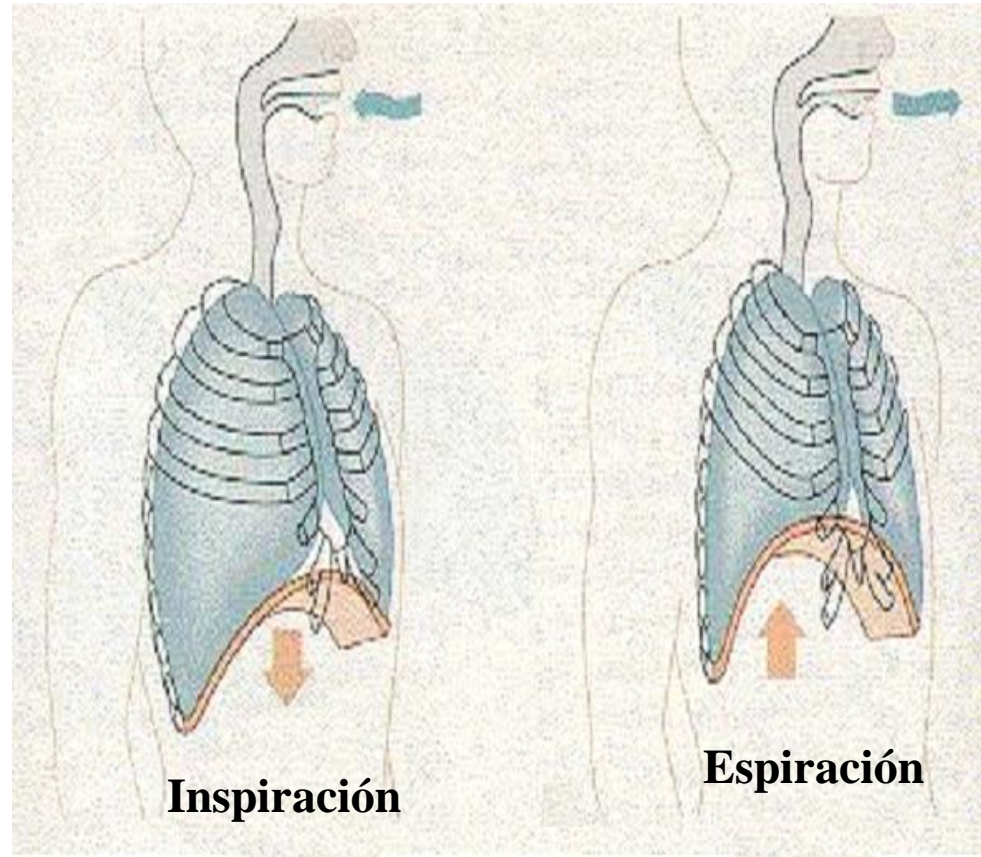




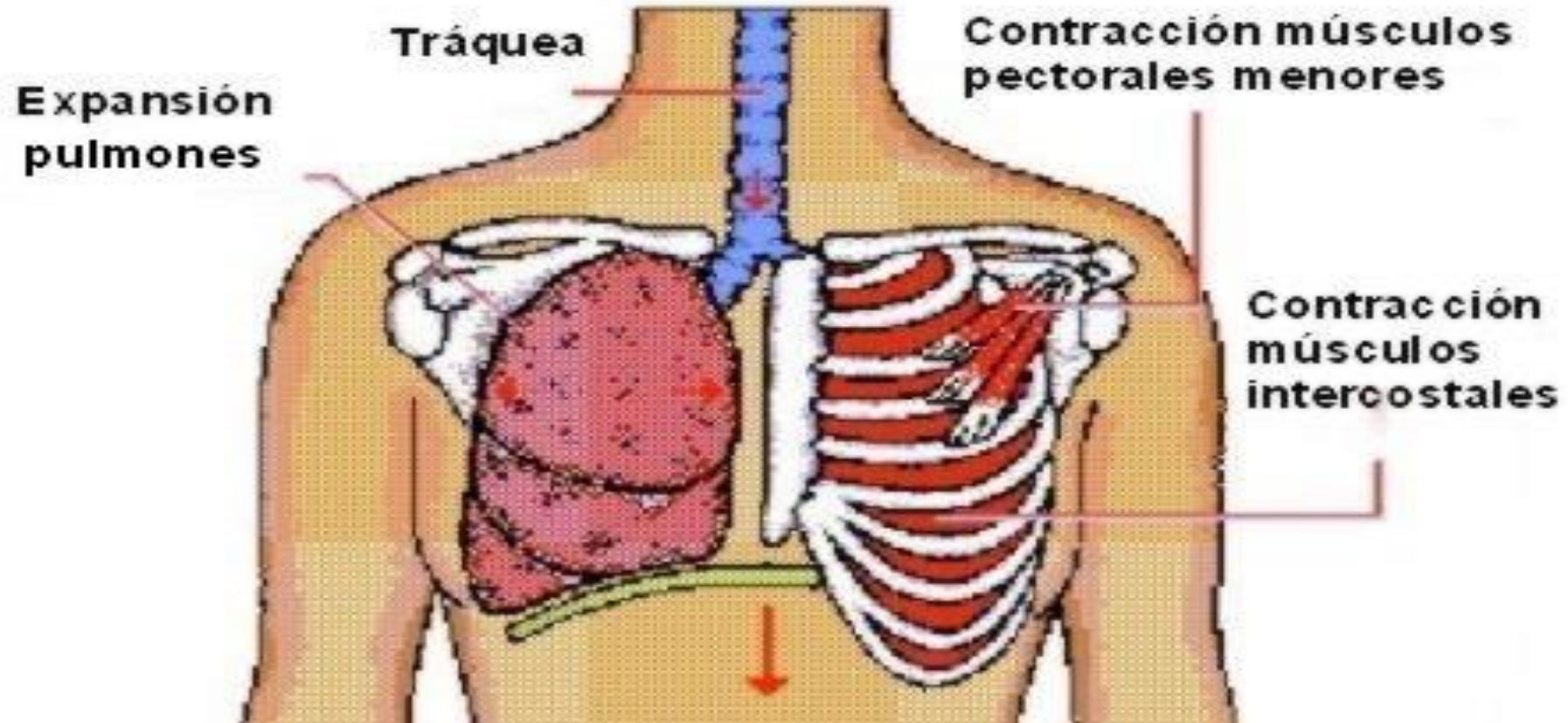
En reposo el diafragma está relajado



Se contrae el diafragma y se incrementa el volumen torácico



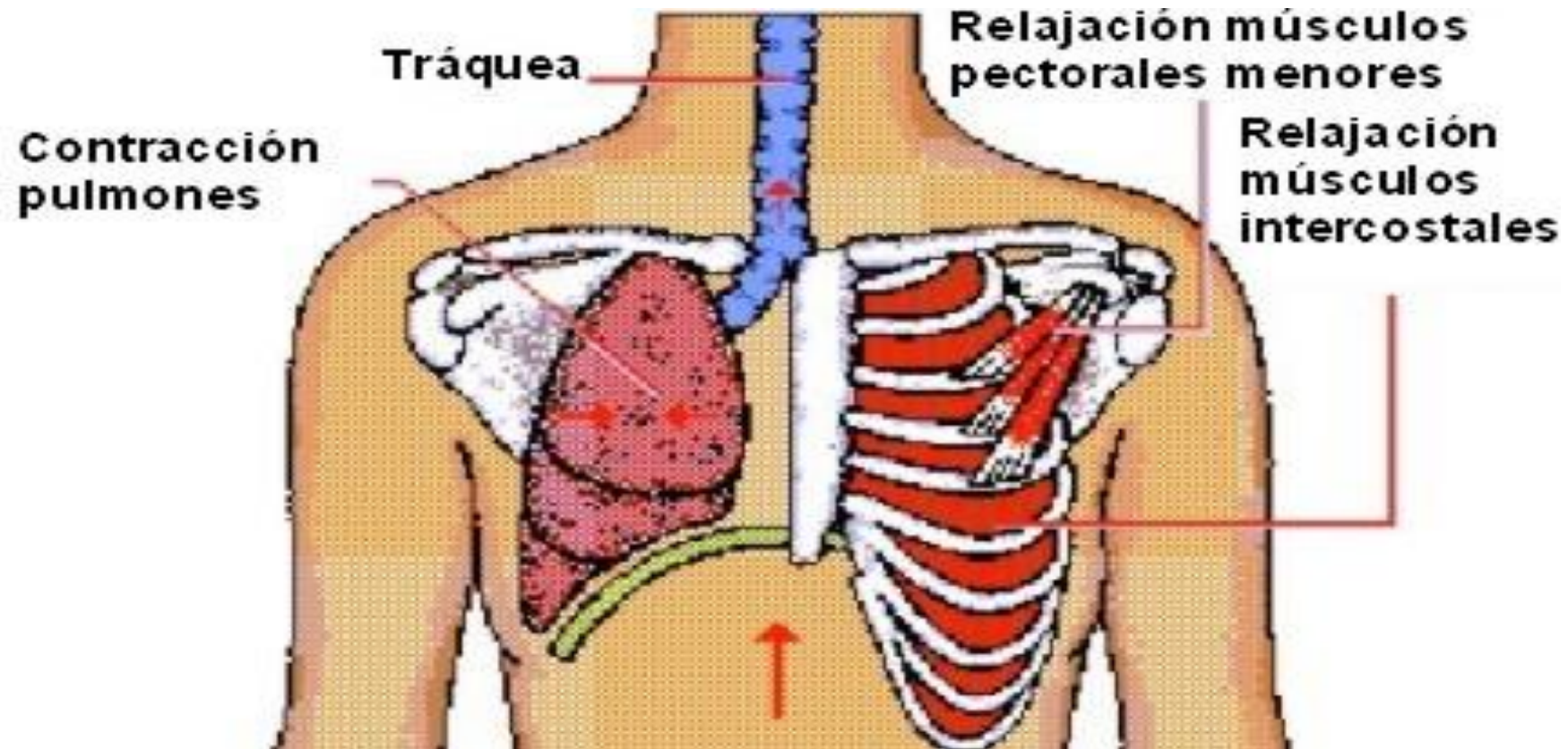
INSPIRACIÓN



Cuando el diafragma se contrae y se mueve hacia abajo, los músculos pectorales menores y los intercostales presionan las costillas hacia fuera.

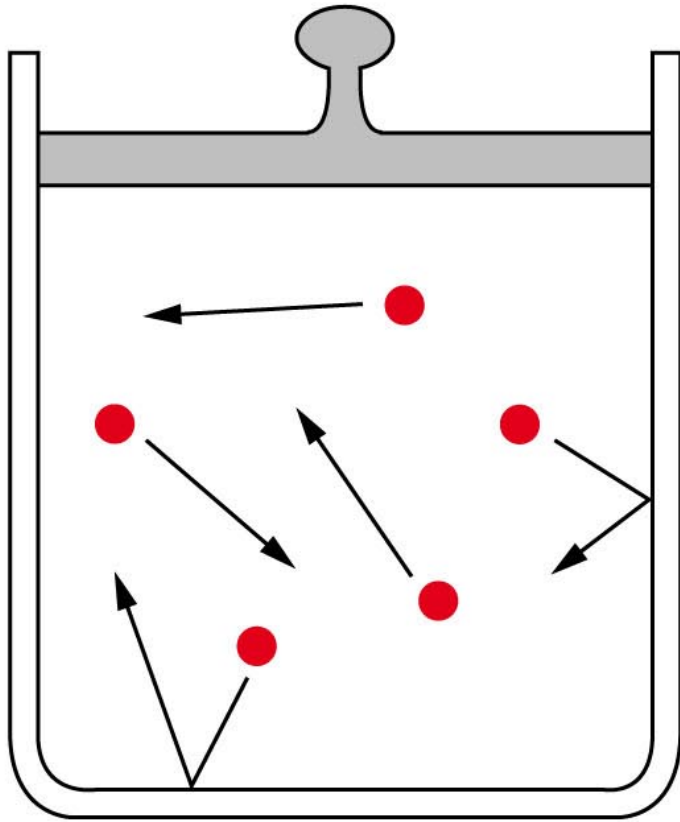
La cavidad torácica se expande y el aire entra con rapidez en los pulmones a través de la tráquea para llenar el vacío resultante.

ESPIRACIÓN

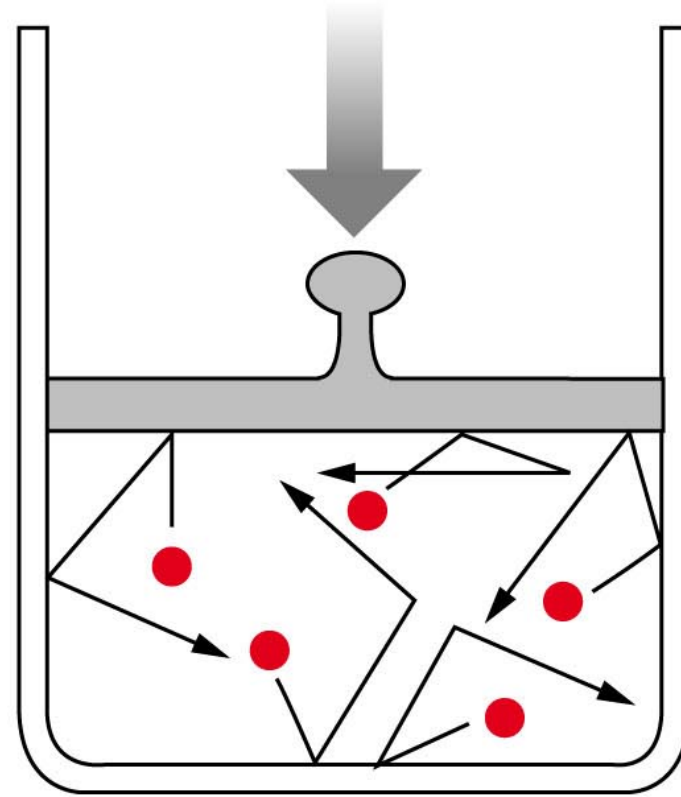


Cuando el diafragma se relaja, adopta su posición normal, curvado hacia arriba; entonces los pulmones se contraen y el aire se expelle.

Ley de Boyle



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



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

VENTILACIÓN

- Ventilación: Intercambio convectivo (convección) de una masa de aire “fresco” atmosférico por el aire alveolar en l/min
- En unidades BTPS (body, temperatura, pressure, saturated)
- DEPENDE DEL CAMBIO DE PRESIÓN A NIVEL ALVEOLAR Y ES AYUDADA POR LOS CAMBIOS DE PRESIÓN PLEURAL

Presiones Pulmonares

Presión Pleural

**Inicio Inspiración:
- 5 cmH₂O**

**Final Espiración:
- 7.5 cmH₂O**

Presión Alveolar

**Inicio Inspiración:
- 1 cmH₂O**

**Final Inspiración:
+ 1 cmH₂O**

**Volumen de Aire:
500 ml**

Inspiración

Espiración

cm agua

- 5

- 7.5

+1

0

-1

-2

-3

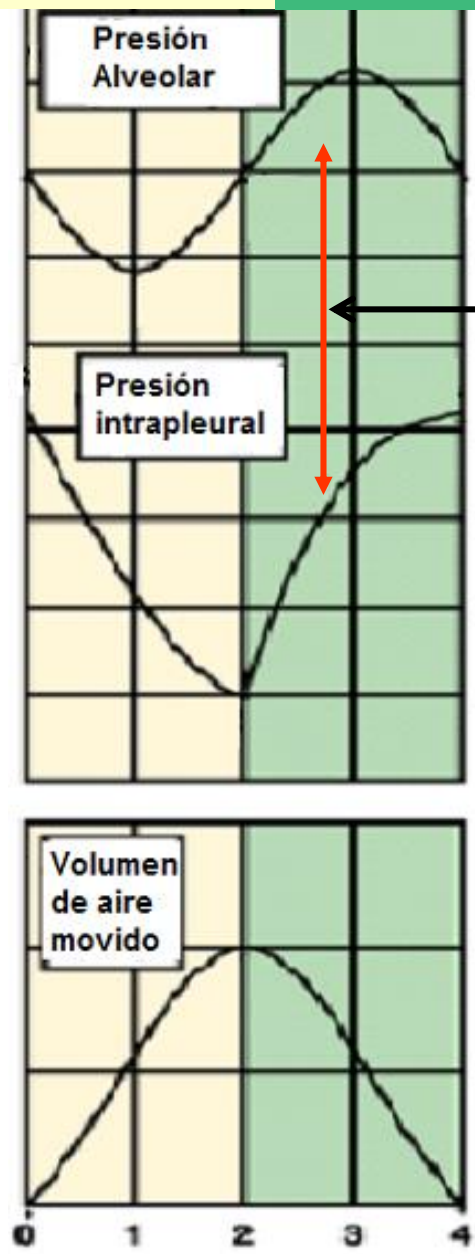
-4

-5

-6

mm Hg

Presión transpulmonar

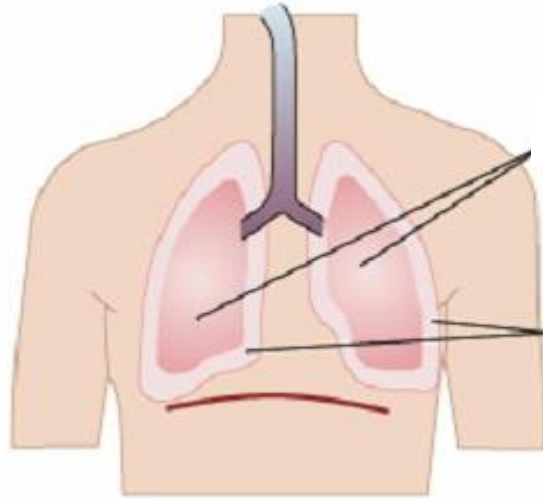


Modificación del volumen pulmonar, presión alveolar, presión pleural y presión transpulmonar durante la respiración normal.

