

Biofísica Respiratoria

Rafael Porcile

rafael.porcile@vandeduc.edu.ar

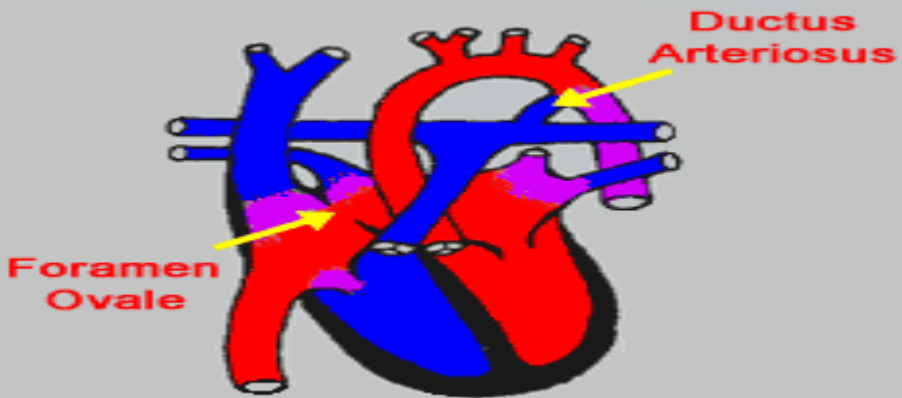
DEPARTAMENTO DE CARDIOLOGIA

CÁTEDRA DE FISIOLÓGIA

Universidad Abierta Interamericana



Fetal Heart



Fetal circulation



Funciones del aparato respiratorio

Ventilación pulmonar

- Entrada y salida de aire

Difusión de O₂ y CO₂ entre los alveolos y la sangre

Transporte de O₂ y CO₂ en la sangres y líquidos corporales

- Hacia y desde las células

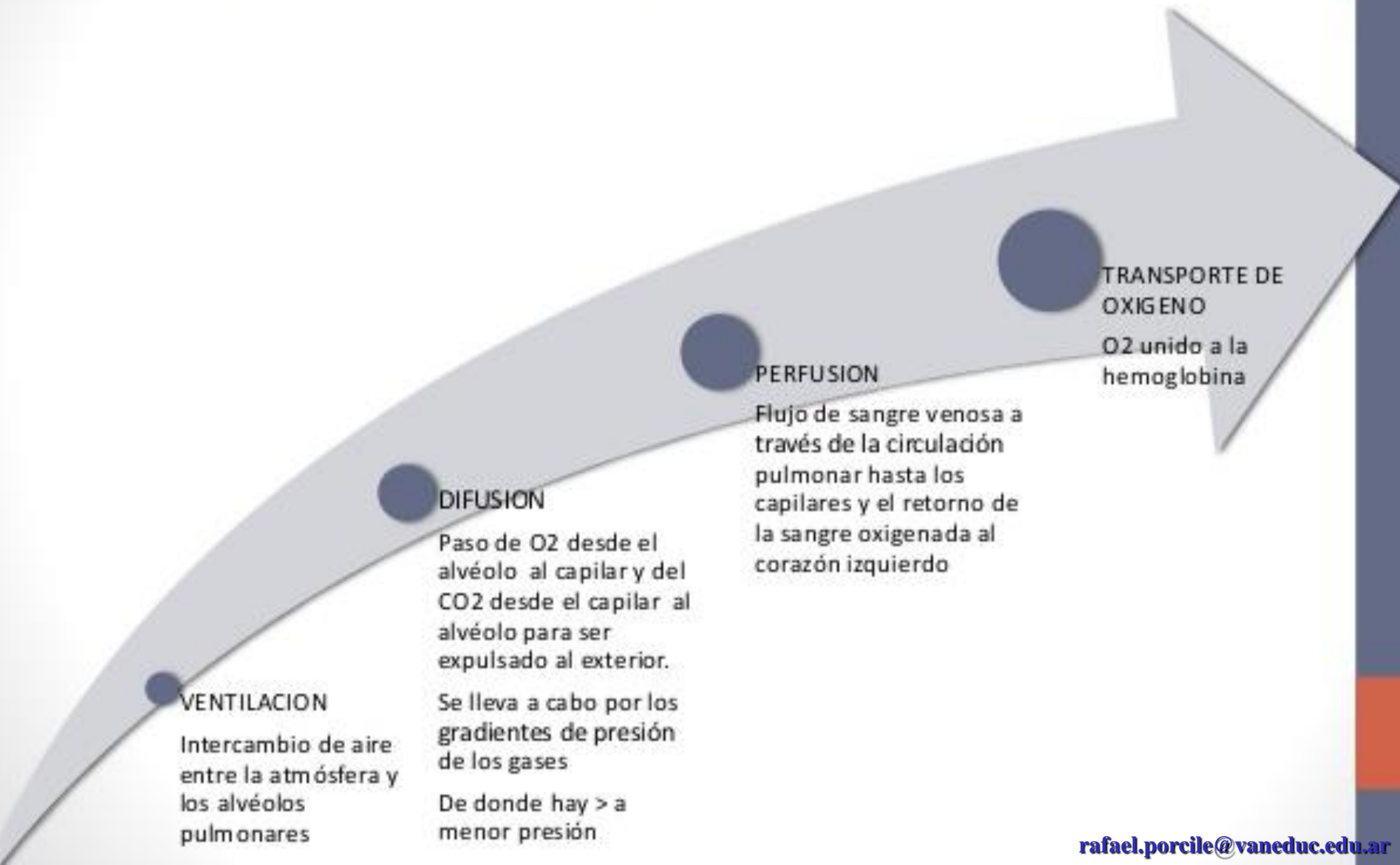
Regulación de la ventilación

Funciones del aparato respiratorio



Difusión de
O₂ y CO₂
entre los
alveolos y
la sangre

Etapas de la respiración

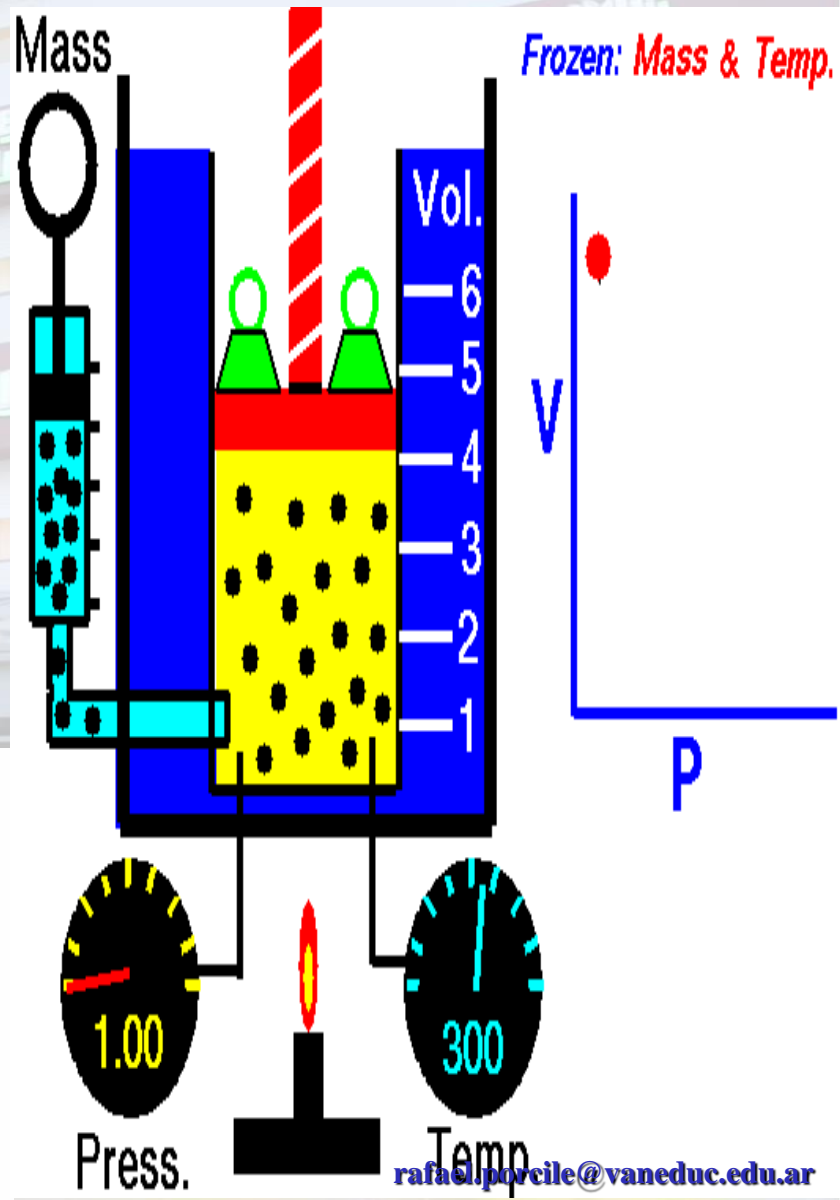


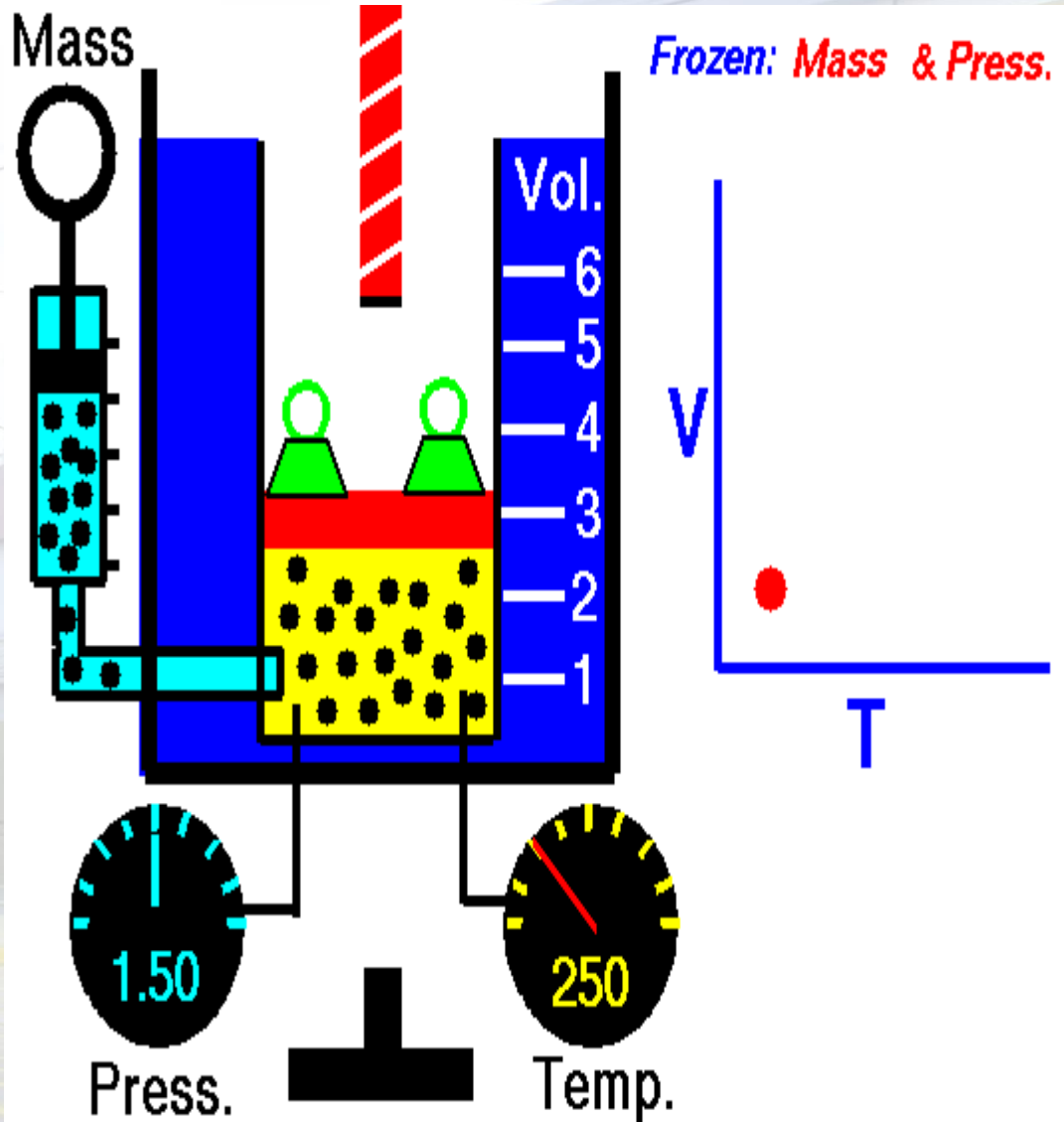


A background image of a beach with waves crashing on the shore under a cloudy sky. The text is overlaid on this image.

BIOFISICA DEL El aire

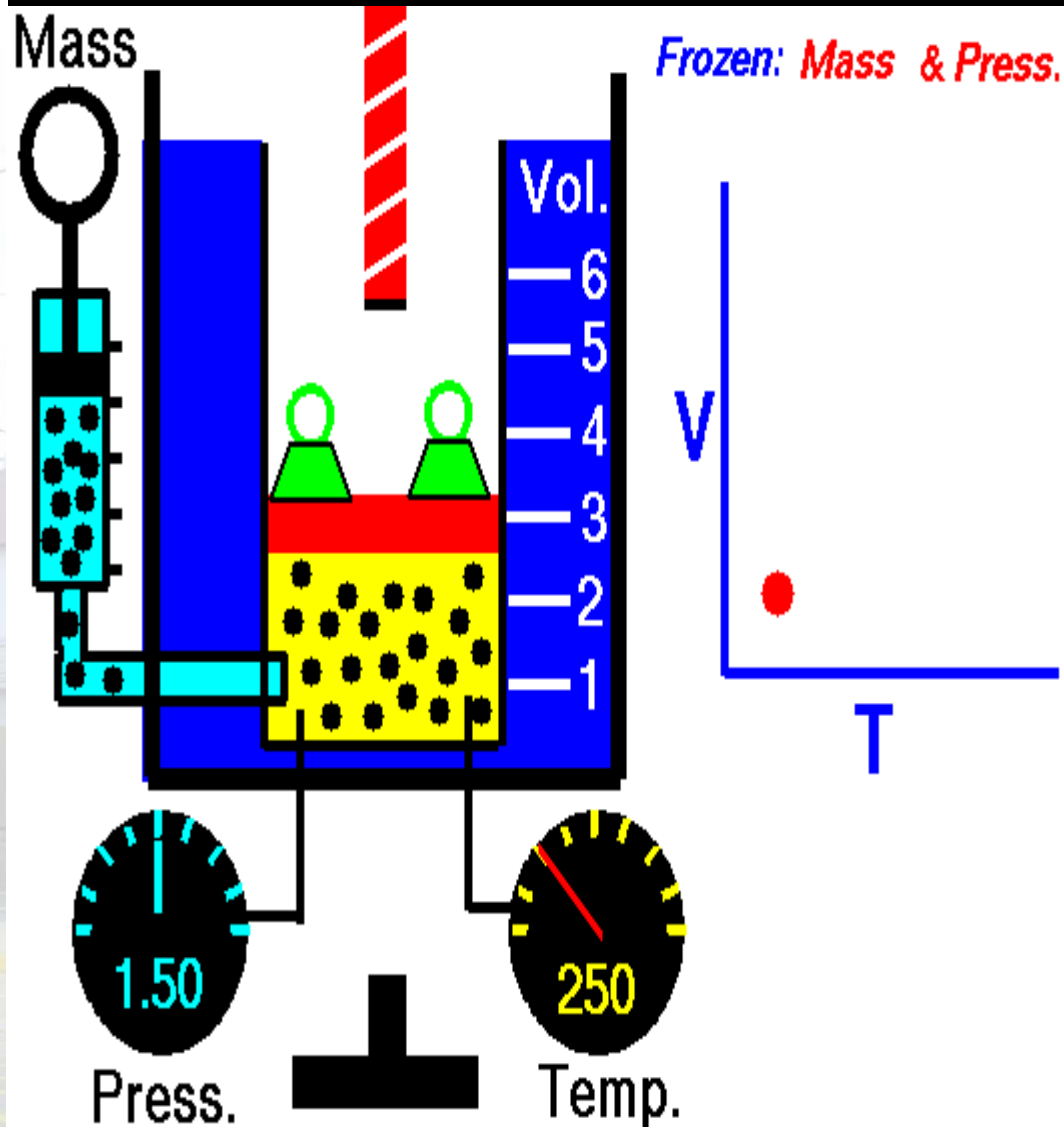
Que dice esta ley?





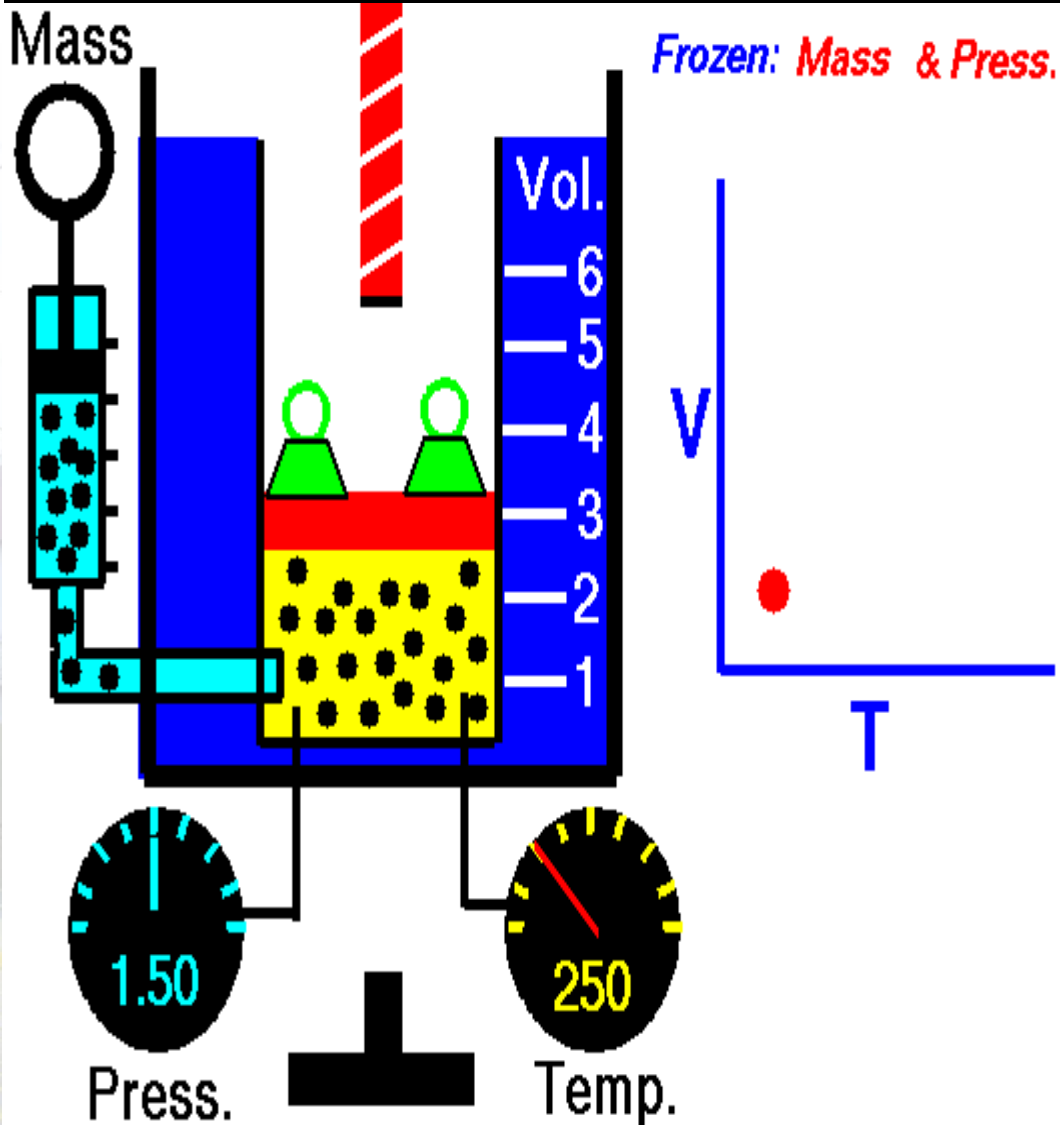
Que dice esta ley?