Mecánica ventilatoria

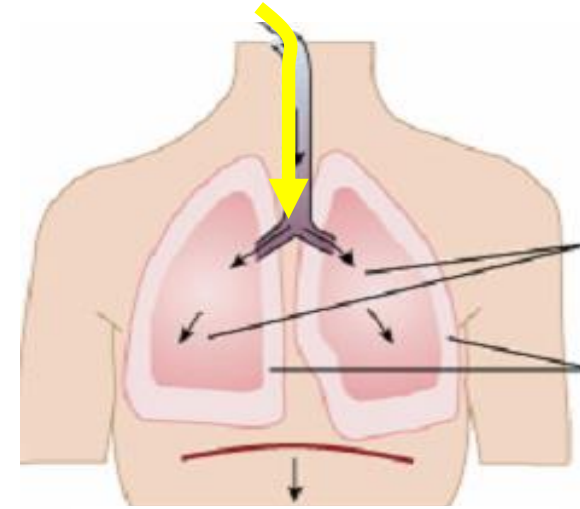
- La **ventilación pulmonar** es el movimiento de aire que mueven los pulmones
- La **ventilación pulmonar** depende de:
 - 1. Volumen de aire que entra en cada inspiración
 - 2. Frecuencia respiratoria

¿Por qué entra y sale el aire de los pulmones?



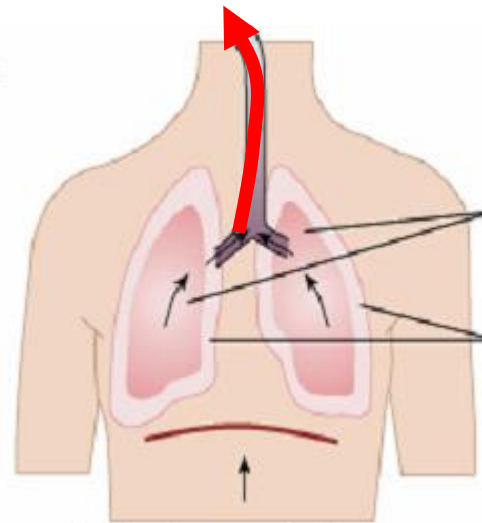
1. REPOSO

P_{alveolar} **igual que** $P_{\text{atmosférica}}$



2. INSPIRACION

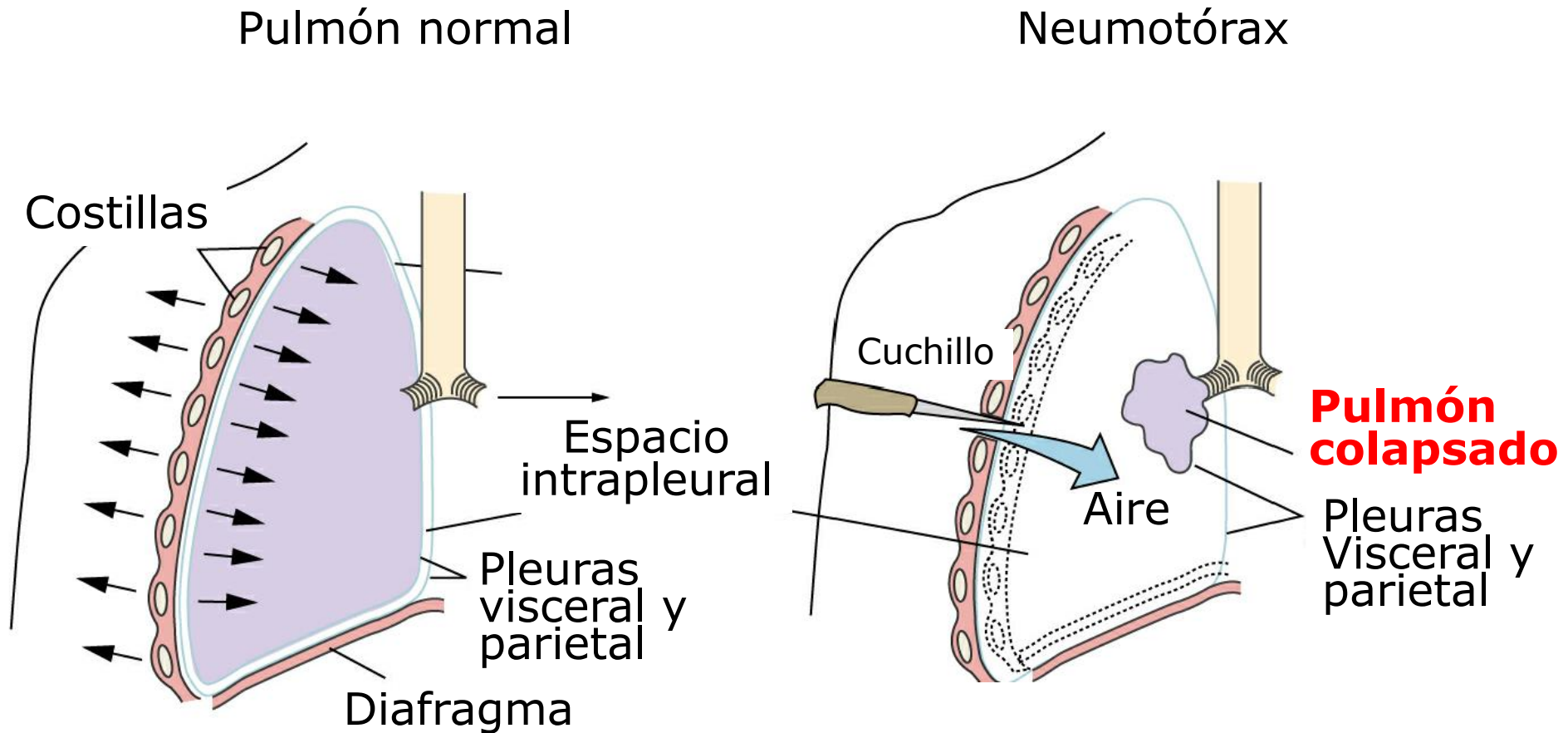
P_{alveolar} **menor que** $P_{\text{atmosférica}}$



3. ESPIRACION

P_{alveolar} **mayor que** $P_{\text{atmosférica}}$

La integridad de la pleura es esencial para mantener expandidos los pulmones y para la mecánica ventilatoria



Distensibilidad pulmonar (*“compliance”*)

- Depende de:
 - Elasticidad pulmonar
 - Tensión superficial en los alvéolos (papel del surfactante pulmonar)

Distensibilidad Pulmonar

Cambio de volumen pulmonar (Y)
determinado por un cambio de presión (X)

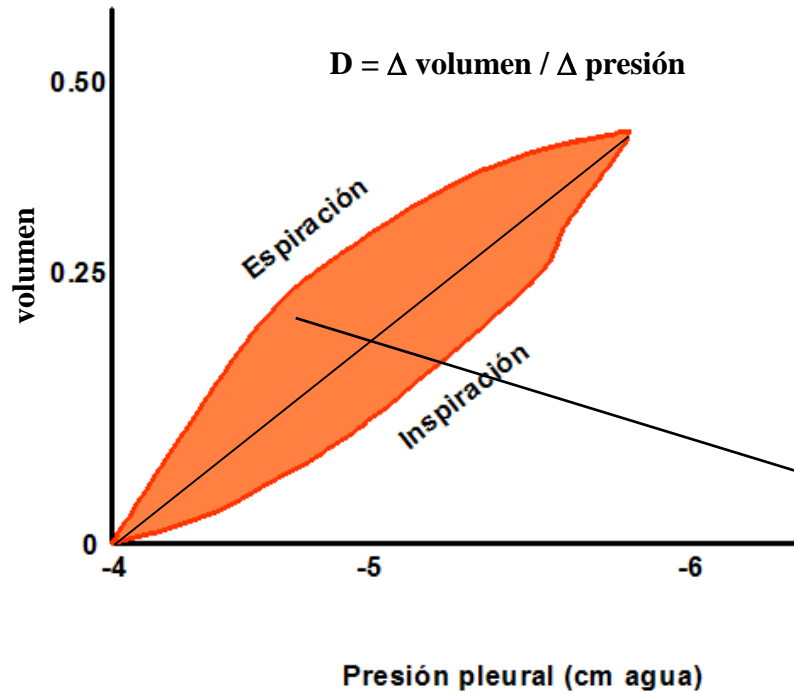


Diagrama de distensibilidad
pulmonar en una persona sana.

El valor normal de la distensibilidad pulmonar
estática es de 200 ml/cmH₂O.

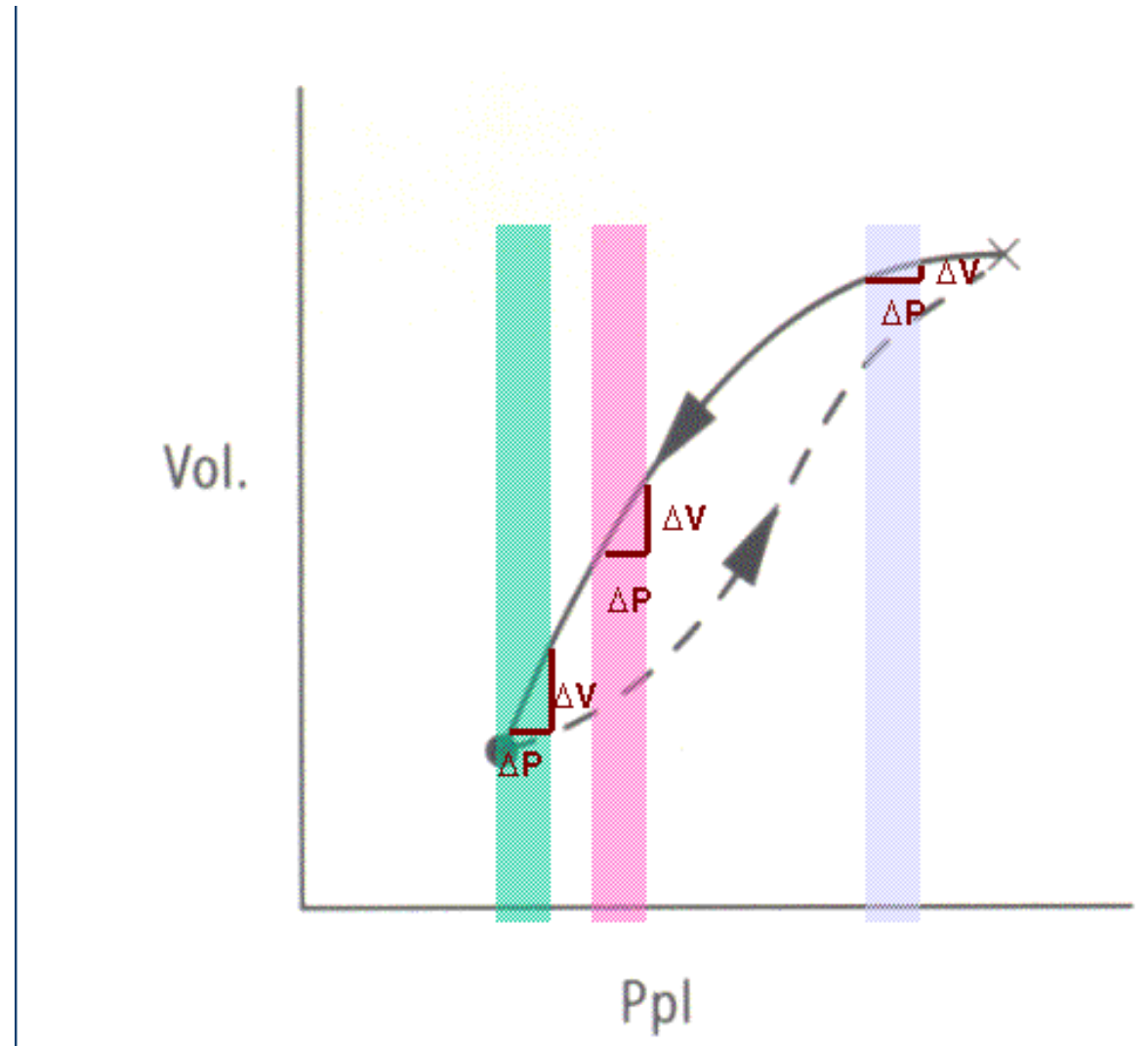
Fuerzas elásticas
de
los pulmones

1. Elasticidad del propio tejido pulmonar
2. Elasticidad generado por la tensión superficial que genera el líquido que recubre los alveolos

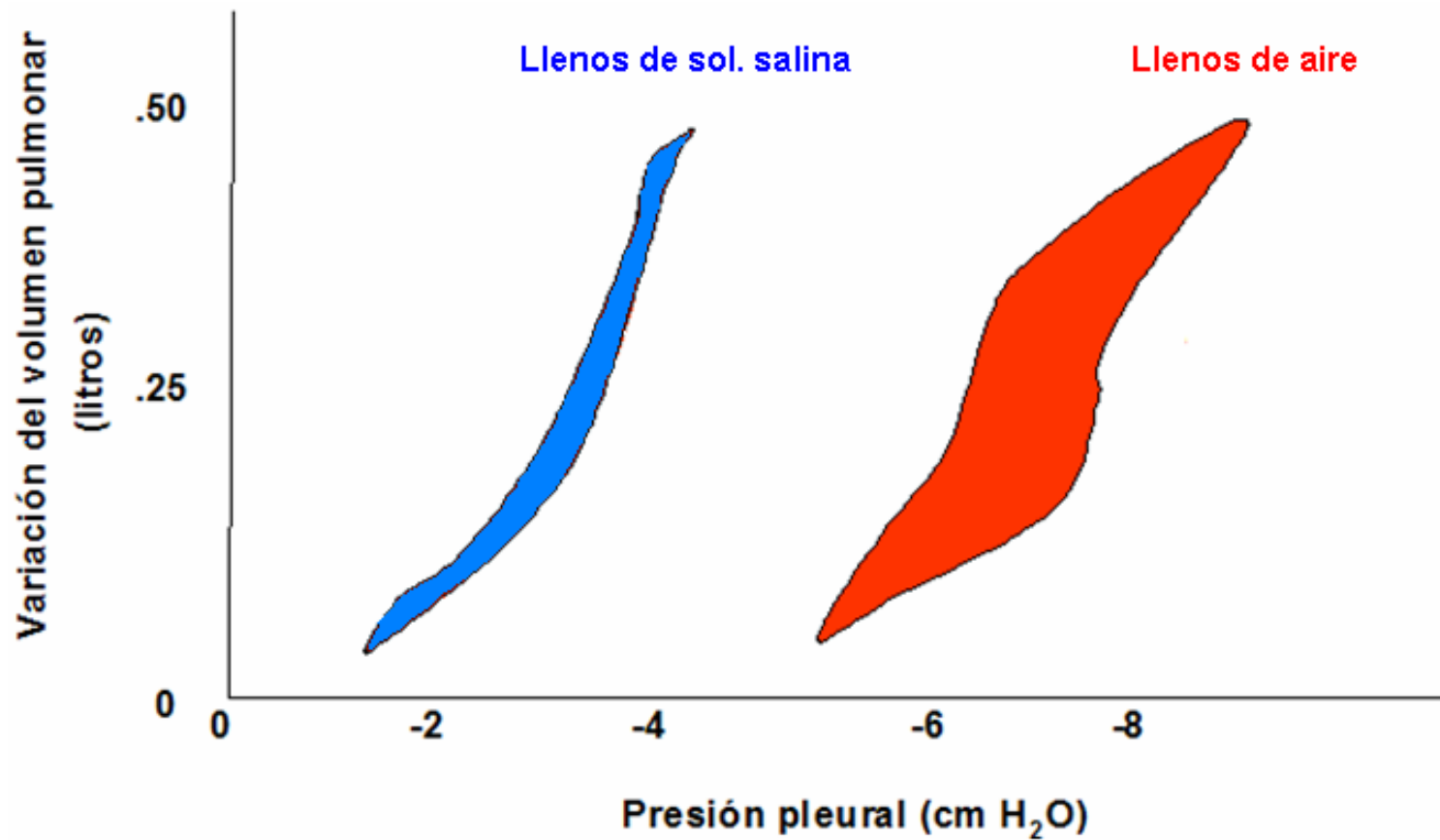
El pulmón es mucho más distensible a bajos volúmenes.

↑ distensibilidad, ↓ presión y la tendencia de los pulmones al colapso es menor a igual volumen.

↓ distensibilidad, ↑ presión y la tendencia de los pulmones al colapso es mayor a igual volumen.

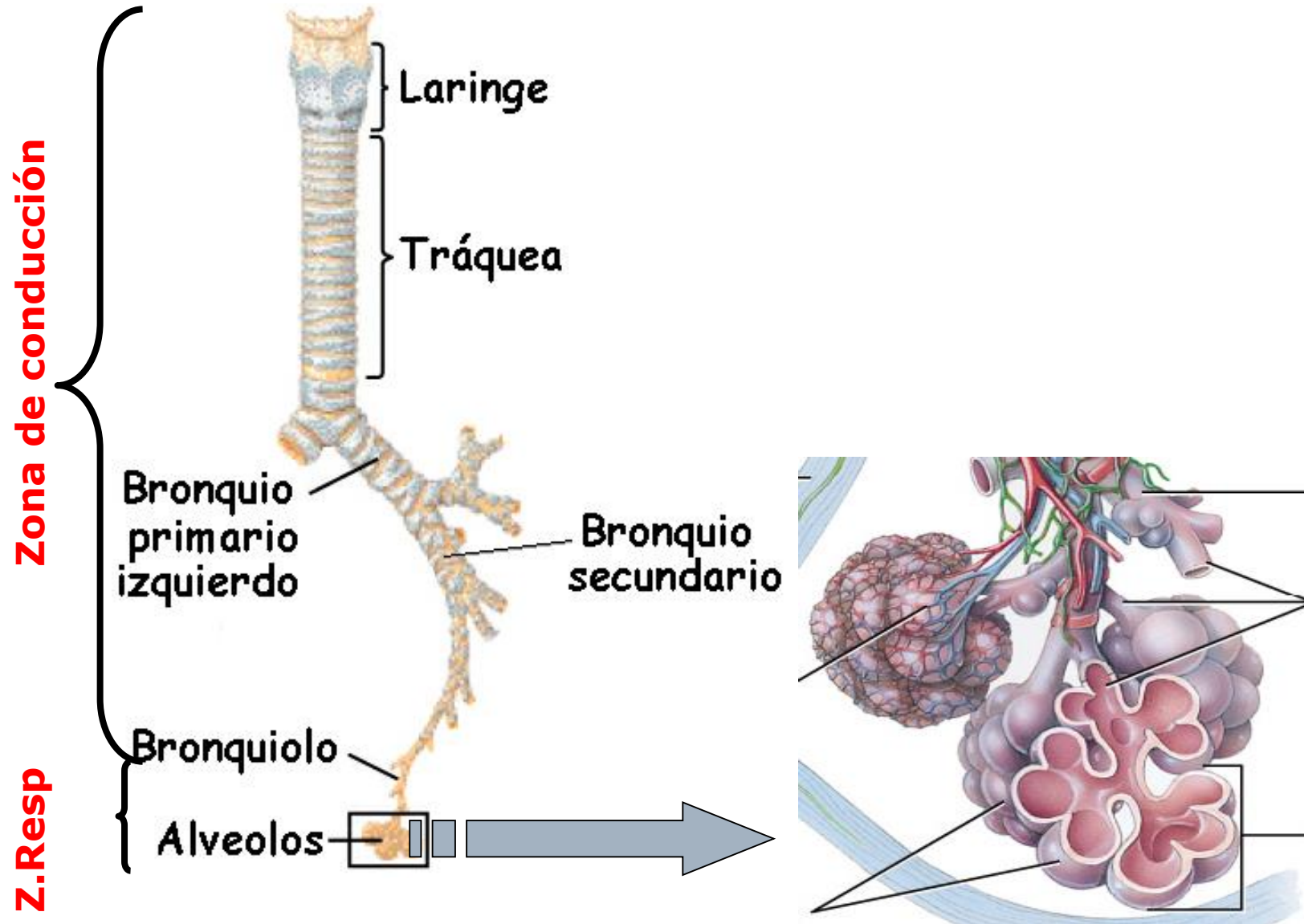


Cada una de las curvas se registra modificando la presión transpulmonar en escalones pequeños y permitiendo que el volumen pulmonar llegue a un nivel estable entre escalones sucesivos.

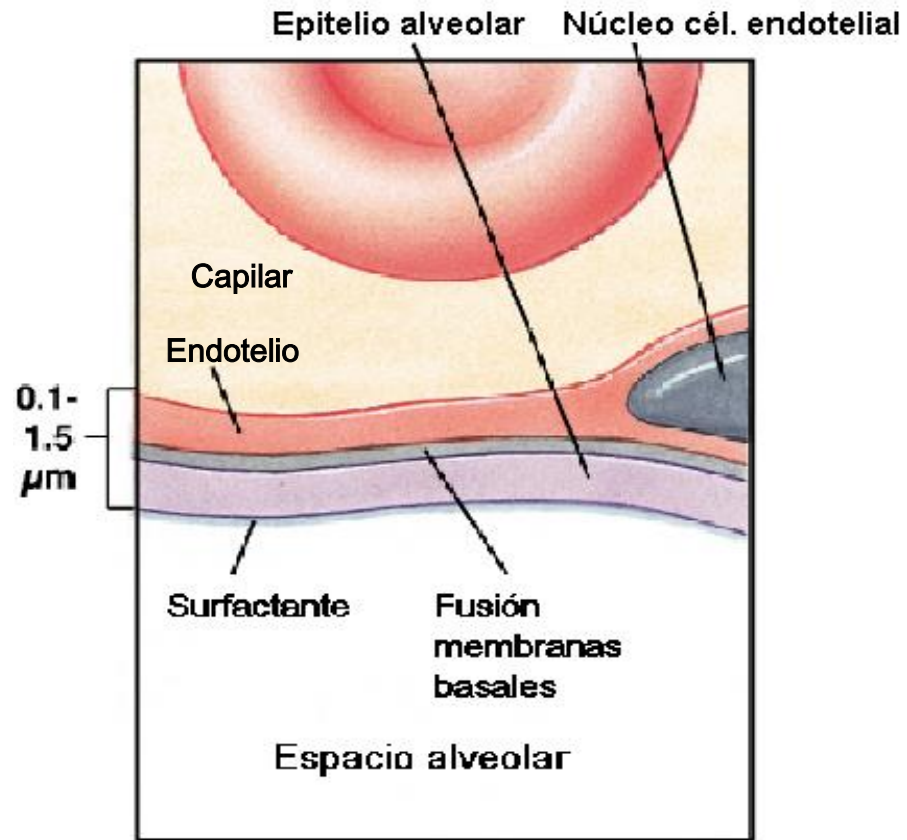


Comparación de los diagramas de distensibilidad de pulmones llenos solución salina y pulmones llenos de aire cuando se mantiene la presión alveolar a la presión atmosférica (0 cm H₂O) y se modifica la presión pleural.

Vías respiratorias



Surfactante Pulmonar



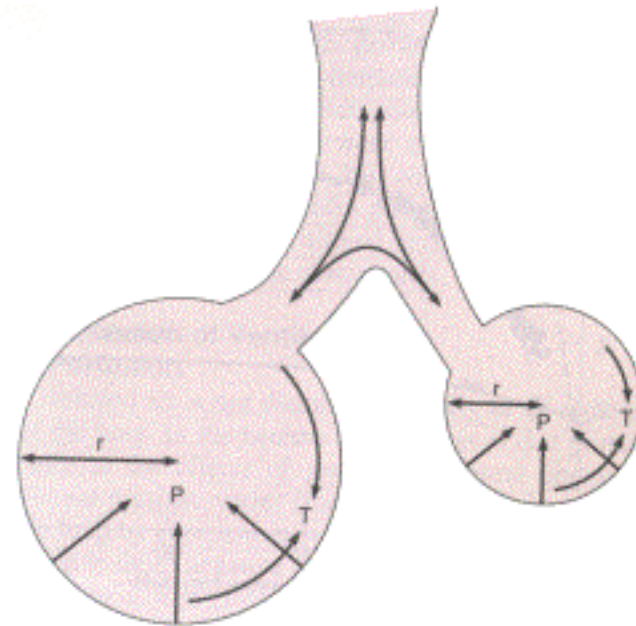
Disminuye la tensión superficial

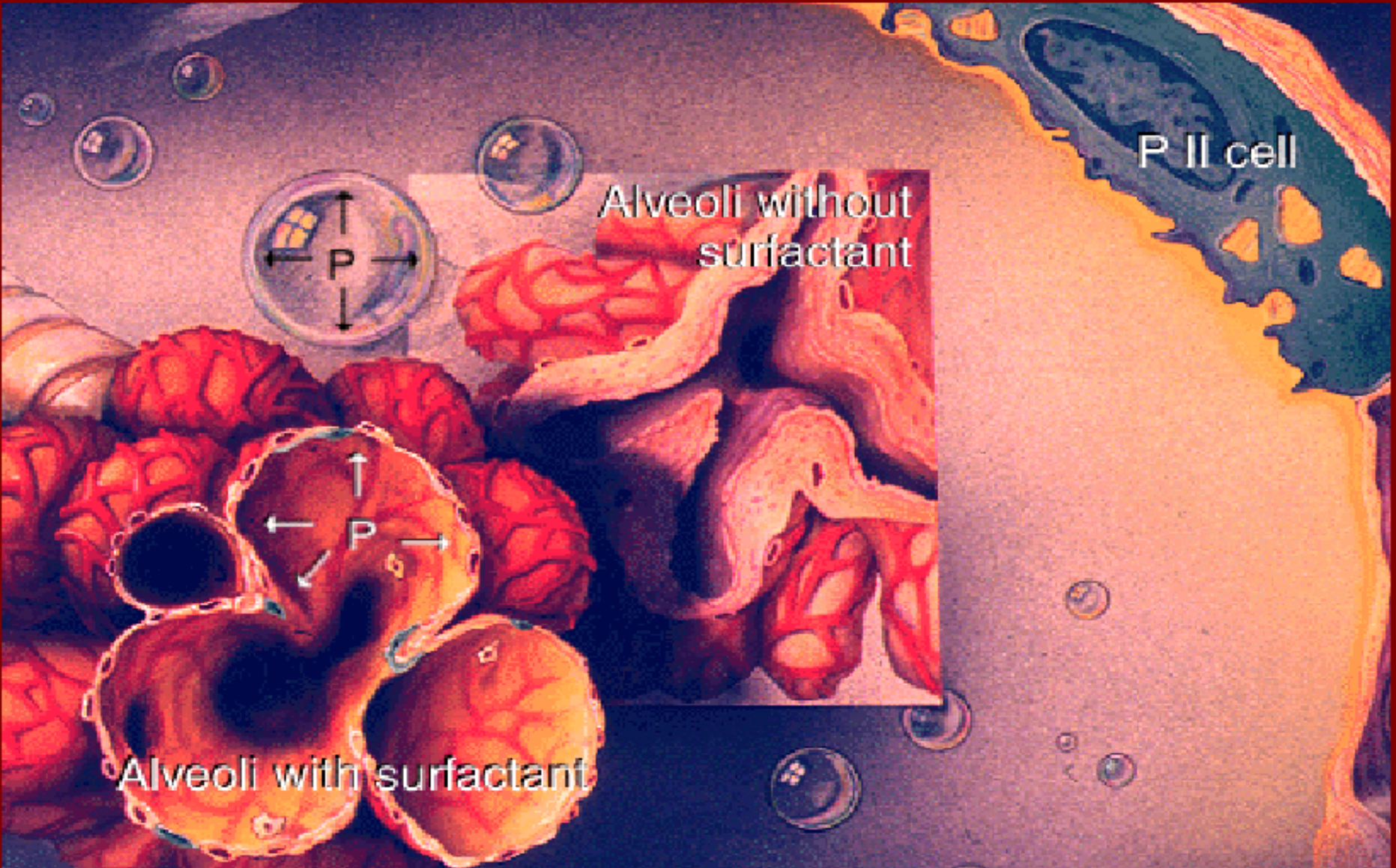
Evita el colapso pulmonar y la atelectasia

Facilita el intercambio gaseoso

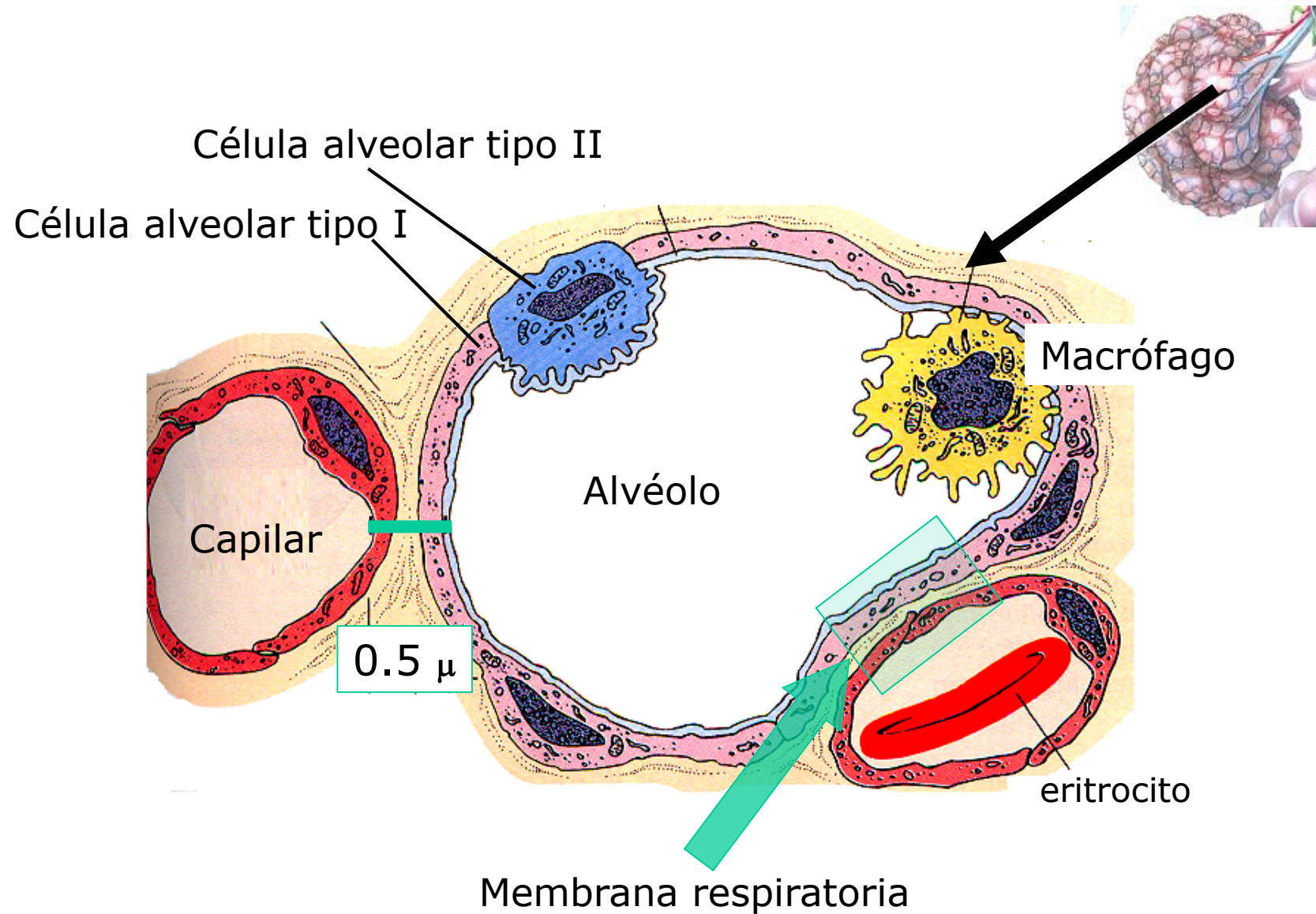
Protege de la desecación

Defensa antimicrobiana



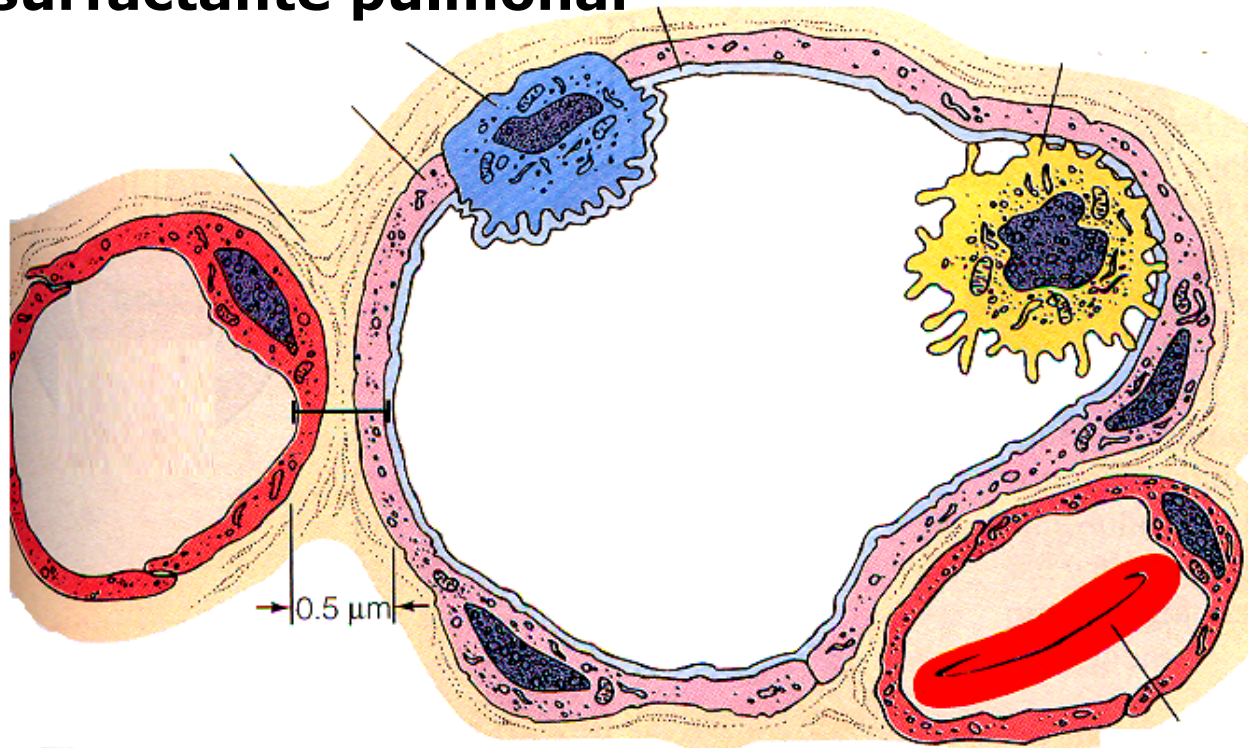


La unidad alveolo-capilar es el lugar donde se efectúa el intercambio de gases: Membrana respiratoria