Ley de Charles

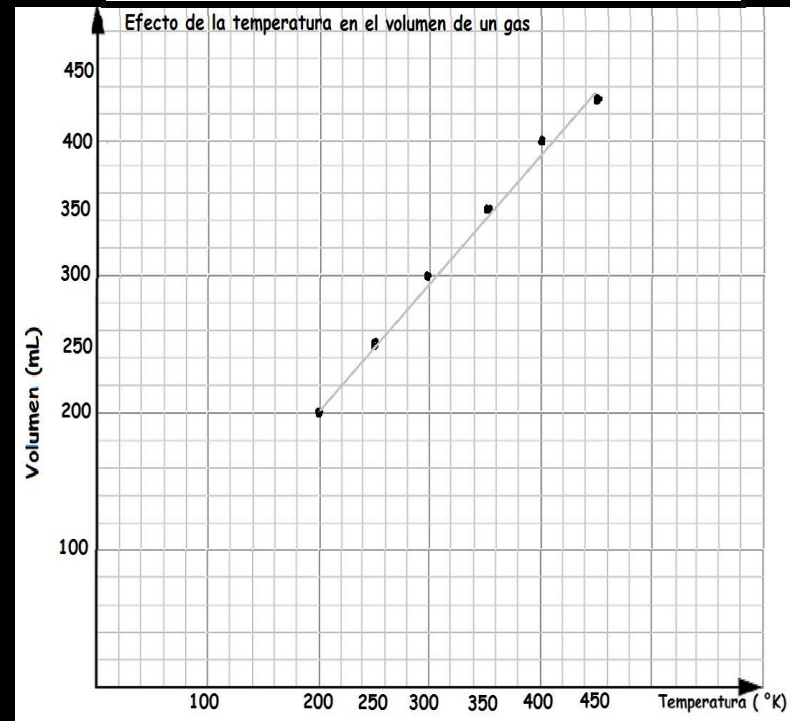


A presión constante, el volumen de una masa dada de gas varía directamente con la temperatura absoluta

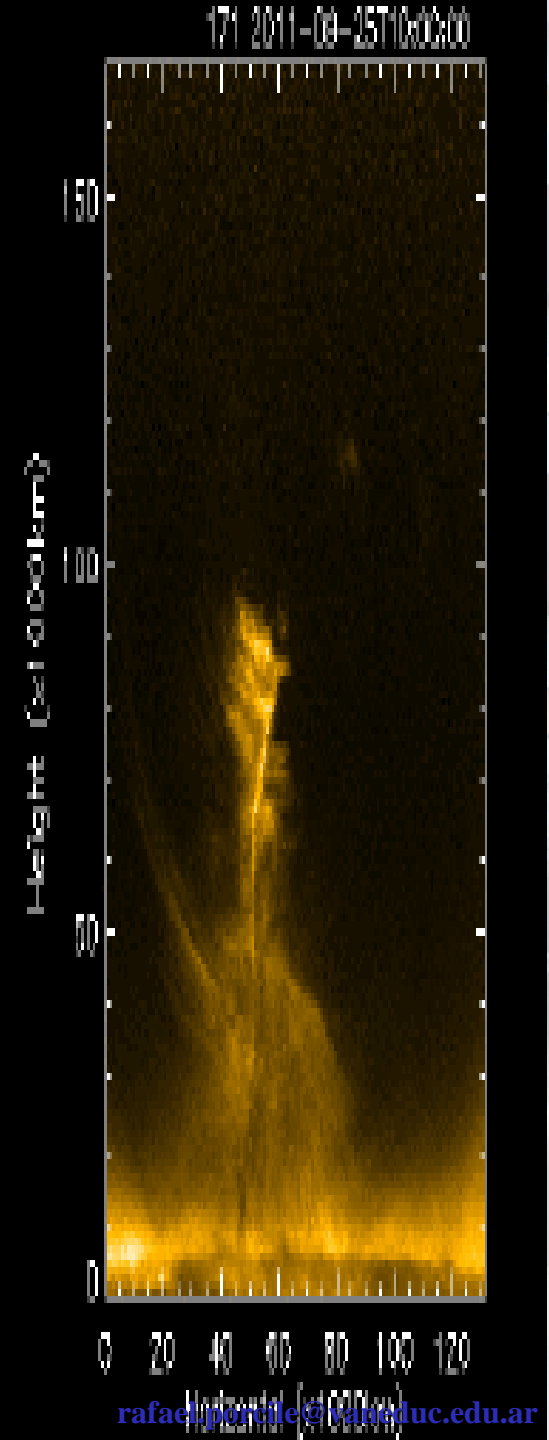
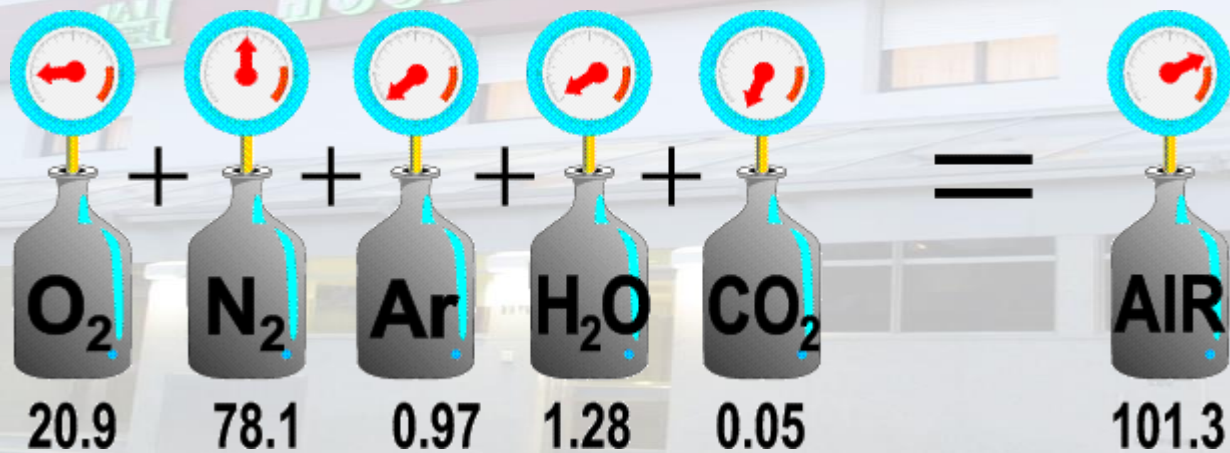
Ley de Charles



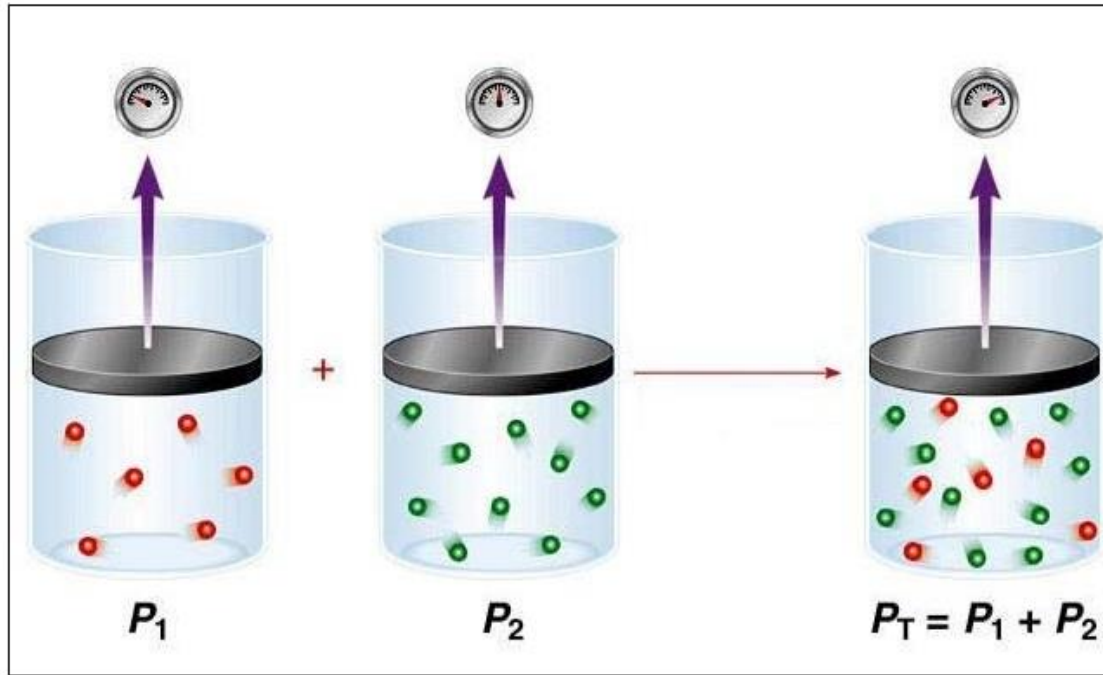
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