Surfactante pulmonar

Célula II. Productora de surfactante pulmonar



El surfactante reduce la tensión superficial en los alveolos y reduce la posibilidad de que el alveolo se colapse durante la espiración

EL ESTUDIO DE LA VENTILACIÓN SE LLAMA
VENTILACIÓN MECÁNICA

Y POR ELLO LAS PRUEBAS DE FUNCIÓN PULMONAR
SE DIVIDEN EN :
VENTILACIÓN MECÁNICA E INTERCAMBIO DE GASES

MECÁNICA VENTILATORIA : ESTUDIO DE:

Volúmenes pulmonares

Capacidades pulmonares

Flujos aéreos

Presiones: pulmonar, pleural y transpulmonar

Resistencia de vías aéreas

Conductancia de vías aéreas

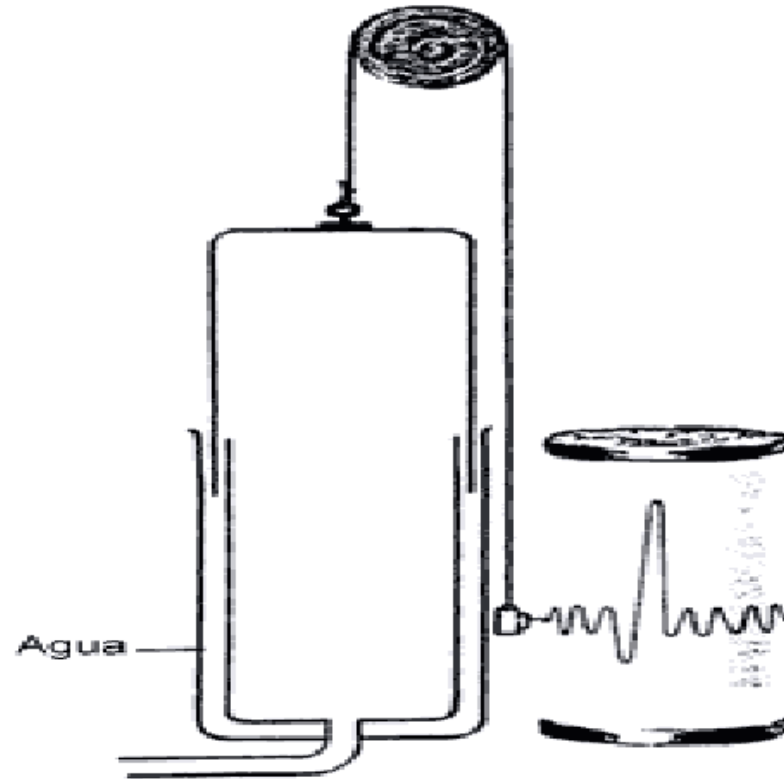
Distensibilidad pulmonar

Presión de retracción elástica

ESPIROMETRIA: estudio mínimo de la mecánica
Ventilatoria.

Volúmenes y Capacidades Pulmonares

ESPIROMETRÍA



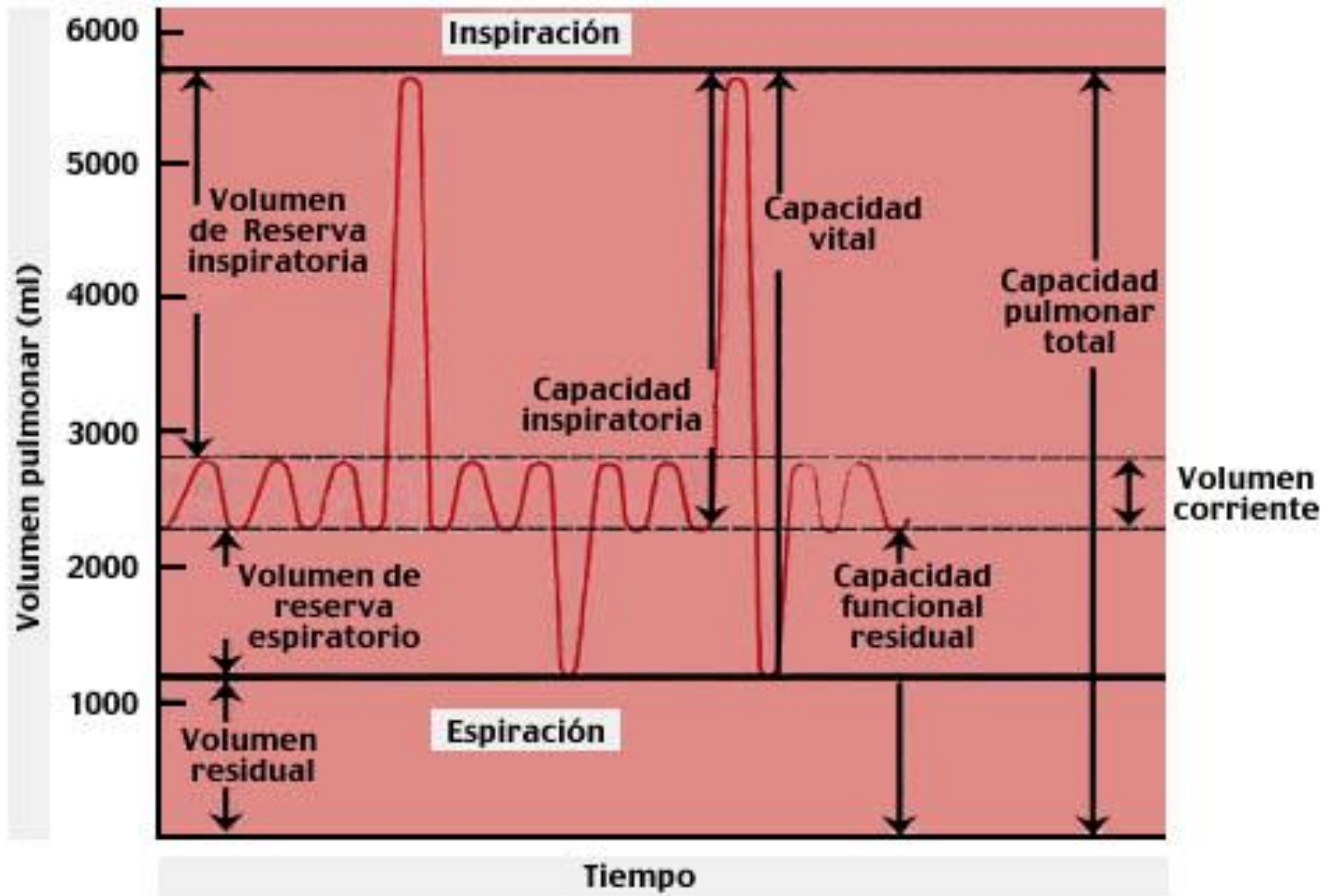


Diagrama que muestra los movimientos respiratorios durante la respiración normal y durante la inspiración y espiración máximas.

Volúmenes Pulmonares

Volumen corriente	Cantidad de aire inspirado y espirado en una respiración normal.	500 ml
Volumen de reserva inspiratorio	Volumen que se puede inspirar por encima del volumen corriente (inspiración forzada).	3,000 ml
Volumen de reserva espiratorio	Volumen que se puede espirar por encima del volumen corriente (espiración forzada).	1,100 ml
Volumen residual	Volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración forzada.	1,200 ml

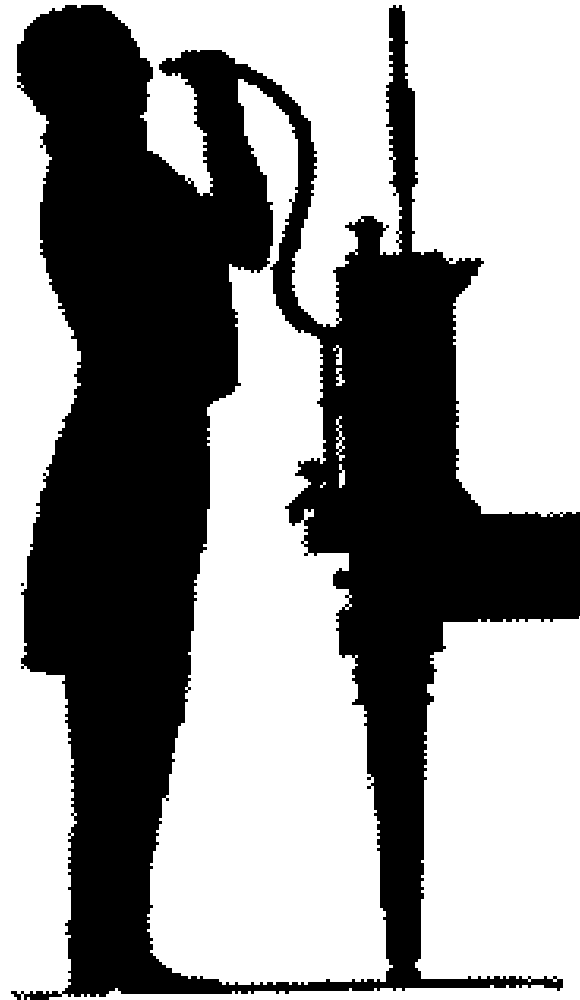
ANTECEDENTES DE LAS PRUEBAS DE FUNCION PULMONAR

- En 1700 Humprey Davy a través de su “mercurial air-holding machine” y de una técnica de dilución de hidrógeno se midió a si mismo su volumen residual.
- En el siglo XIX John Hutchinson en su libro “On the Capacity of the Lungs and on Respiratory Functions” reportó los hallazgos en 1800 sujetos a los que midió la capacidad vital y su relación con la esperanza de vida de acuerdo a edad, sexo, estatura, peso.

Un poco de historia

- Hutchinson pensaba que se podría aplicar para las predicciones de seguro de vida.
- No se utilizó mucho durante su época.
- Hutchinson se fue a Australia y no siguió trabajando en espirometría.
- Eventualmente se fue a las islas Fidji y falleció (posiblemente asesinado)

Silueta de Hutchinson llevando a cabo una espirometría

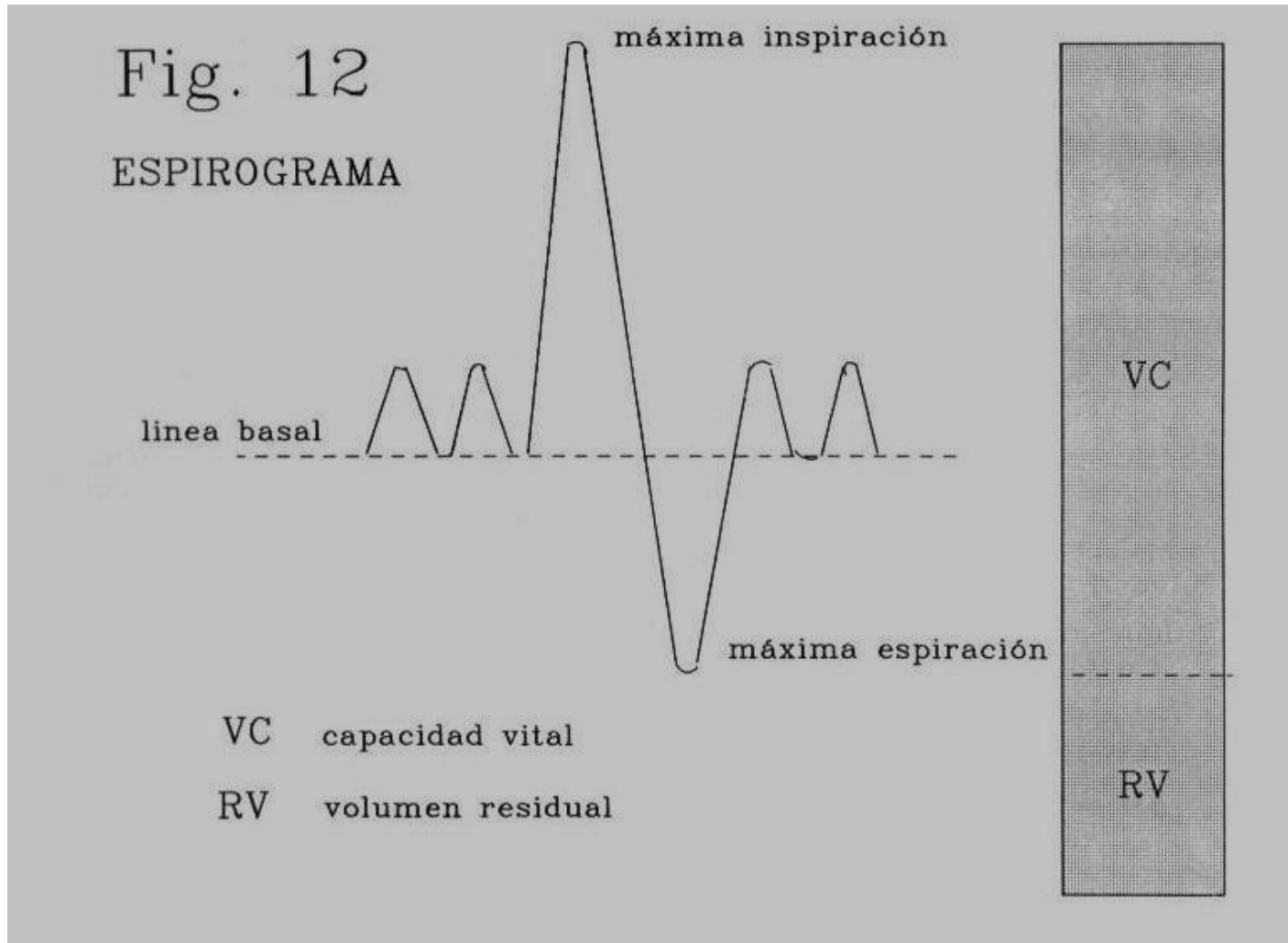


From
Chest,
2002

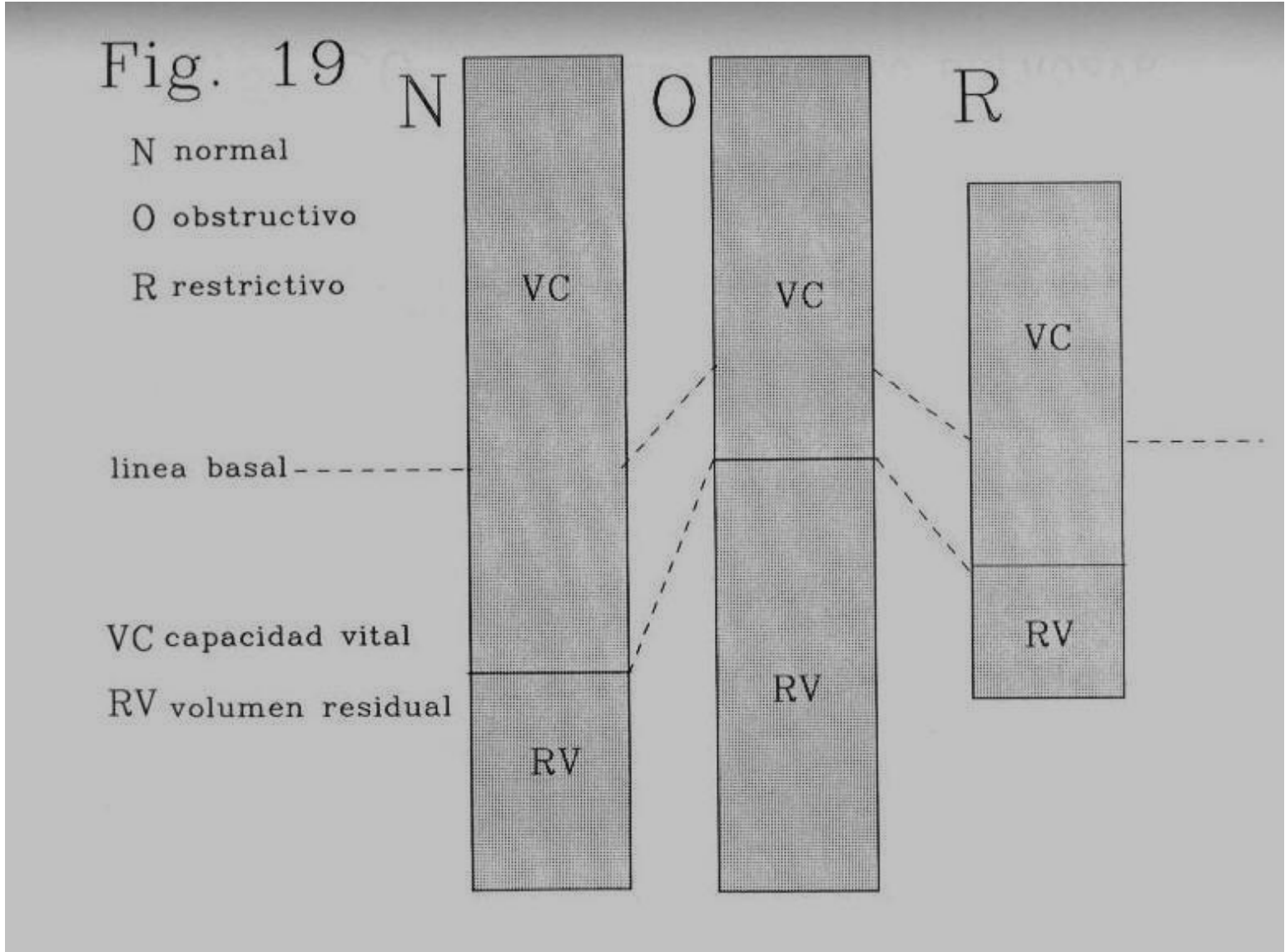
Espirometría

“La espirometría es una prueba que mide el volumen de aire que un individuo inhala o exhala en función del tiempo.”

- (American Thoracic Society , 1994)”



Esquema que muestra la relación entre la capacidad vital y el Volumen residual



Esquema que muestra el concepto de Hutchinson sobre los patrones respiratorios.

Fig. 17 TRAZO ESPIROMETRICO NORMAL

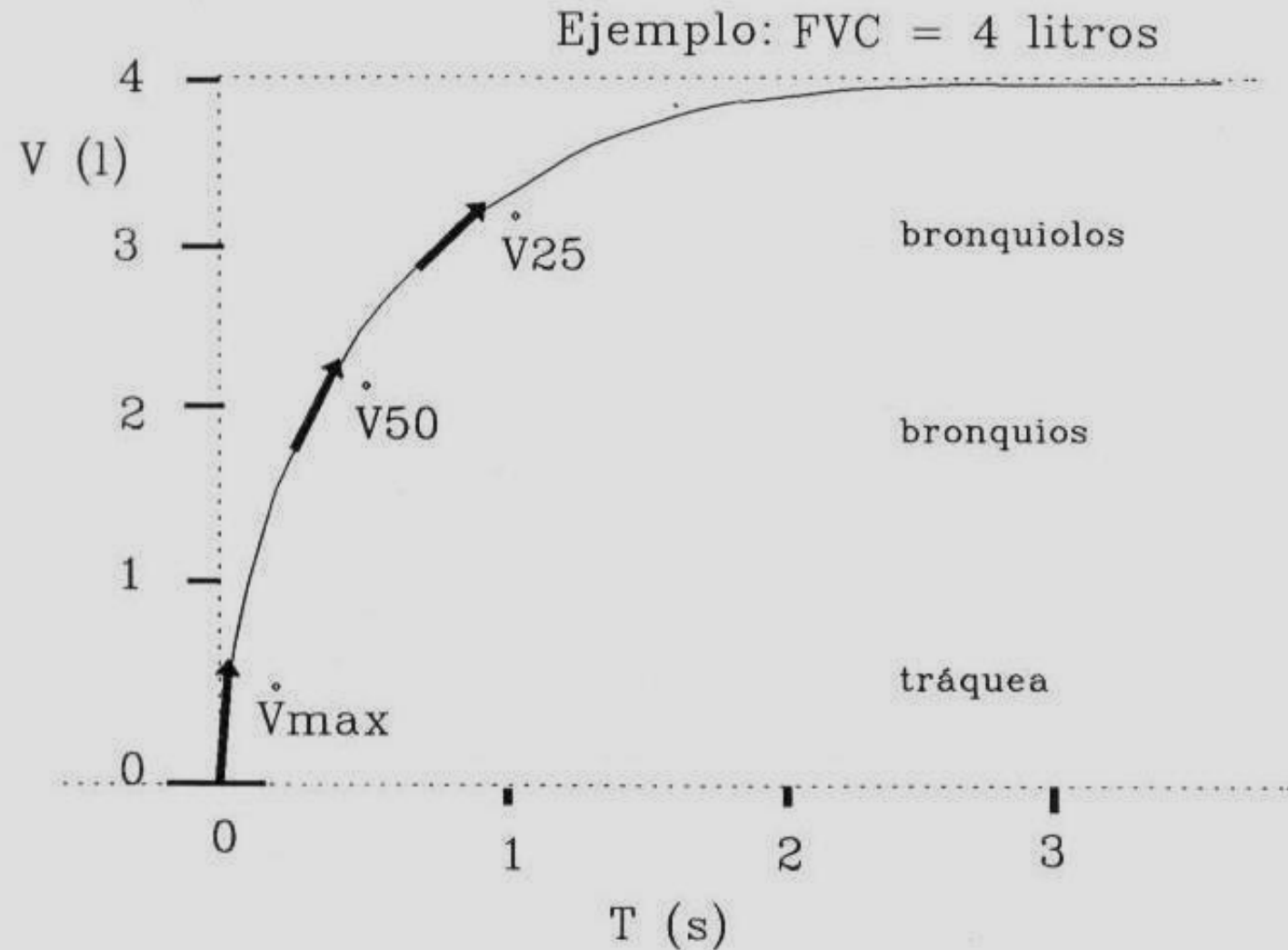
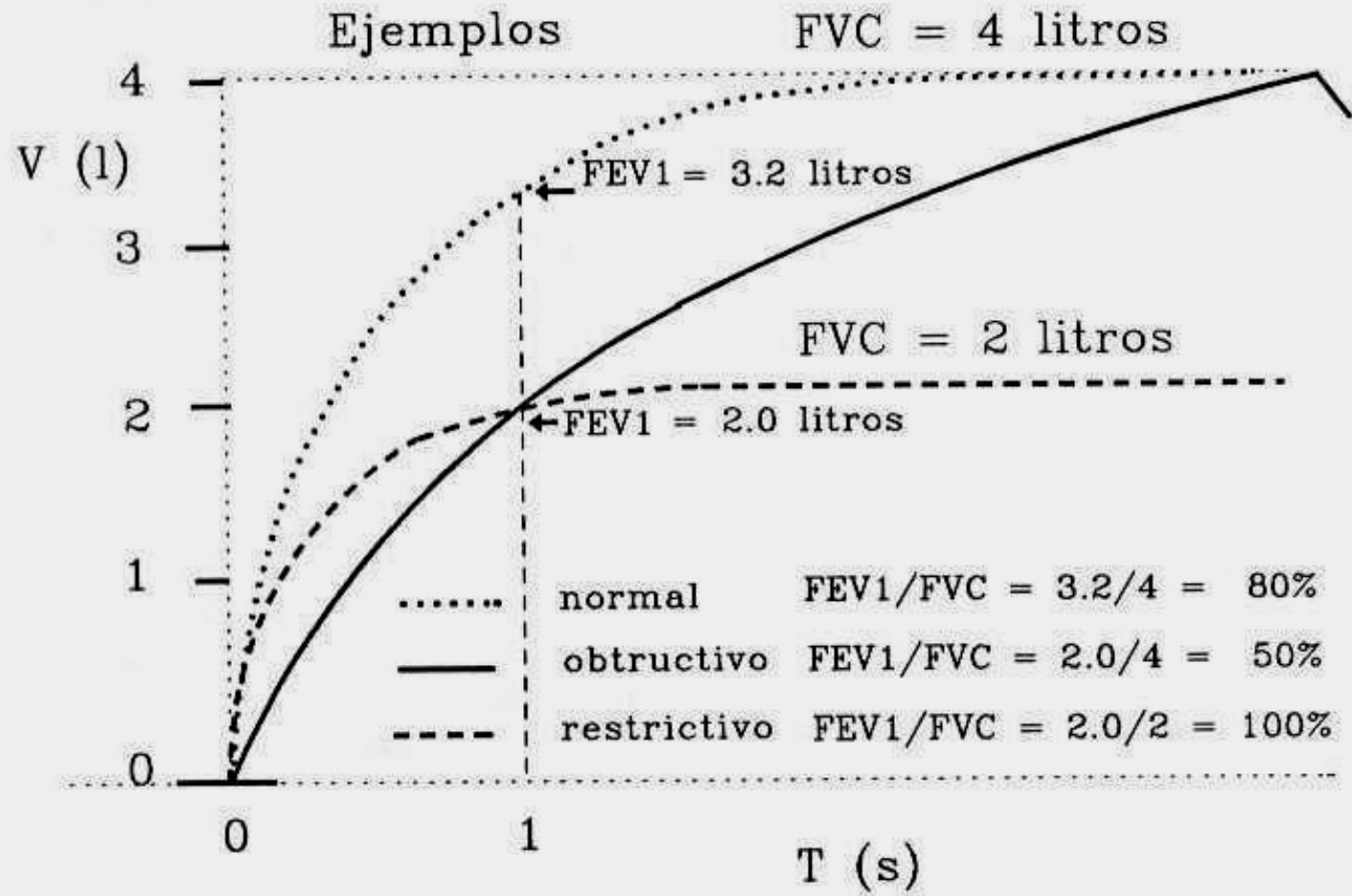


Fig. 18



Utilidad de la relación FEV1/ FVC

- PATRON RESPIRATORIO NORMAL:

- Relación FEV1/ FVC : 70-90%

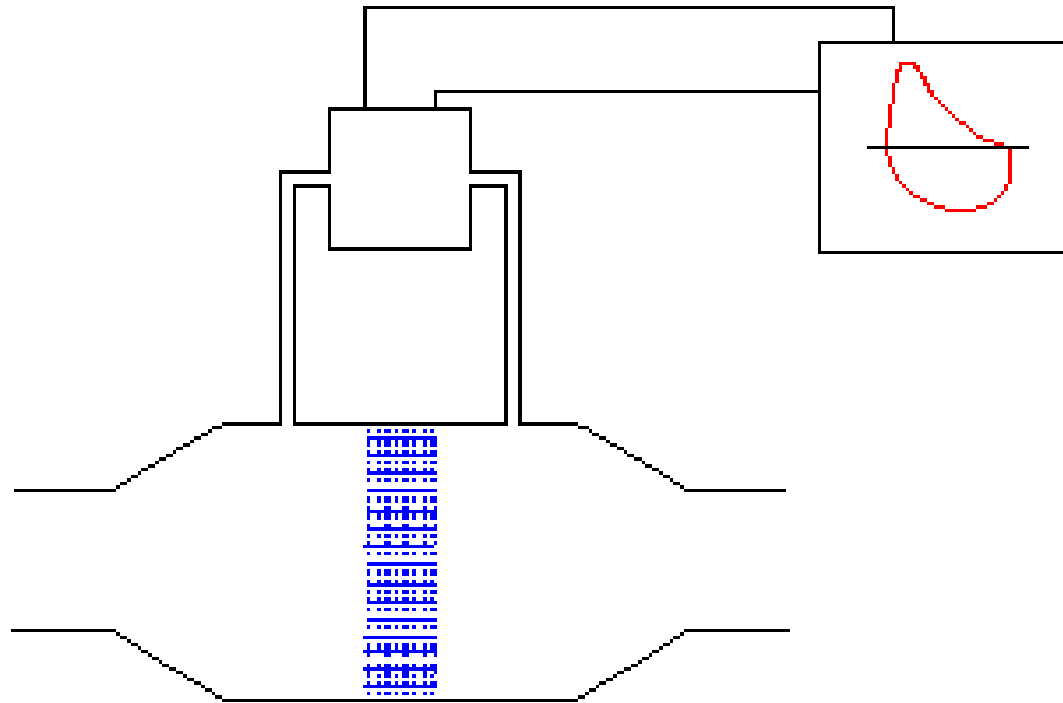
- PATRON OBSTRUCTIVO:

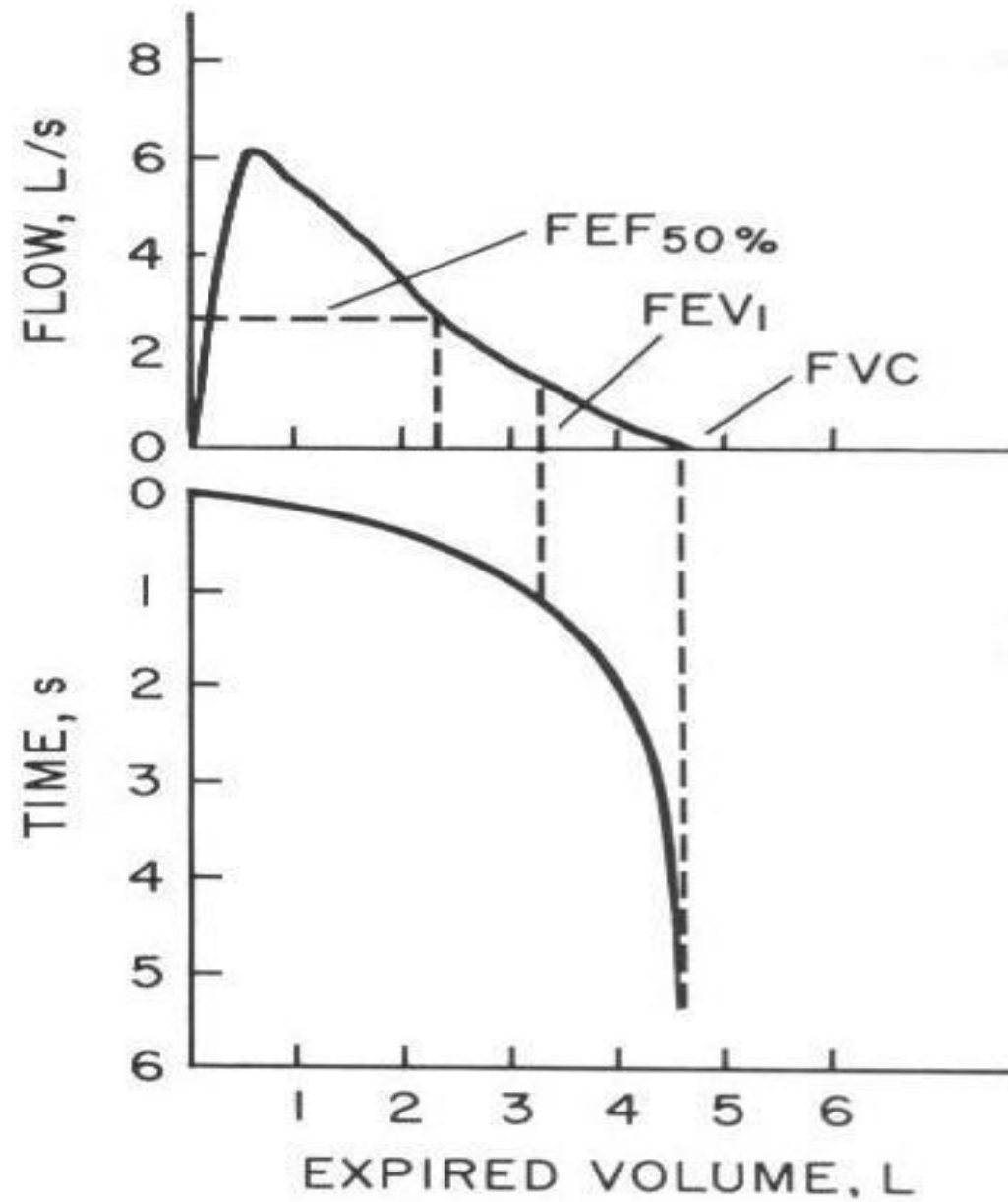
- Relación FEV1/ FVC : < 70%

- PATRON RESTRICTIVO :

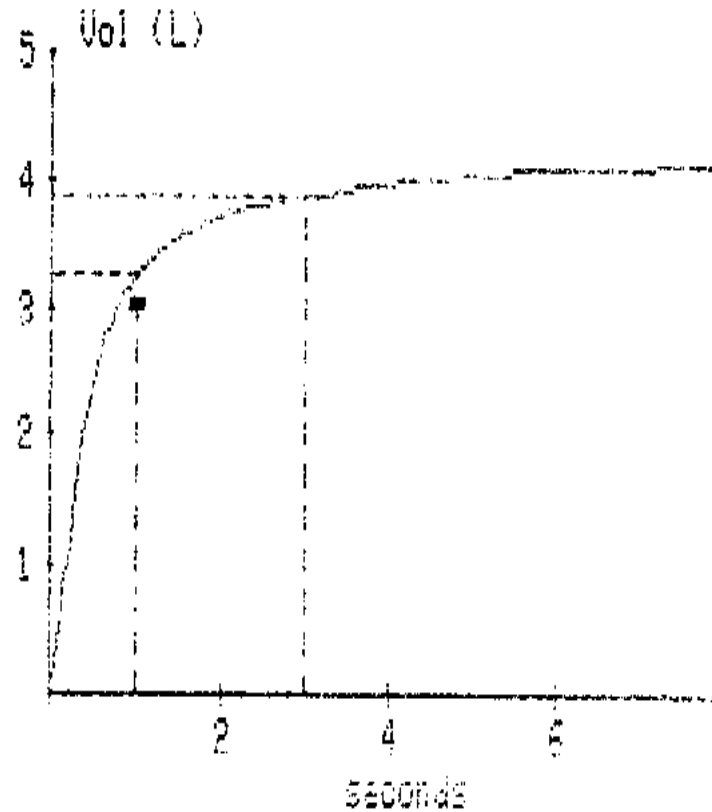
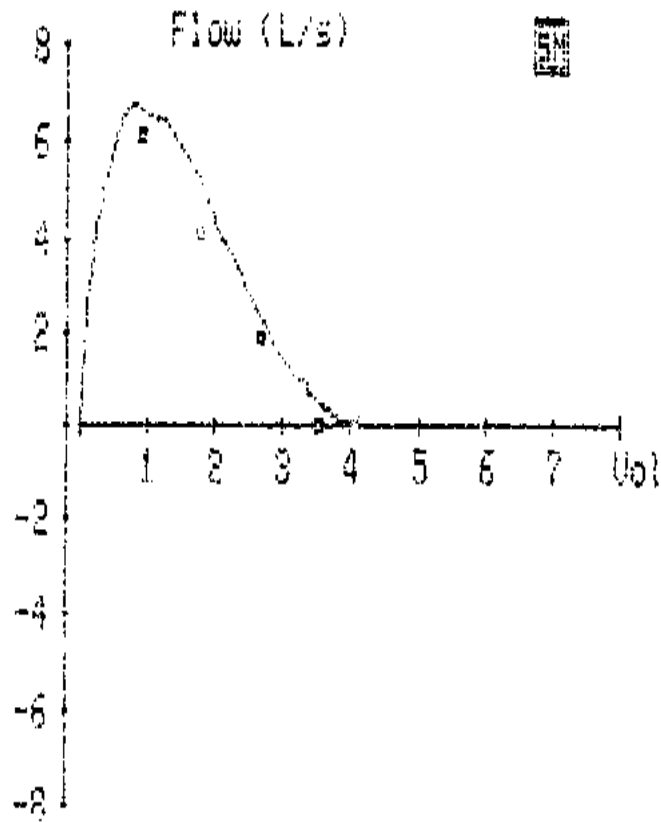
- Relación FEV1/ FVC : > 90% (>95%)

NEUMOTACOMETRO





Curvas de Flujo Volumen normales y espirogramas



EU ERU IC Predicted

¿Que información nos proporciona la espirometría?