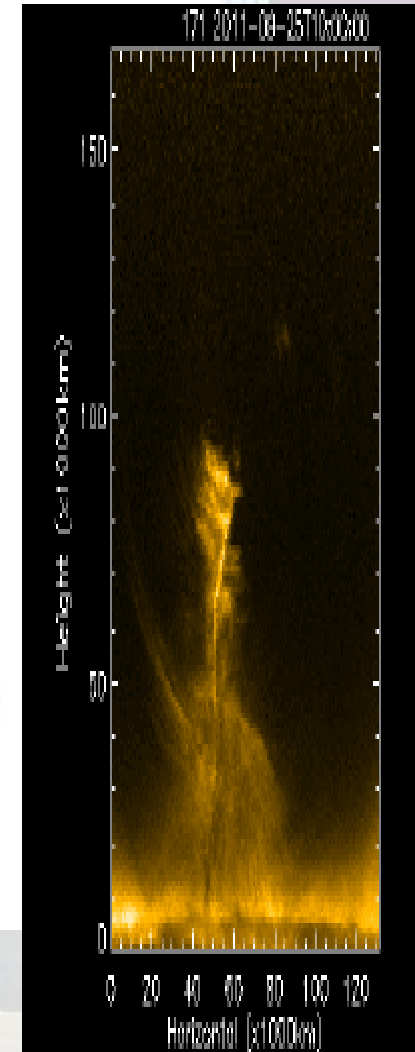
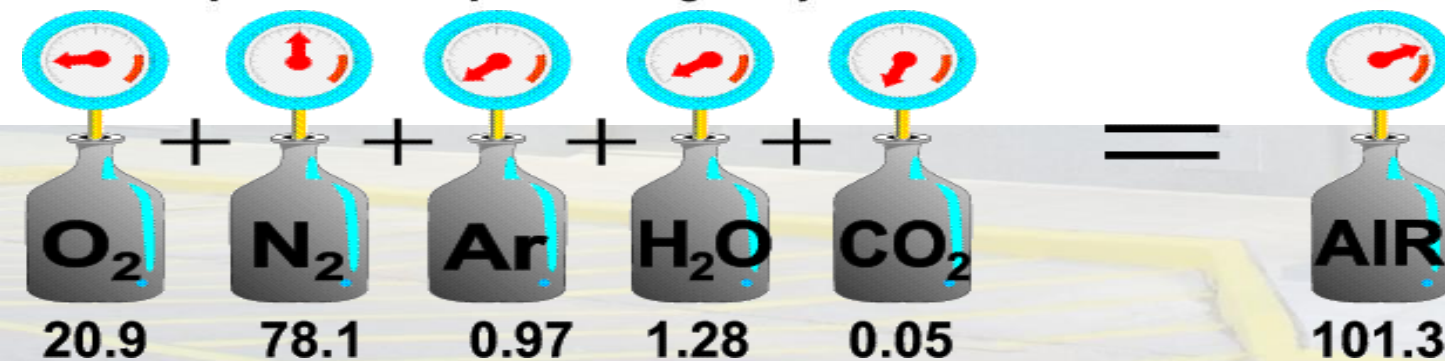
Que dice esta ley?



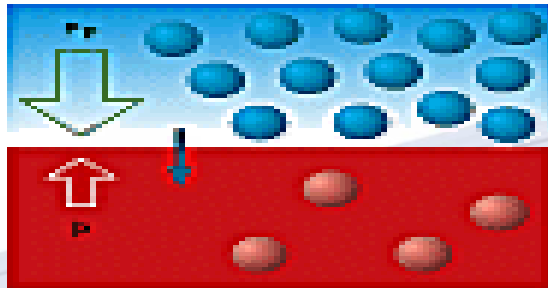
Ley de Dalton de las presiones parciales



La presión total de una mezcla de gases es la suma de las presiones que cada gas ejercería si estuviera solo.

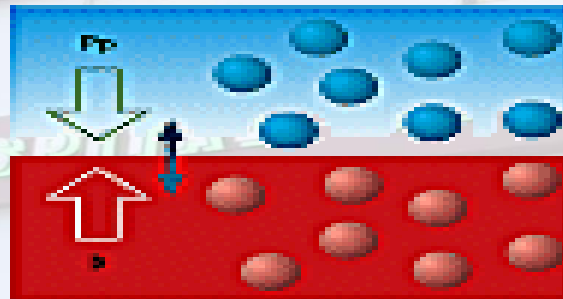


El gas se disuelve



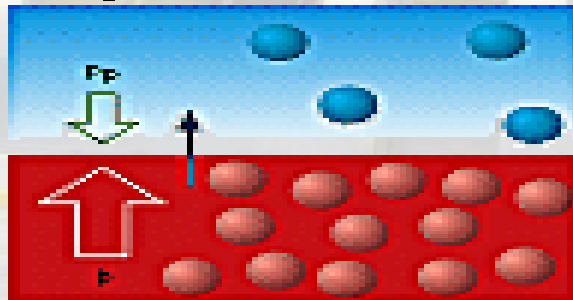
SANGRE INSATURADA

El gas no se disuelve

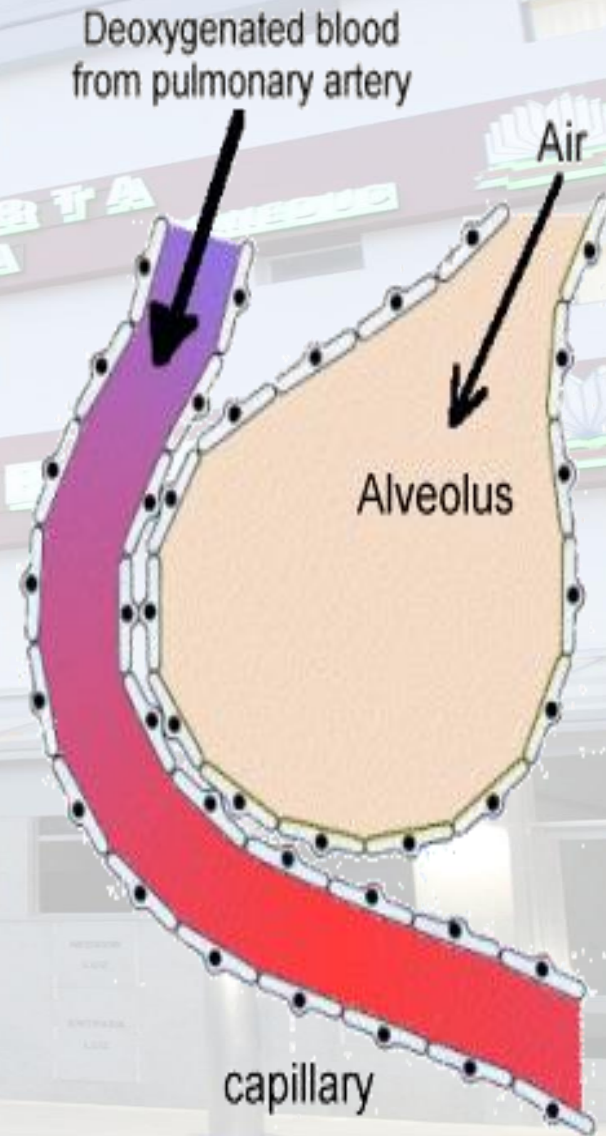


SANGRE SATURADA

**El gas disuelto
pasa al aire**



SANGRE SOBRESATURADA



Ley de Boyle

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



Ley Combinada

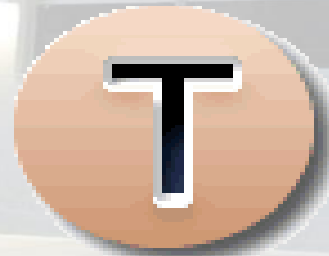
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Ley de Charles

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Ley de Gay-Lussac

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



Compuestos por moléculas que se mueven al azar

GASES

LEYES FÍSICAS DE LOS GASES

Ley de Boyle

La presión de un gas \uparrow si se calienta, \uparrow si se comprime y \downarrow si se humedece

Ley de Dalton

La presión total de un gas es = a la suma de las presiones parciales de sus componentes

Ley de Henry

Los componentes de los gases difunden a través de las membranas de un medio a otro

Ley de Fick

La difusión de un gas es

Directamente proporcional al:

- Gradiente de presión del gas
- Coeficiente de difusión del gas
- Superficie de intercambio

Inversamente proporcional al grosor de la membrana que tiene que atravesar.



The background of the slide is a composite image. The upper portion shows the Earth's atmosphere as a thin, glowing blue and white layer against the blackness of space. The lower portion shows a vast field of stars, likely a galaxy, with a bright, glowing region in the lower right corner. The text 'La atmosfera' is overlaid in a large, blue, serif font.

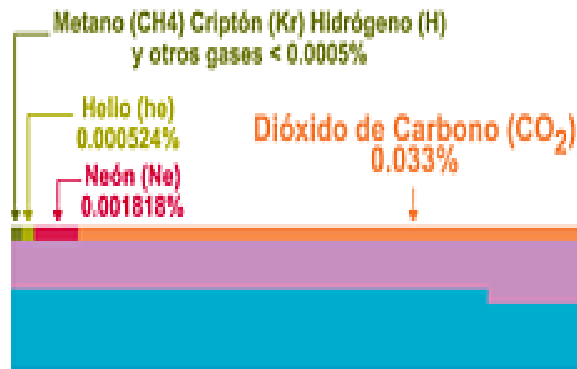
La atmosfera

Composición de la Atmósfera Terrestre

Argón (Ar)
0.934%



Ampliación



Oxígeno (O₂)
20.946%

Nitrógeno (N₂)
78.084%

Otros gases

Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%

Xenón (Xe): $9 \times 10^{-6}\%$

Ozono (O₃): $7 \times 10^{-6}\%$

Óxido de Nitrógeno (NO₂): $2 \times 10^{-6}\%$

Yodo (I): $1 \times 10^{-6}\%$

500 pixeles

Composición de la Atmósfera Terrestre

Fi O₂



Otros gases

Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%

Xenón (Xe): 9x10⁻⁶%

Ozono (O₃): 7x10⁻⁶%

Óxido de Nitrógeno (NO₂): 2x10⁻⁶%

Yodo (I): 1x10⁻⁸%

Argón (Ar)
0.934%



Oxígeno (O₂)
20.946%

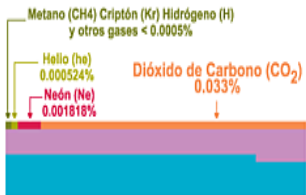
Nitrógeno (N₂)
78.084%

500 pixeles

¿y.. Cual es el 100 % ?