- Un espirómetro se puede utilizar para medir lo siguiente:
 - Capacidad vital forzada y sus derivados (tales como FEV1, FEF 25-75%)
 - Capacidad vital inspiratoria forzada (FIVC)
 - Flujo pico espiratorio (PEF)
 - Ventilación voluntaria máxima (MVV)
 - Capacidad vital lenta
 - IC, IRV, y ERV
 - Estudios de pre y post broncodilatación



Espirómetro computarizado.

¿Qué se mide en la espirometría?

- Paso 1: Relación FEV1/ FVC = Patrón : Normal, Obstructivo o Restrictivo
- Si es restrictivo: Relación FEV1 / FVC > 90% indicar solamente el valor de la Capacidad vital forzada en %
- Restricción leve : capacidad vital 70- 79%
- Restricción moderada : capacidad vital 50-69%
- Restricción severa : capacidad vital : 30-49%
- Restricción muy severa : capacidad vital < 30%

- SI ES PATRON OBSTRUCTIVO:

- Relación FEV1/ FVC : $< 70\%$

- Valorar el FEV1 :

- FEV1 : 70- 79% = Obstrucción leve

- FEV1: 50-69% = Obstrucción moderada

- FEV1: 30- 49% = Obstrucción severa

- FEV1: $< 30\%$ = Obstrucción muy severa

Capacidades pulmonares

- **Capacidad inspiratoria:**
Volumen de aire máximo que puede inspirarse después de una espiración normal.
- **Capacidad residual funcional:**
Volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración normal.
- **Capacidad vital:**
Volumen máximo de aire que puede inspirarse después de una espiración forzada.
- **Capacidad funcional total:**
Volumen de aire que pueden contener los pulmones después de una inspiración forzada.

Vómenes y capacidades pulmonares

Capacidad inspiratoria: 3500mL	VC + VRI
Capacidad residual funcional: 2300 mL	VRE + VR
Capacidad Vital: 4600 mL	VRE + VC + VIR
Capacidad pulmonar total: 5800	VRE + VC + VRI + VR



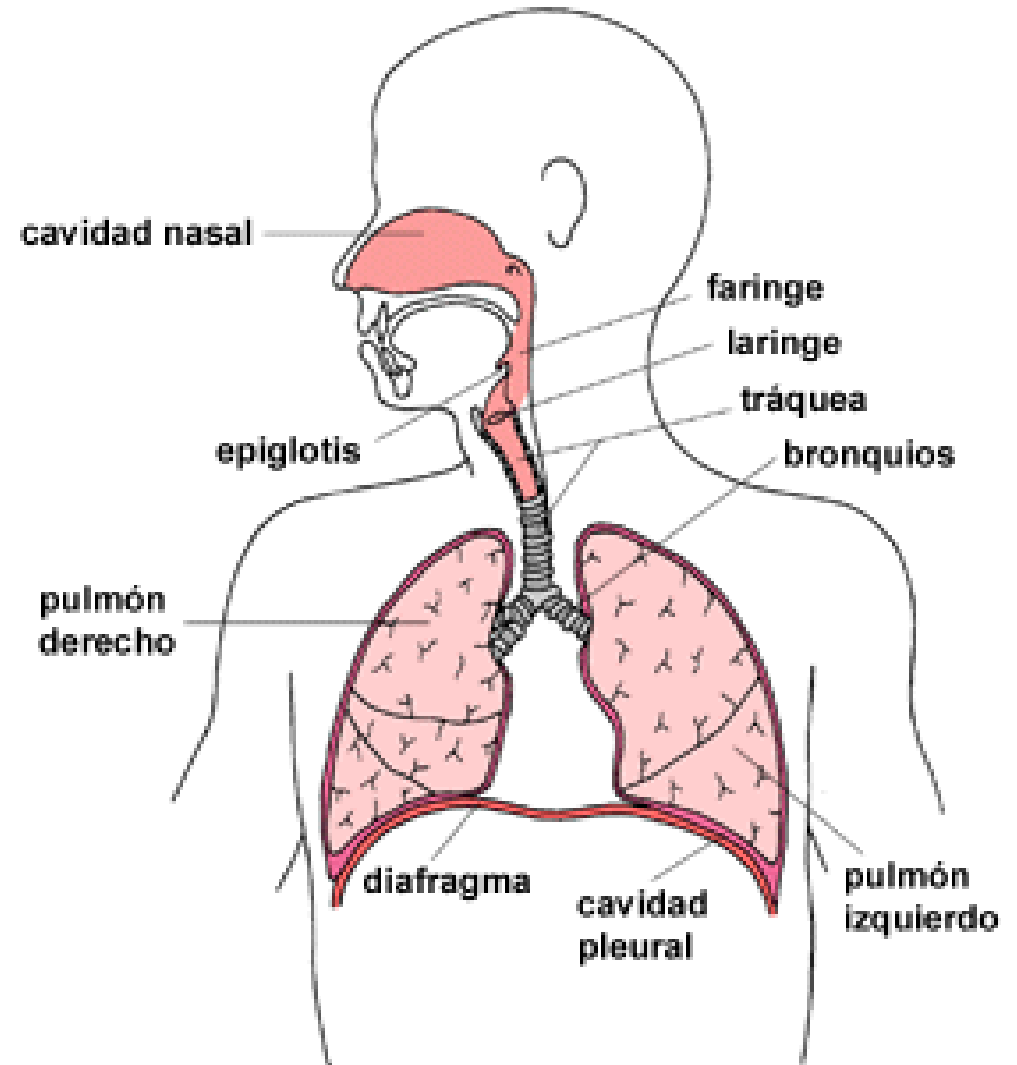
Pletismógrafo corporal : mide volúmenes, capacidades, resistencias, distensibilidad, flujos

CONCEPTOS

- **Frecuencia respiratoria**
12 / min
- **Volumen minuto respiratorio**
Cantidad de aire que penetra a las vías respiratorias cada minuto.
- **Ventilación alveolar**
Difusión desde los bronquiolos terminales.
- **Tasa de ventilación alveolar**
Volumen de aire que penetra en los alveolos por min.
$$VA = FR (Vc - Vd)$$
$$VA = 12 (500 - 150) = 4200 \text{ mL/min}$$
- **Espacio muerto**
Vías respiratorias en las que no hay intercambio gaseoso
150 mL.

Espacio muerto

Parte del aparato respiratorio que no intercambia gases con la sangre

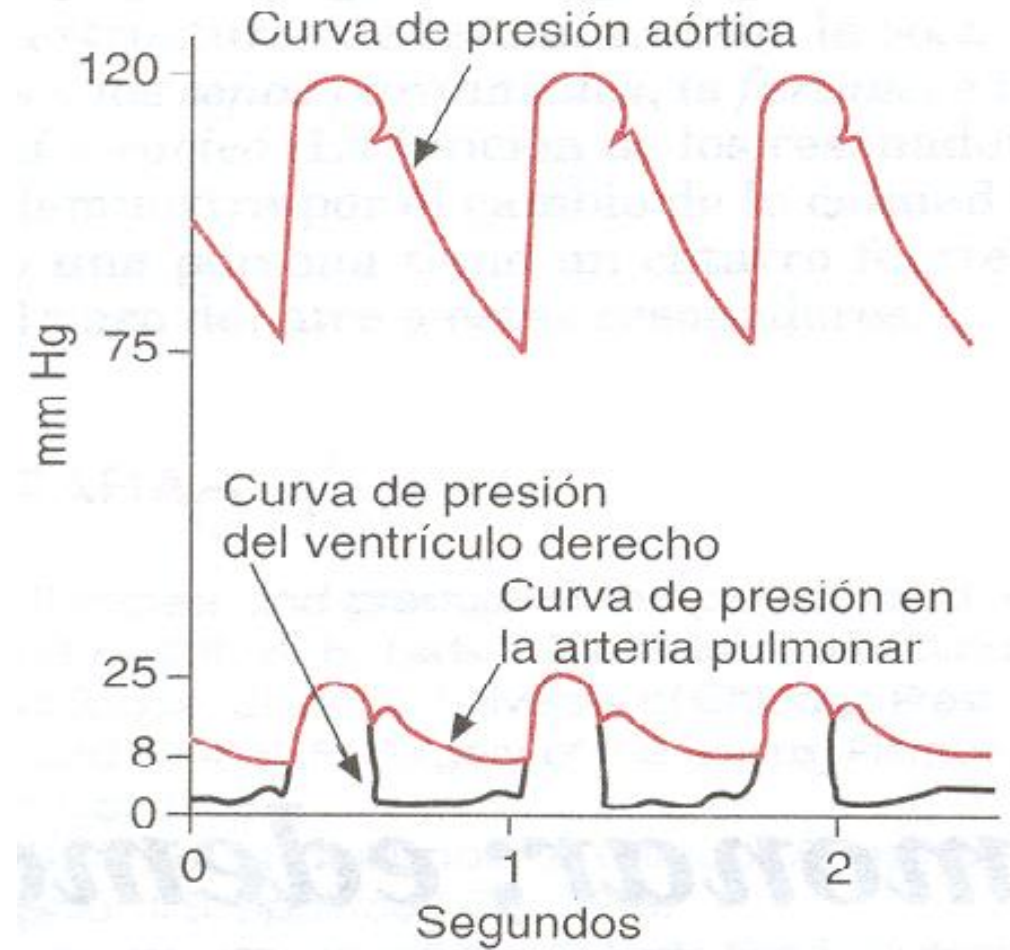


Características del Circuito Pulmonar

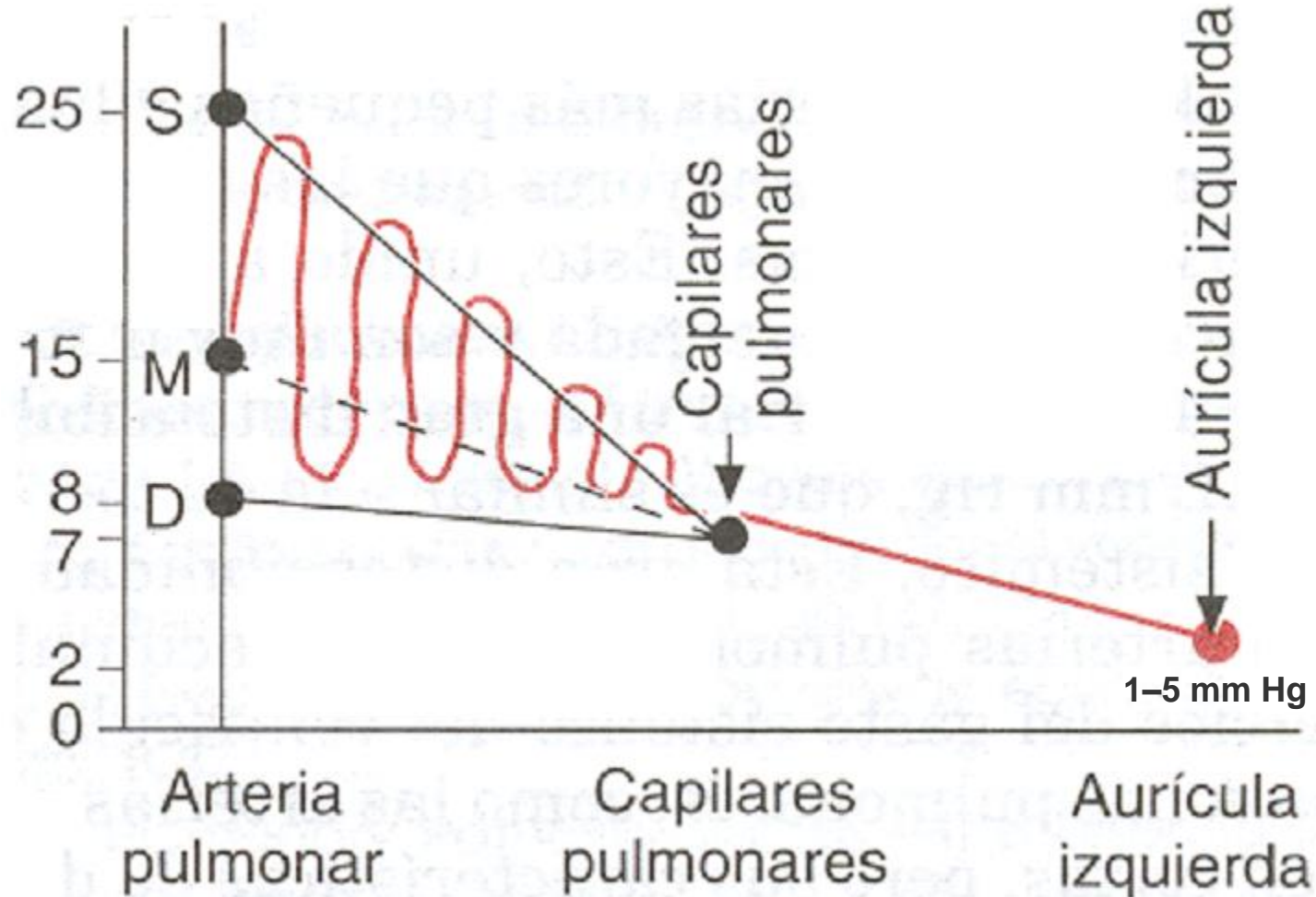
- **Circuito de baja presión.**
- **Alto flujo.**
- **Baja resistencia.**
- **Alta distensibilidad vascular.**
- **Reservorio de sangre.**



Presiones del Sistema Pulmonar



Presiones del Sistema Pulmonar

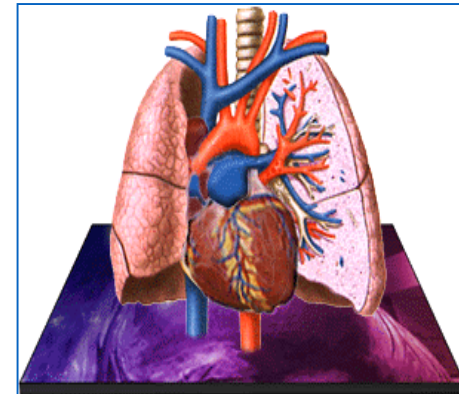


Volúmenes de Sangre

- **Pulmones como reservorios de sangre:**
 - **450 ml, el 9% del vol. sanguíneo total:**
 - 70ml se encuentran en los capilares.
 - 380ml se distribuyen equitativamente entre arterias y venas.
- **Desplazamiento de sangre entre la circulación pulmonar y sistémica:**
 - **Consecuencia de una patología cardíaca.**
 - **Aumento del vol. sanguíneo pulmonar en un 100%.**
 - **Circulación sistémica prácticamente sin cambios.**

Flujo Pulmonar

- **Flujo sanguíneo pulmonar es igual al Gasto Cardíaco.**
- **Los factores que controlan el GC también controlan el flujo pulmonar.**
- **Los vasos pulmonares actúan como vasos pasivos muy distensibles.**
- **La areación adecuada implica mayor flujo hacia los segmentos pulmonares mejor ventilados.**



Distribución del Flujo Pulmonar

➤ Efecto de la disminución de O₂ (vasoconstricción hipóxica):

- Si la PO₂ < 70 mmHg se produce una constricción gradual de los vasos adyacentes.

- Si baja a niveles críticos la resistencia pulmonar, aumenta cinco veces.