Composición de la Atmósfera Terrestre

Ampliación



Argón (Ar)
0.934%

Oxígeno (O₂)
20.946%

Nitrógeno (N₂)
78.084%

500 pixeles

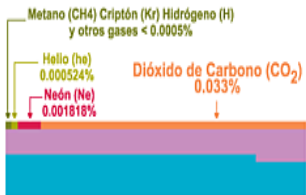
Otros gases

- Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%
- Xenón (Xe): 9x10⁻⁶%
- Ozono (O₃): 7x10⁻⁶%
- Óxido de Nitrógeno (NO₂): 2x10⁻⁶%
- Yodo (I): 1x10⁻⁶%

El 100 % es la presión atmosférica

Composición de la Atmósfera Terrestre

Ampliación



Argón (Ar)
0.934%

Oxígeno (O₂)
20.946%

Nitrógeno (N₂)
78.084%

500 pixeles

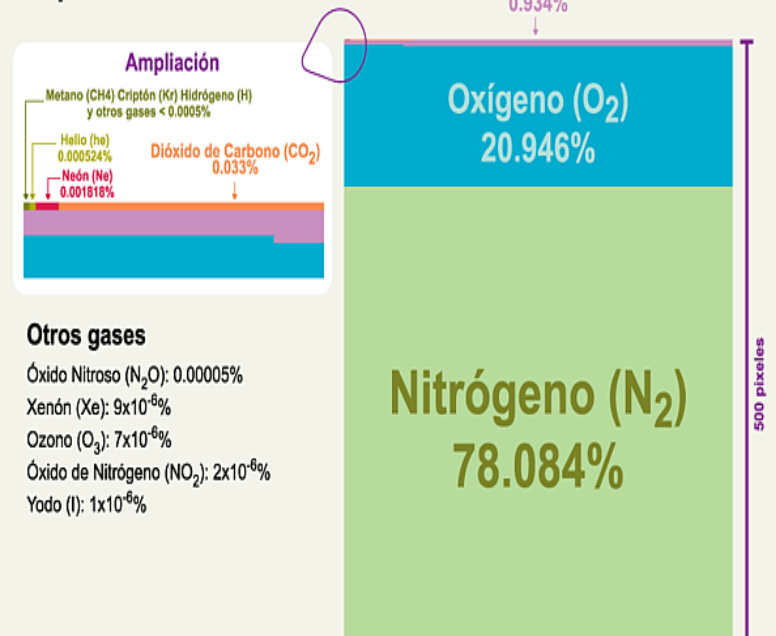
Otros gases

Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%
Xenón (Xe): 9x10⁻⁶%
Ozono (O₃): 7x10⁻⁶%
Óxido de Nitrógeno (NO₂): 2x10⁻⁶%
Yodo (I): 1x10⁻⁶%

El 100 % es la presión atmosférica

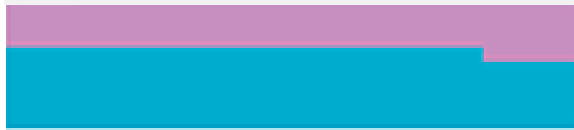
760 mm Hg A
NIVEL DEL MAR

Composición de la Atmósfera Terrestre



Composición de la Atmósfera Terrestre

Pi O₂



Otros gases

Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%

Xenón (Xe): 9x10⁻⁶%

Ozono (O₃): 7x10⁻⁶%

Óxido de Nitrógeno (NO₂): 2x10⁻⁶%

Yodo (I): 1x10⁻⁸%

Argón (Ar)
0.934%

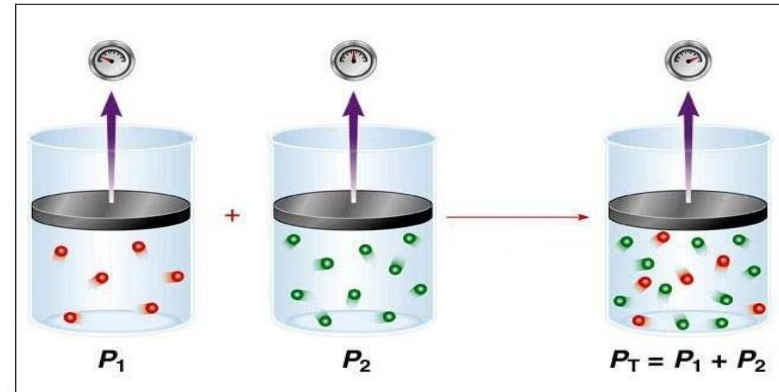


Oxígeno (O₂)
20.946%
104mm Hg.

Nitrógeno (N₂)
78.084%

500 pixeles

Ley de Dalton de las presiones parciales



La presión total de una mezcla de gases es la suma de las presiones que cada gas ejercería si estuviera solo.

Composición de la Atmósfera Terrestre

Ampliación



Oxígeno (O_2)
20.946%

Argón (Ar)
0.934%

Nitrógeno (N_2)
78.084%

500 pixeles

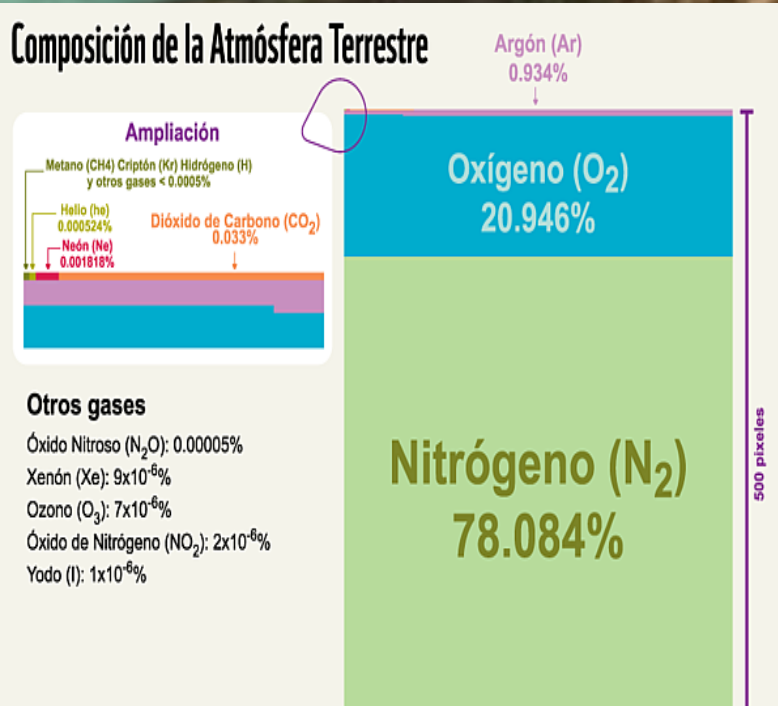
Otros gases

Óxido Nitroso (N_2O): 0.00005%
Xenón (Xe): $9 \times 10^{-6}\%$
Ozono (O_3): $7 \times 10^{-6}\%$
Óxido de Nitrógeno (NO_2): $2 \times 10^{-6}\%$
Yodo (I): $1 \times 10^{-6}\%$

El 100 % es la presión atmosférica

760 mm Hg A NIVEL DEL MAR

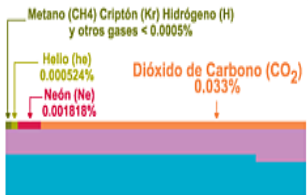
ESTA PRESION VARÍA SEGÚN LA ALTURA SOBRE EL 0



El 100 % es la presión atmosférica

Composición de la Atmósfera Terrestre

Ampliación



Argón (Ar)
0.934%

Oxígeno (O₂)
20.946%

Nitrógeno (N₂)
78.084%

500 pixeles

Otros gases

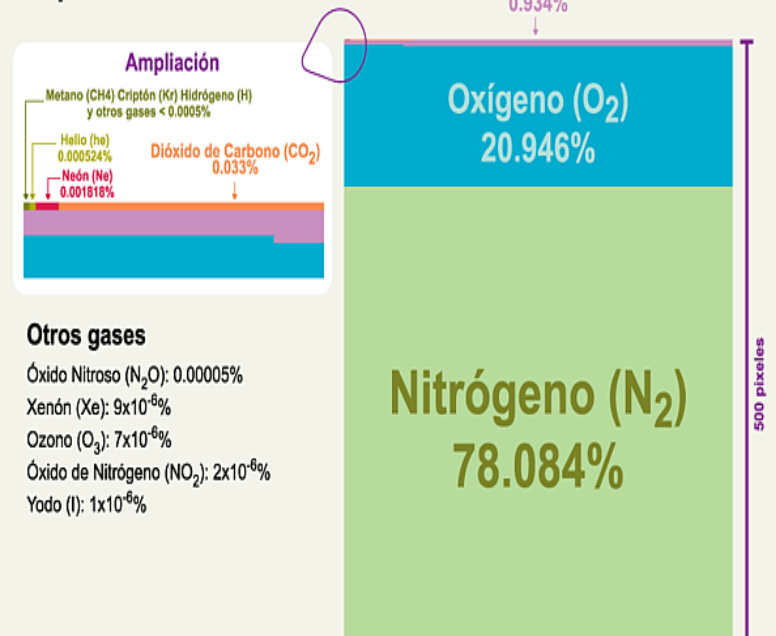
- Óxido Nitroso (N₂O): 0.00005%
- Xenón (Xe): 9x10⁻⁶%
- Ozono (O₃): 7x10⁻⁶%
- Óxido de Nitrógeno (NO₂): 2x10⁻⁶%
- Yodo (I): 1x10⁻⁶%



El 100 % es la presión atmosférica

De esto resulta una presión inspiratoria de oxígeno (PI_{O_2}) de 159 mm Hg (el 20.9% de 760 mm hg)

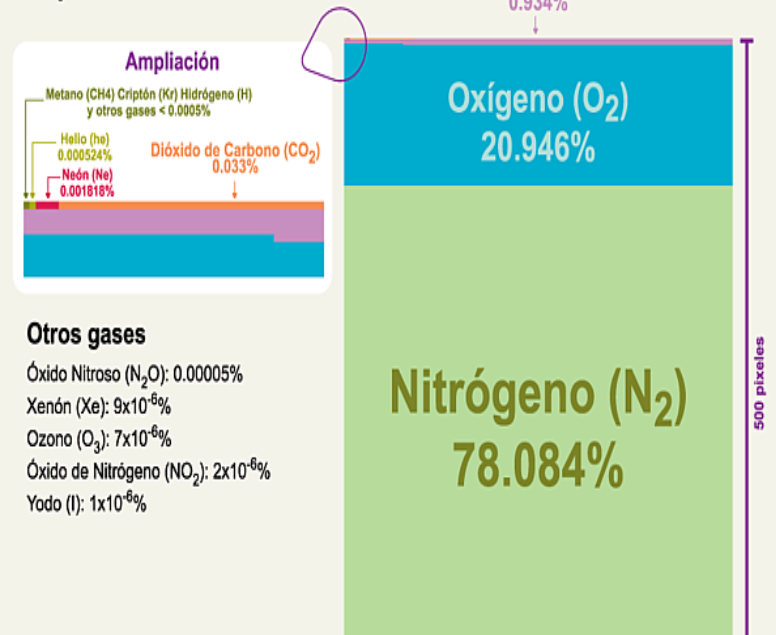
Composición de la Atmósfera Terrestre



El 100 % es la presión atmosférica

La altura del centro de la ciudad de La Paz, Bolivia, es 3600 metros sobre el nivel del mar (msnm) y la presión atmosférica está en un promedio de 495 mm Hg

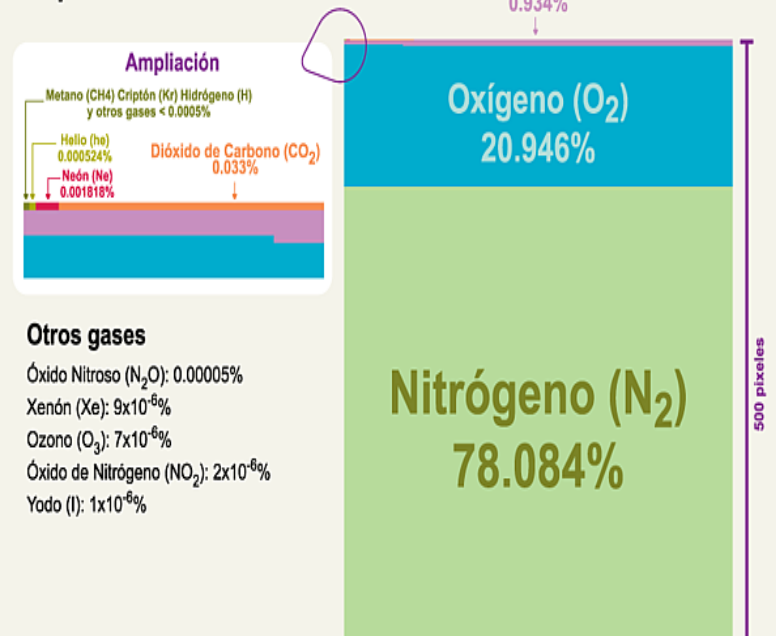
Composición de la Atmósfera Terrestre



El 100 % es la presión atmosférica

De esto resulta una presión inspiratoria de oxígeno (PI_{O_2}) de 104 mm Hg y una PO_2 alveolar (PA_{O_2}) de alrededor de 65 mm Hg, lo que corresponde a la respiración del 13.1% de oxígeno a nivel del mar.

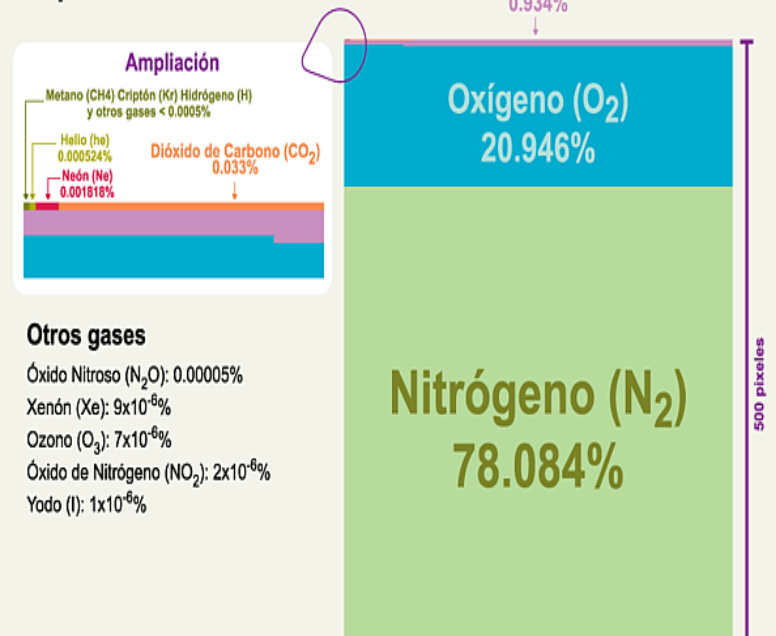
Composición de la Atmósfera Terrestre



El 100 % es la presión atmosférica

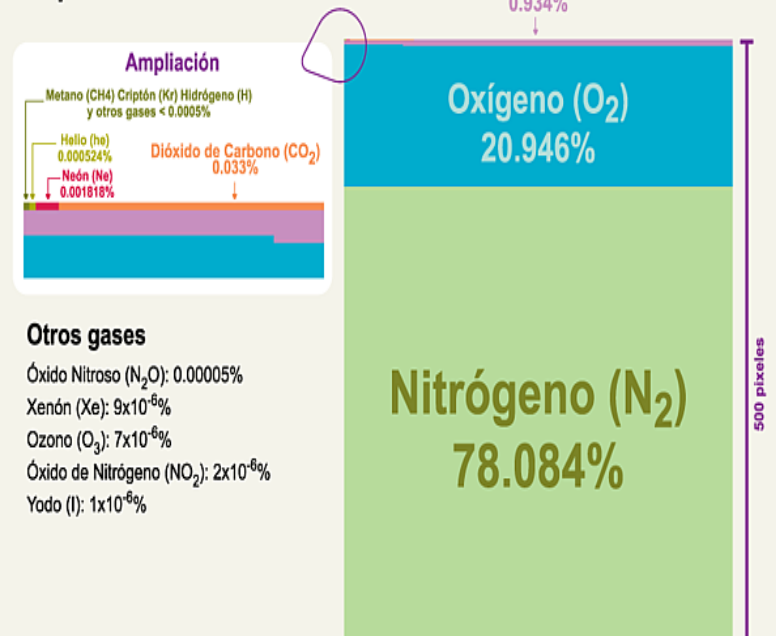
De esto resulta una presión inspiratoria de oxígeno (PI_{O_2}) de 159 mm Hg (el 20.9% de 760 mm hg)

Composición de la Atmósfera Terrestre



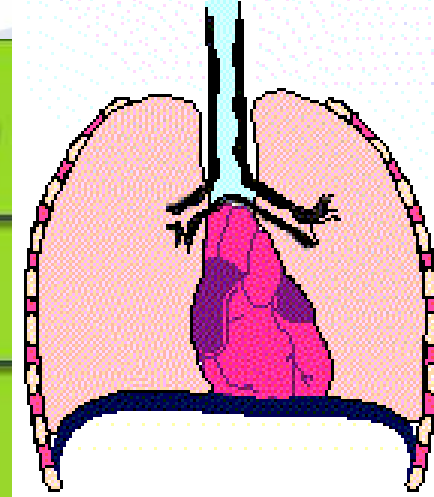
¿Cuanto oxigeno hay en el alveolo?

Composición de la Atmósfera Terrestre



De esto resulta una presión inspiratoria de oxígeno (P_IO₂) de 149 mm Hg (el 20.9% de 760 mm hg)

CIUDAD	ALTURA	PRESIÓN ATMOSFÉRICA
Guayaquil	0 mts	760mmHg
Bogotá	2.600 mts	560mmHg
Quito	2.800 mts	546mmHg
La Paz	3.500 mts	500mmHg
Monte Everest	8.848 mts	250mmHg