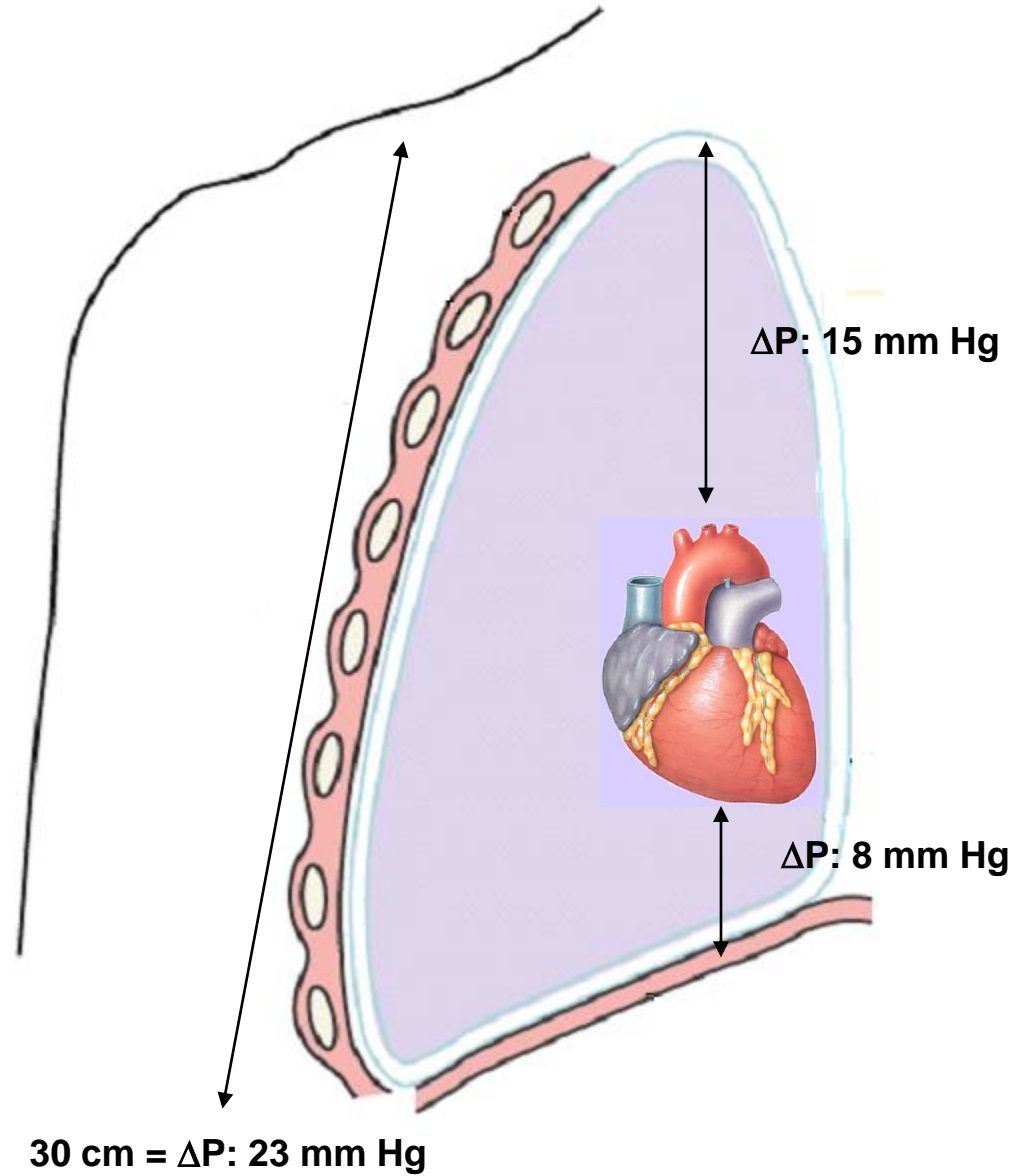
➤ Control nervioso:

- No juega papel importante para regular el flujo.

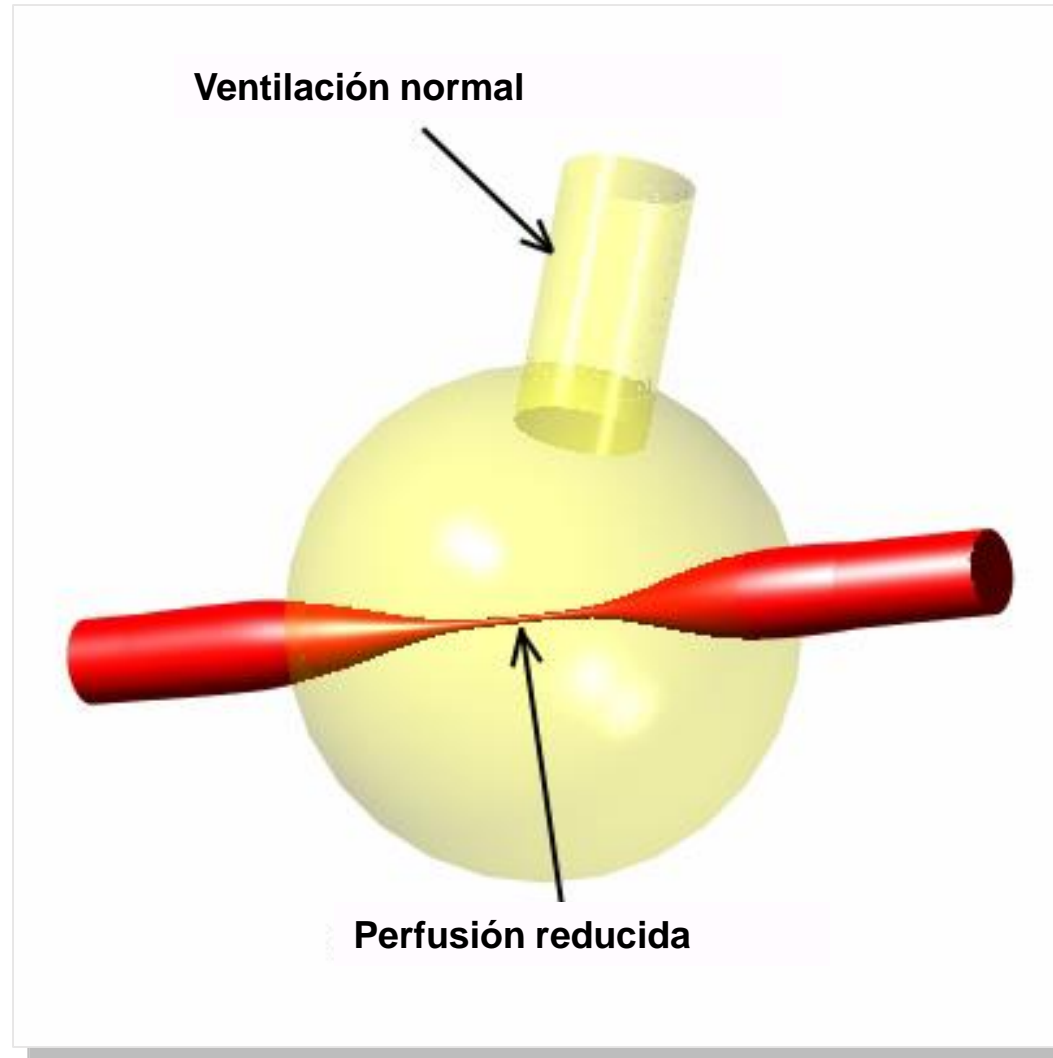
- Estimulación simpática sobre los grandes vasos (especialmente las venas). Esto permite desplazar sangre desde los pulmones

Efecto de la presión hidrostática

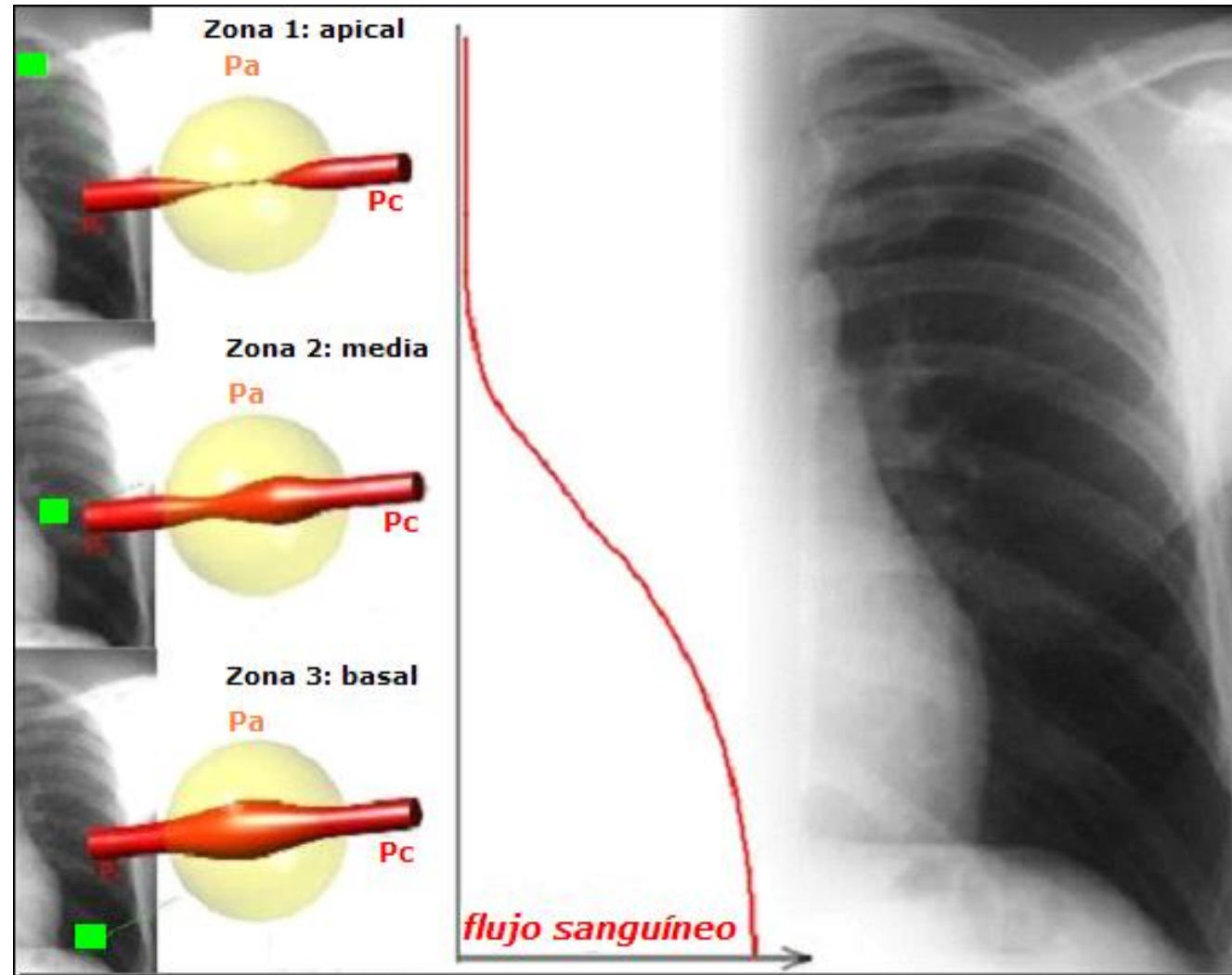
En posición
erecta

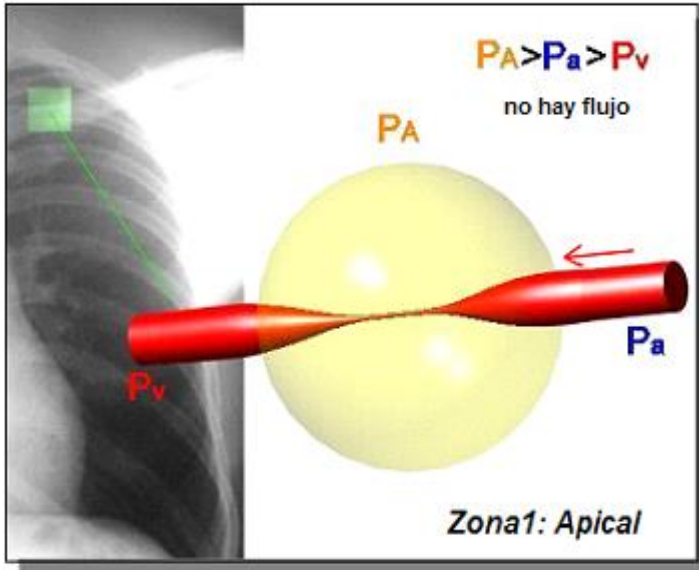


Relación Ventilación Perfusión

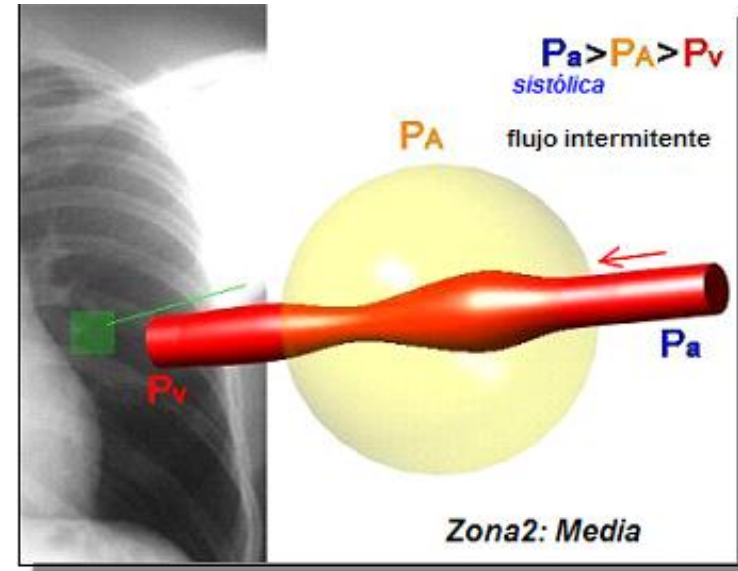


Flujo Regional Capilar

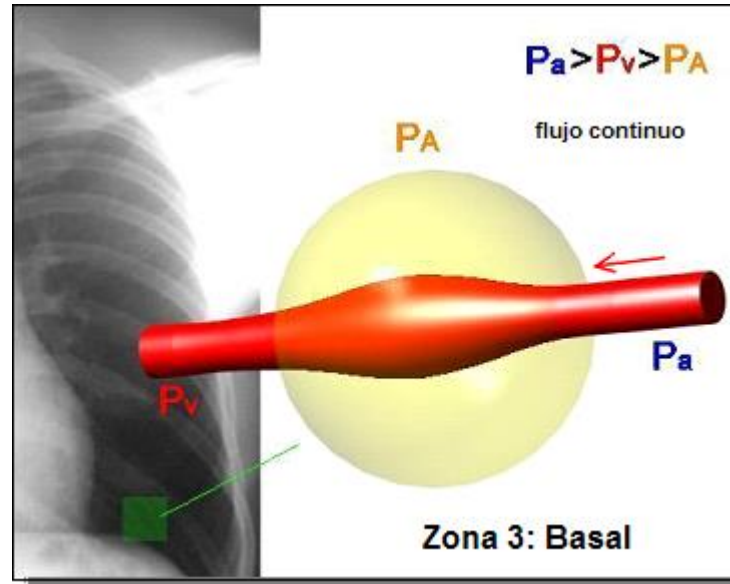




Zona 1



Zona 2



Zona 3

- **La zona 1 no existe en condiciones normales. Sólo hay 2 (en el vértice) y 3 (resto del pulmón).**

Vértice (a partir de 10 cm por encima del corazón):

PAs: 10 mm Hg y Pa: 0. Hay flujo durante la sístole.

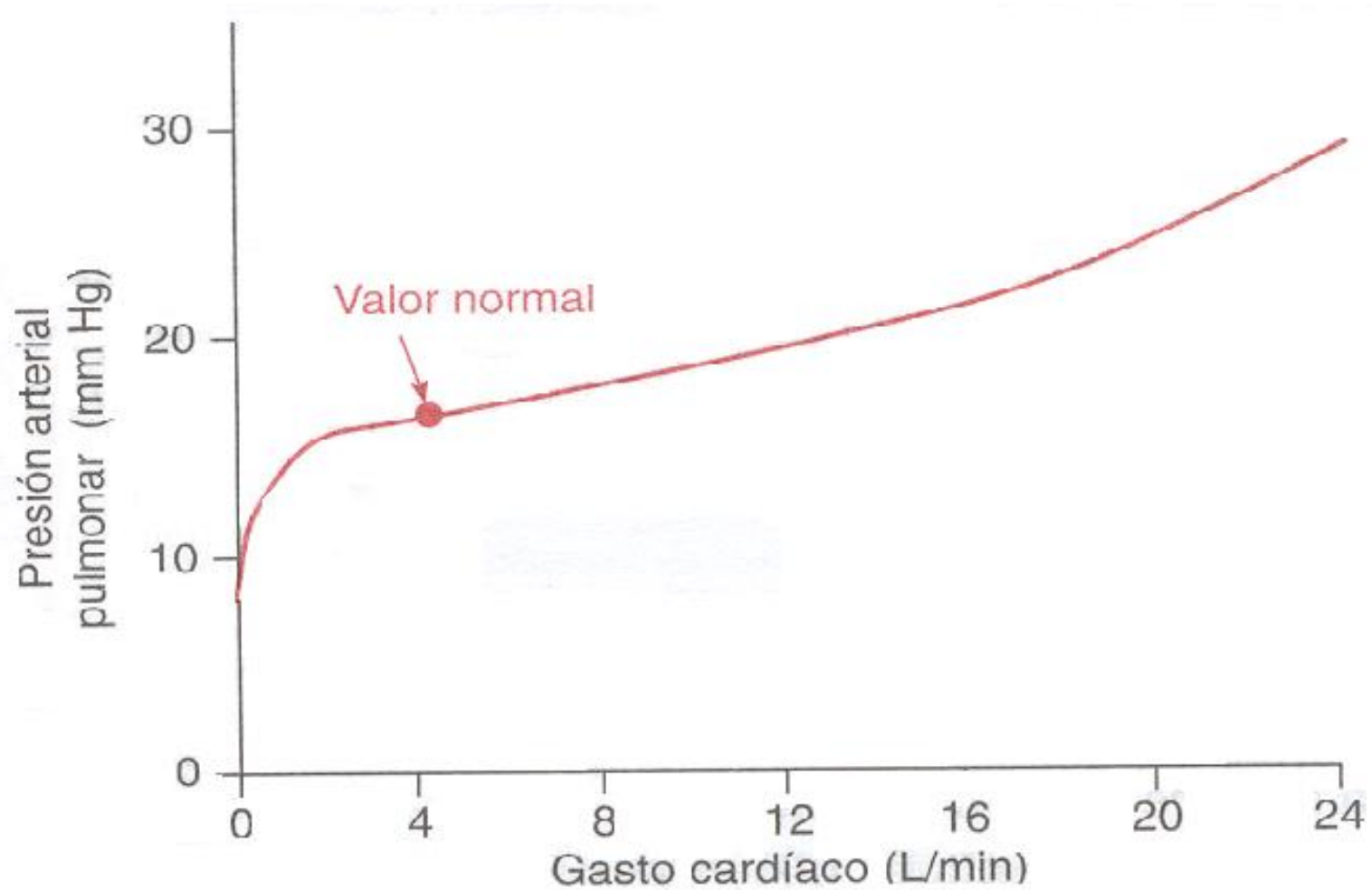
PAd: 8 mm Hg (a la altura del corazón) no alcanza para impulsar la sangre contra 15 mm Hg de ΔP con el vértice:

No hay flujo. Este es flujo de zona 2, intermitente.

Media y Baja (10 cm por encima del corazón hasta abajo):

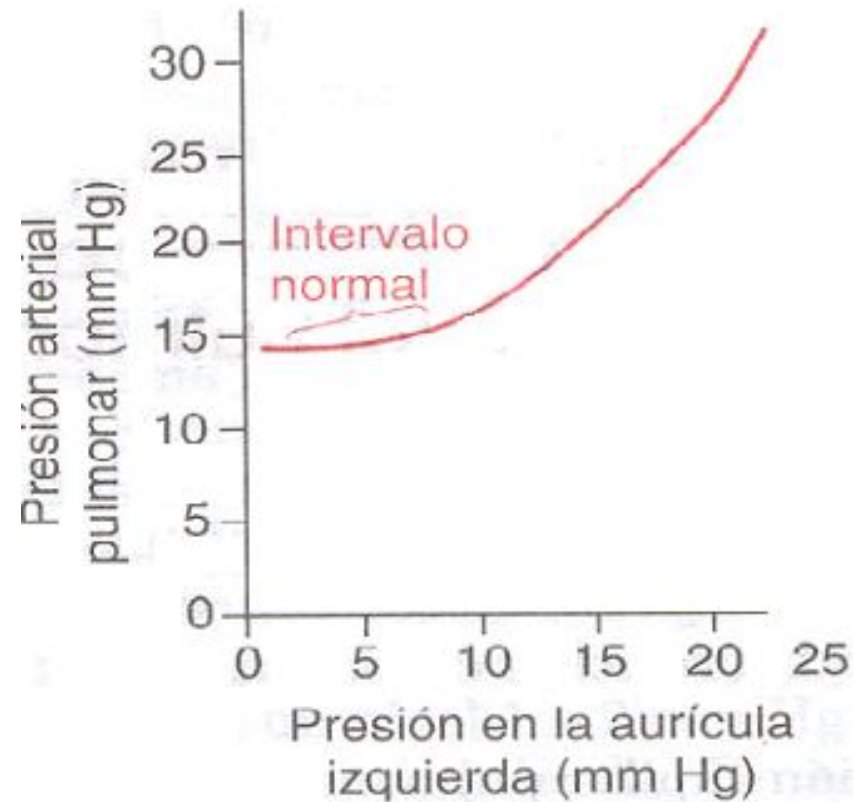
Tanto la presión sistólica como la diastólica superan la presión alveolar. Flujo de zona 3, continuo.

Efecto del aumento del Gasto cardíaco durante el ejercicio sobre la circulación pulmonar



Presión en Aurícula Izquierda vs Circulación Pulmonar

- La presión de AI (1-5 mm Hg) casi no tiene efecto sobre la CP.
- Sólo afecta cuando hay falla Izquierda:



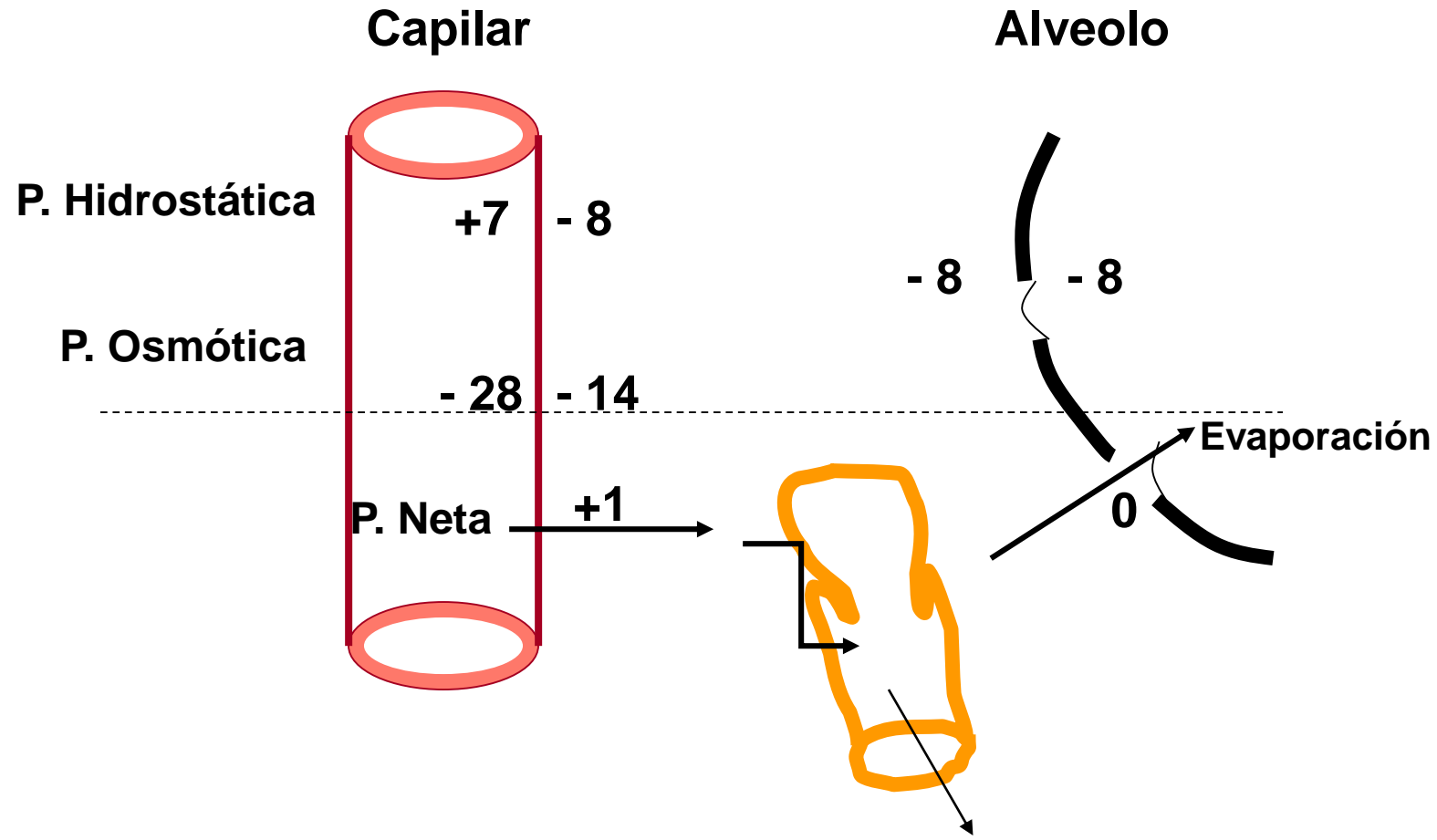
Dinámica Capilar Pulmonar

- **Presión capilar pulmonar: ~7mmHg**
- **La sangre que fluye a los capilares pulmonares realiza intercambio gaseoso en menos de 1seg.**
- **Este intercambio es *cualitativamente* semejante al que ocurre en tejidos periféricos, pero *cuantitativamente* diferente**

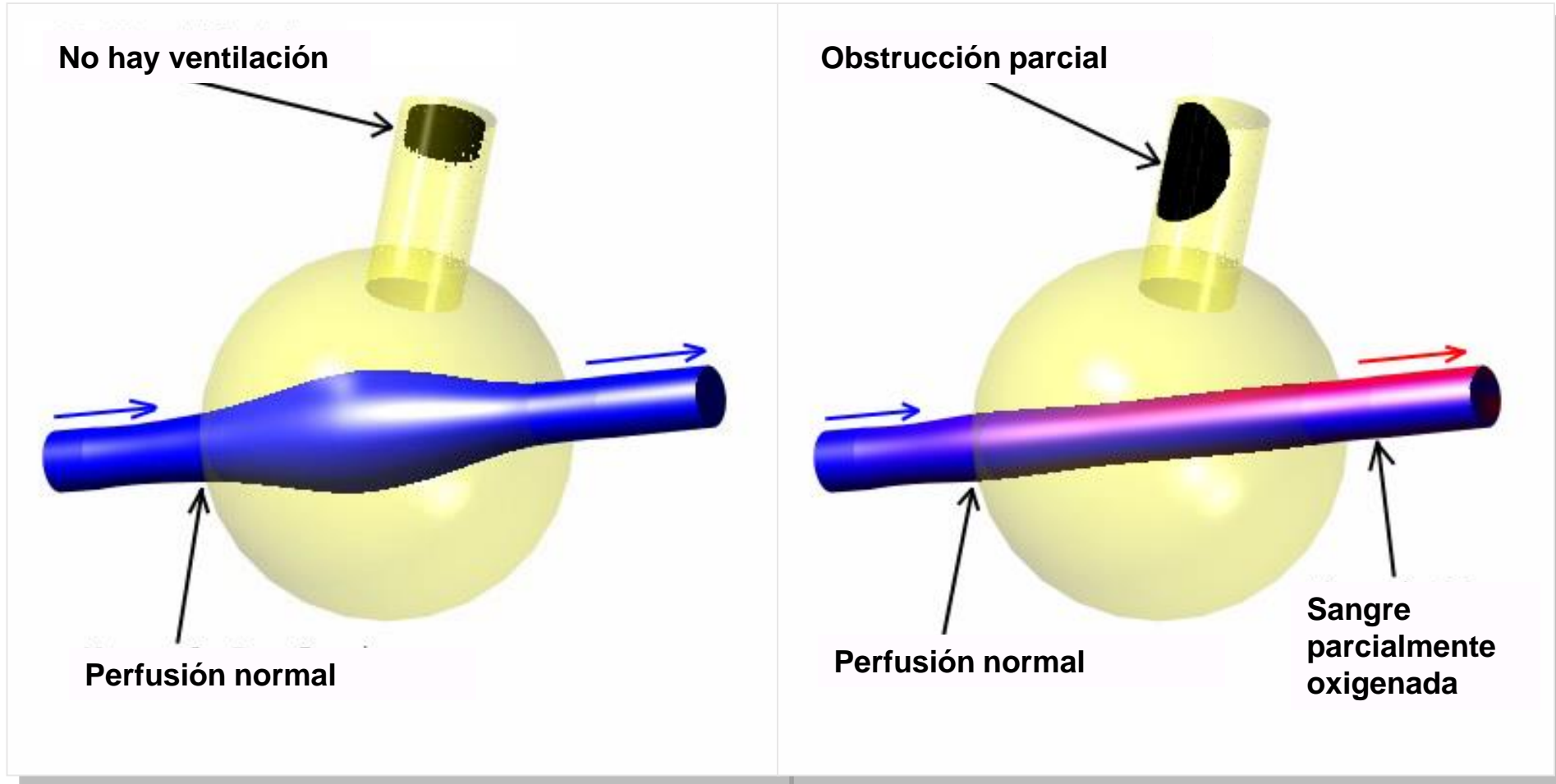
Dinámica Capilar Pulmonar

Fuerzas de salida:	
Presión capilar	7
Presión coloidosmótica del líquido intersticial	14
Presión negativa del líquido intersticial	8
TOTAL DE FUERZAS DE SALIDA	29
Fuerzas hacia adentro:	
Presión coloidosmótica del plasma	28
TOTAL DE FUERZAS HACIA ADENTRO	28
PRESIÓN NETA MEDIA DE FILTRACIÓN	+ 1

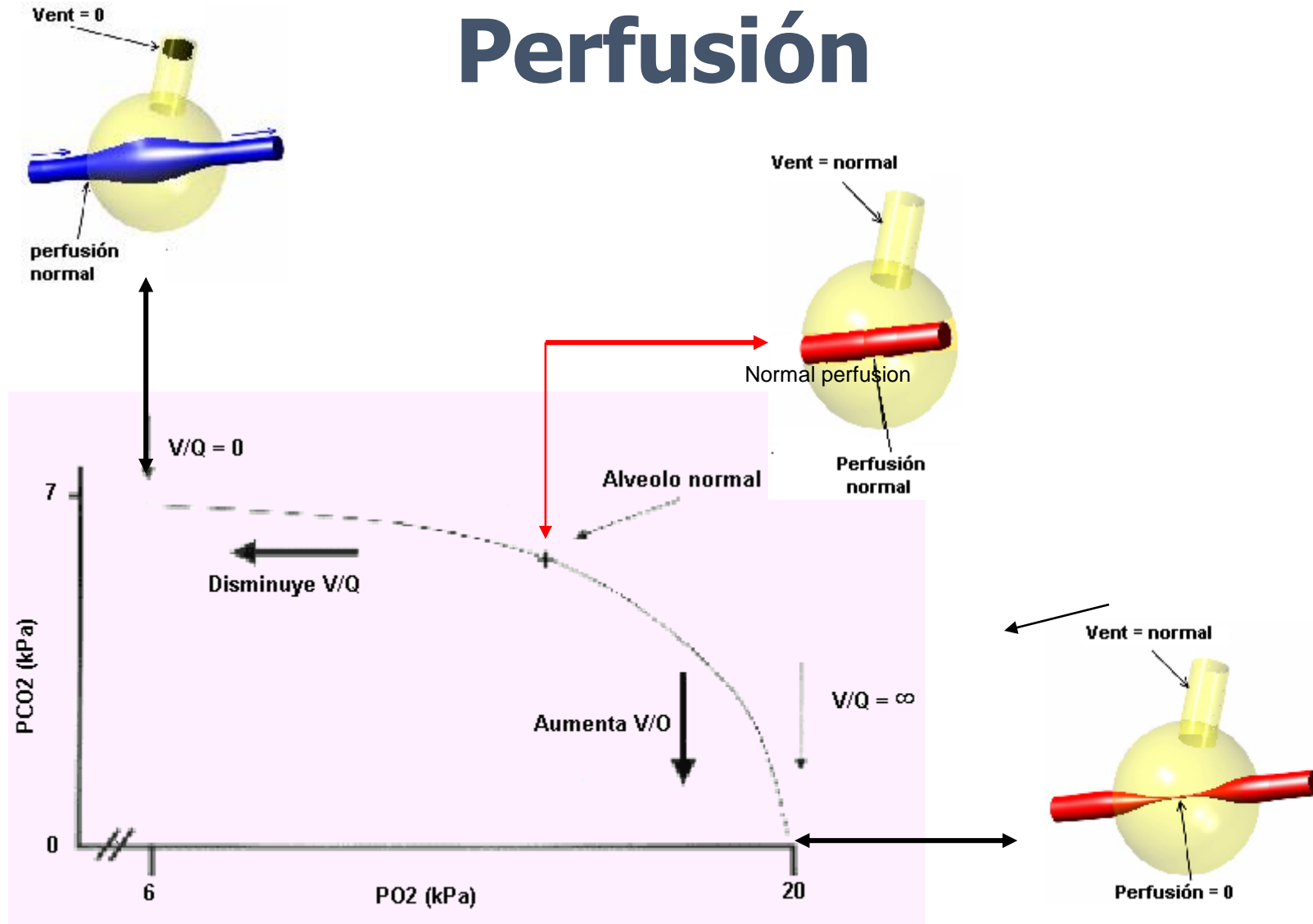
Presiones que producen movimiento de líquidos



Relación Ventilación Perfusión



Relación Ventilación Perfusión



Bibliografía

- Guyton AC, Hall JE. **Tratado de Fisiología Médica. 12ª ed. España; Elsevier, 2011.**
- Mezquita C, Mezquita J **Fisiología Médica. Editorial Panamericana. 2011.**
- Silverthorn D. **Fisiología Humana. 6ª. Edición. Editorial Panamericana. 2013.**