Composición del aire

Atmosférico

Alveolar

NITRÓGENO

78.62%

74.9%

OXIGENO

20.84%

13.9%

DIÓXIDO DE CARBONO

0.04%

5.3%

AGUA

0.05%

6.2%

Aire atmosférico

pO₂ – 160mmHg

pN₂ – 600mmHg

Total 760mmHg

Aire alveolar

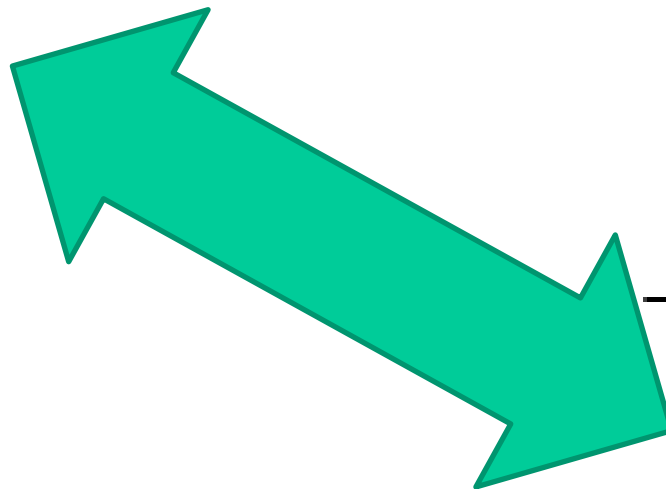
pO₂ – 104mmHg

pN₂ – 569mmHg

pH₂O – 47mmHg

pCO₂ – 40mmHg

Total 760mmHg

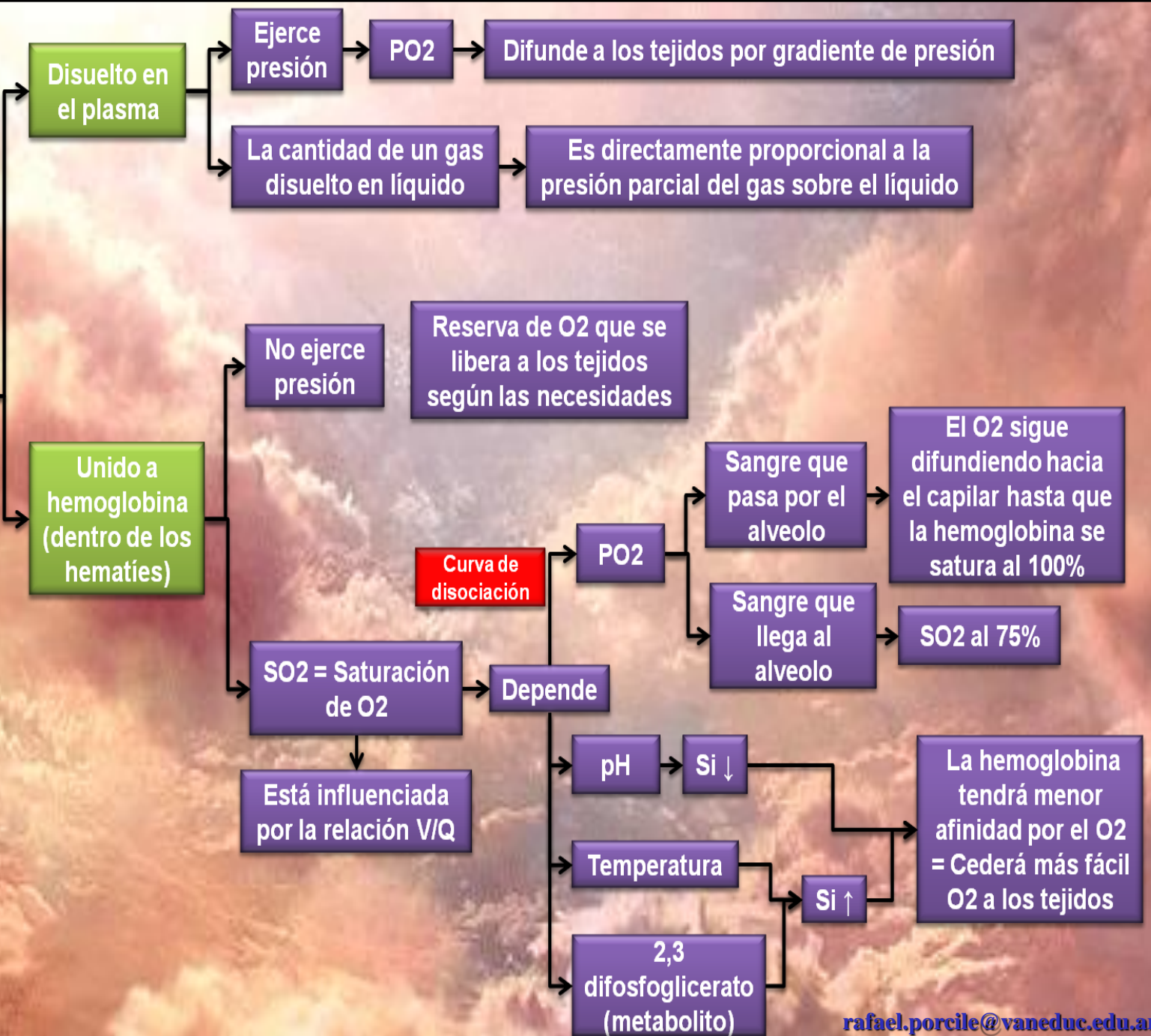




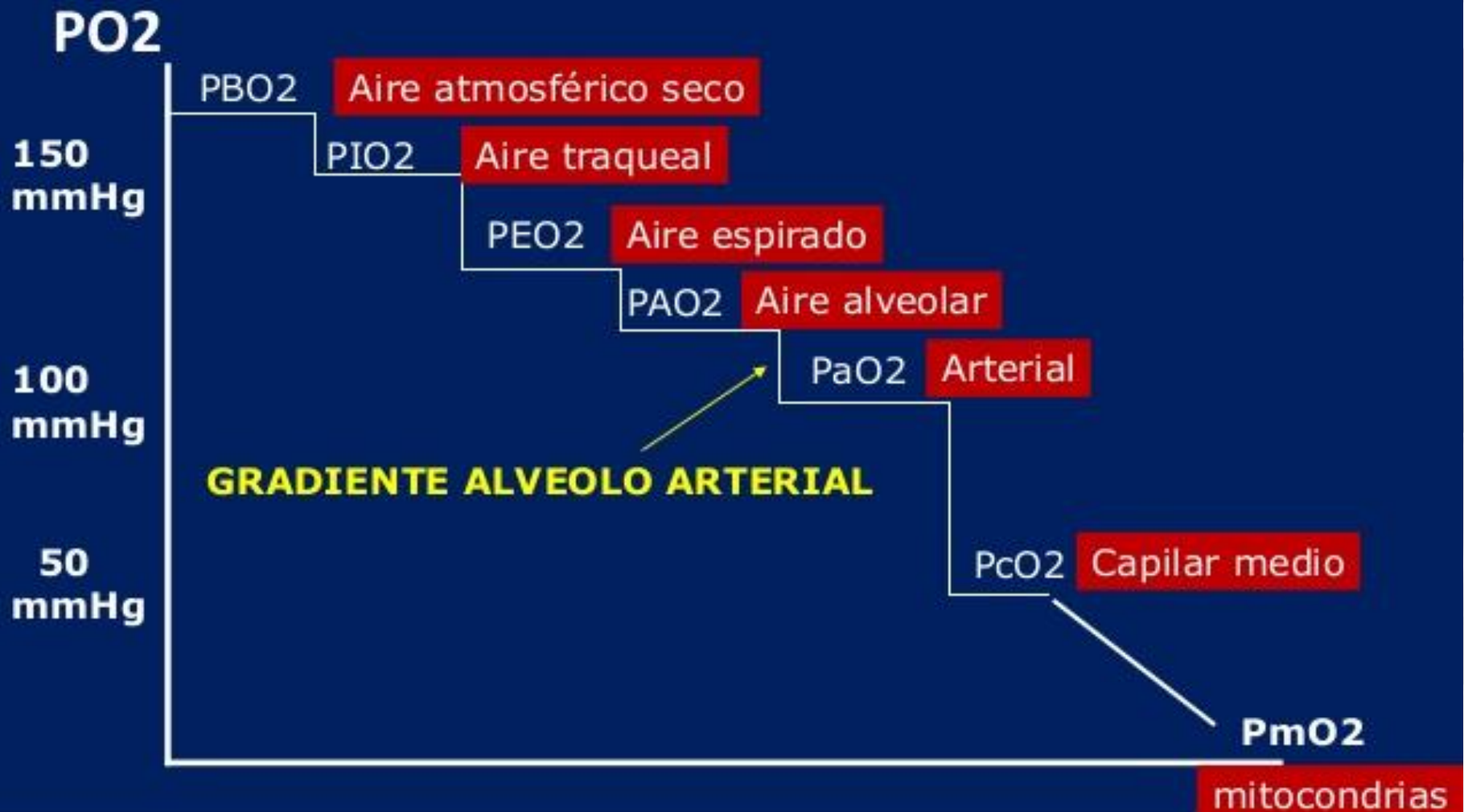


oxígeno

TRANSPORTE DE O2 EN SANGRE



Presiones O₂



Según la ecuación simplificada del aire alveolar, la presión alveolar de O₂ en condiciones de ventilación normal y a nivel del mar es:

$$P_{AO_2} = P_{iO_2} - \frac{P_aCO_2}{QR}$$

$$P_{AO_2} = 150\text{mmHg} - \frac{40\text{mmHg}}{0,8}$$

$$P_{AO_2} = 150 - 50\text{mmHg}$$

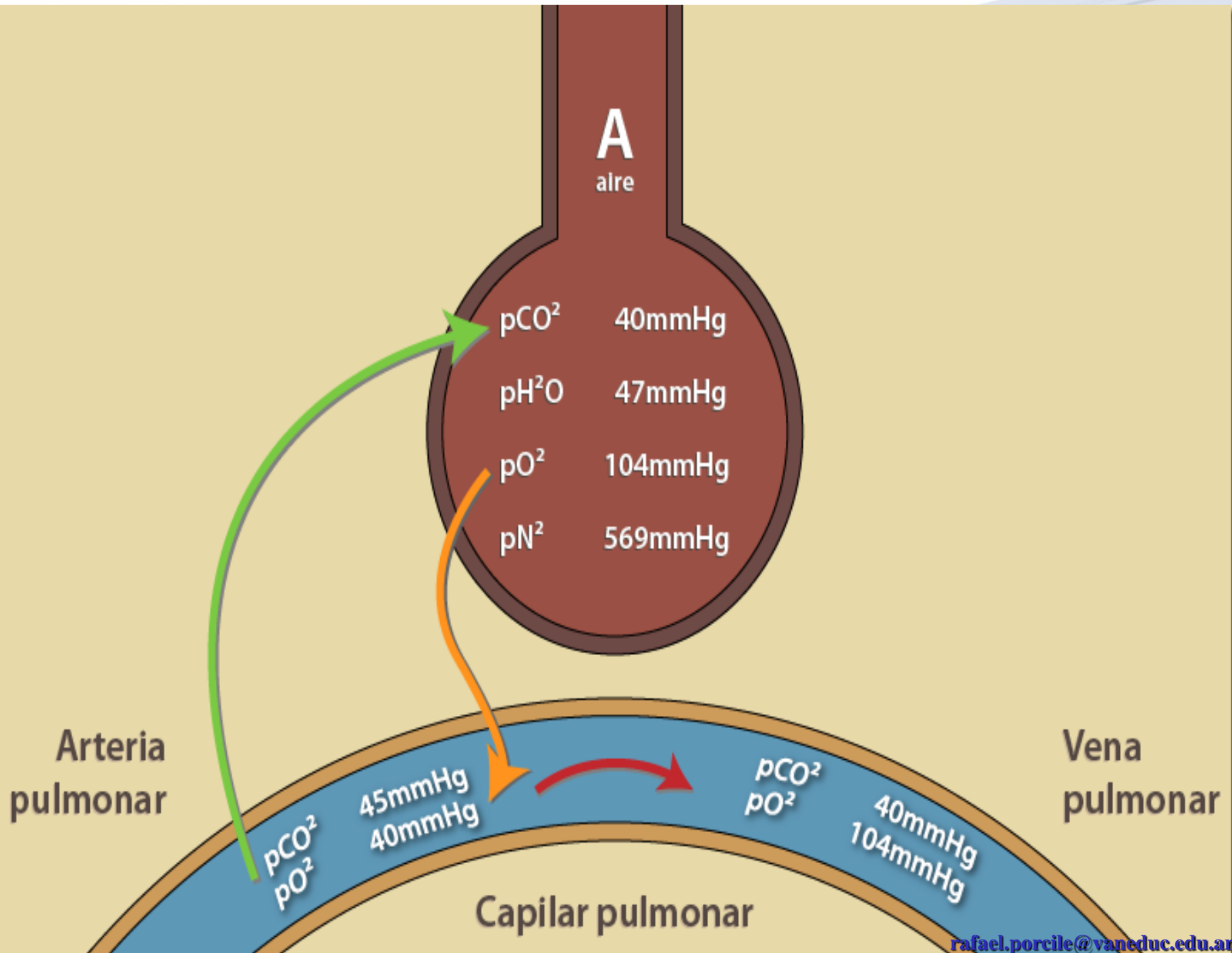
$$P_{AO_2} = 100\text{mmHg}$$

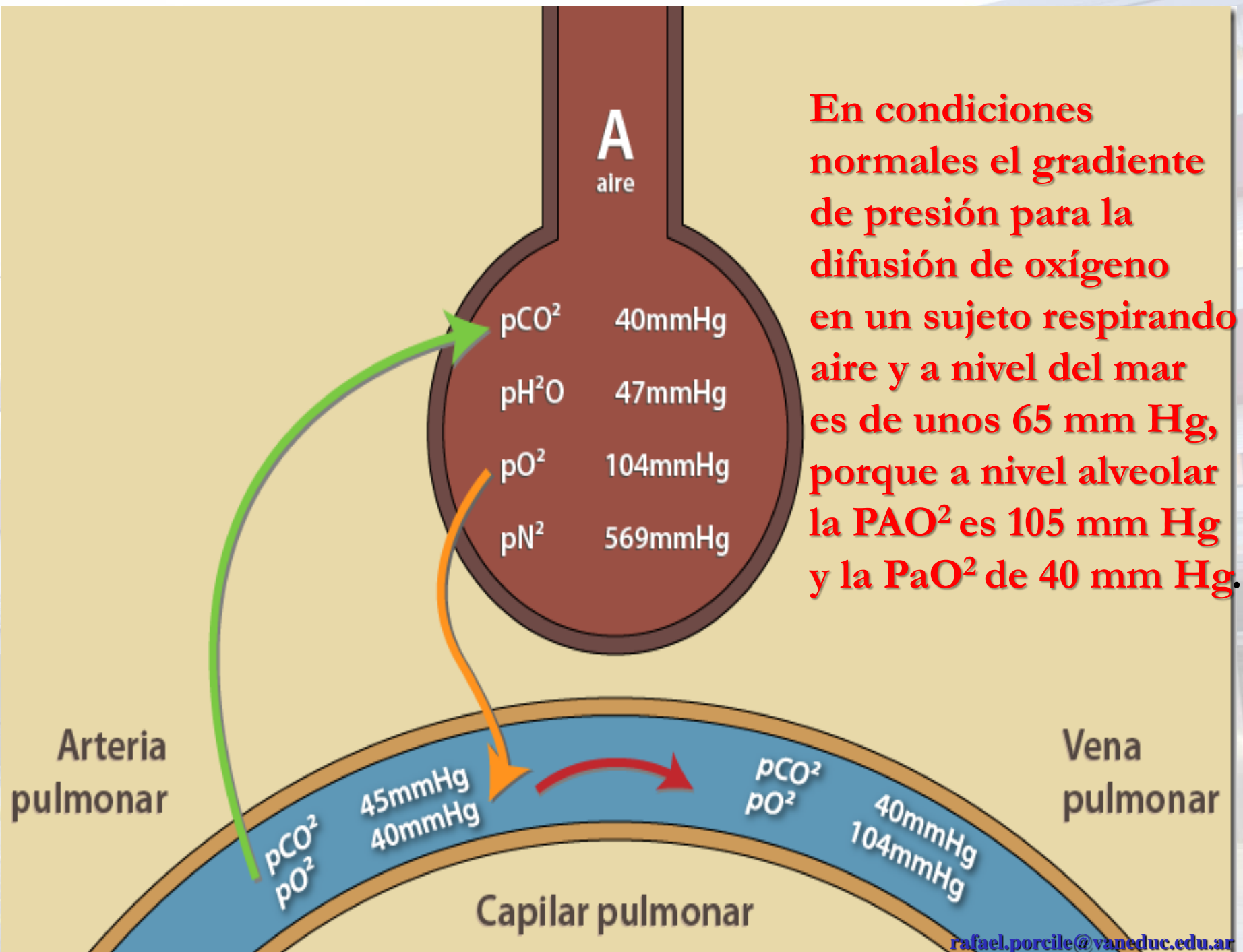
Difusión del oxígeno a través de la membrana alveolo capilar:

El gas pasa desde el punto de mayor presión hacia el de menor presión hasta lograr un equilibrio a cada lado de la membrana.

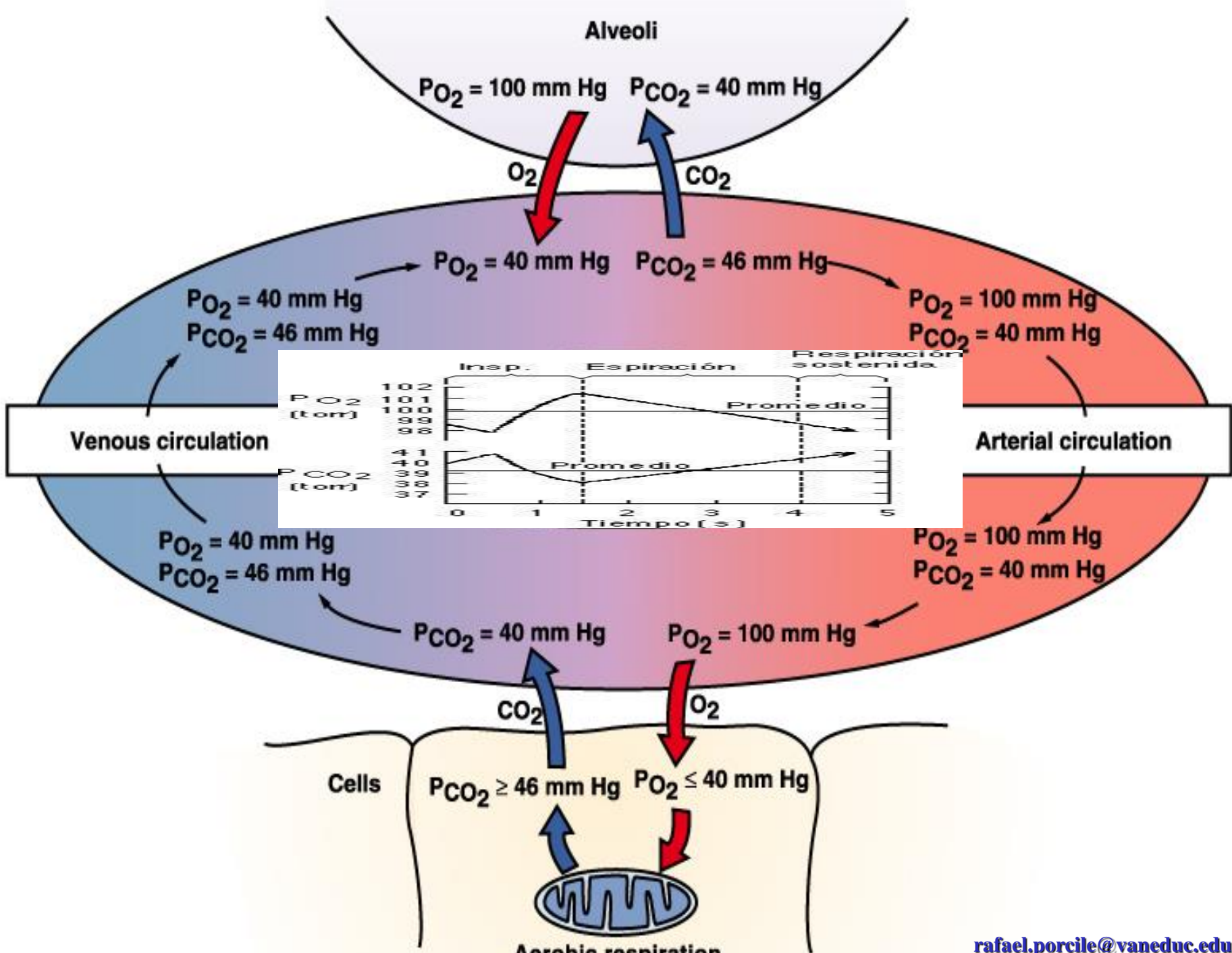
Debe existir una fuente de energía que es proporcionada por el movimiento cinético de las moléculas del gas.

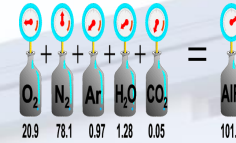
Este movimiento continuo hace que las moléculas impacten unas con otras ejerciendo una determinada presión según el volumen o recipiente en el que estén contenidas (ley de Boyle).





En condiciones normales el gradiente de presión para la difusión de oxígeno en un sujeto respirando aire y a nivel del mar es de unos 65 mm Hg, porque a nivel alveolar la PAO_2 es 105 mm Hg y la PaO_2 de 40 mm Hg.





COMPOSICIÓN DEL AIRE ALVEOLAR

CO₂
O₂

Sus niveles en el alveolo dependen de

- Presiones de CO₂ y O₂ en la atmosfera
- Ventilación alveolar
- Saturación de vapor de H₂O
- Consumo de O₂
- Producción de CO₂ por el organismo

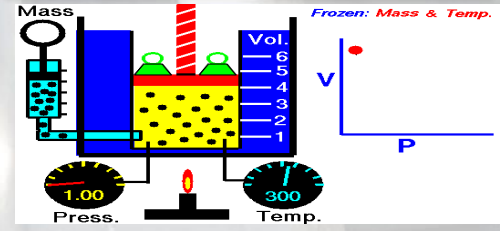
Ley de Dalton: Presión parcial

A nivel del mar ↑
presión atmosférica ↑
de la presión parcial

En una montaña ↓
presión atmosférica ↓
de la presión parcial

Ley de Boyle

Al entrar el aire a las vías respiratorias se evapora agua de las vías y lo humedece





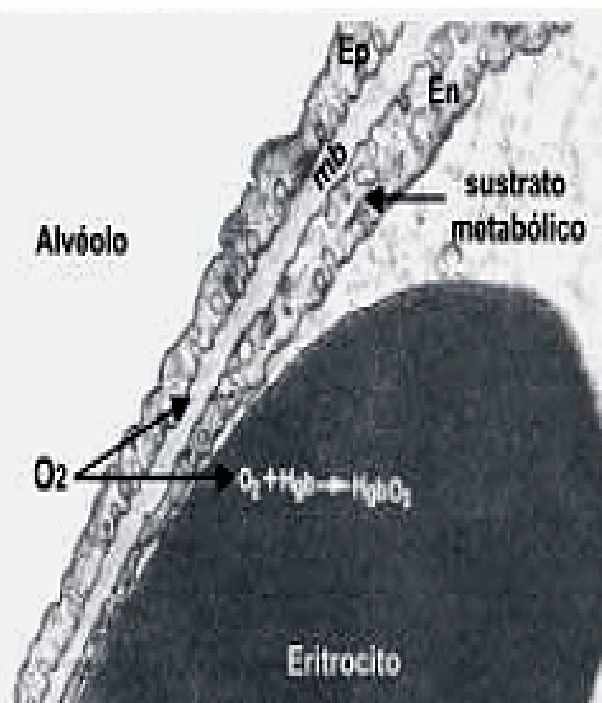
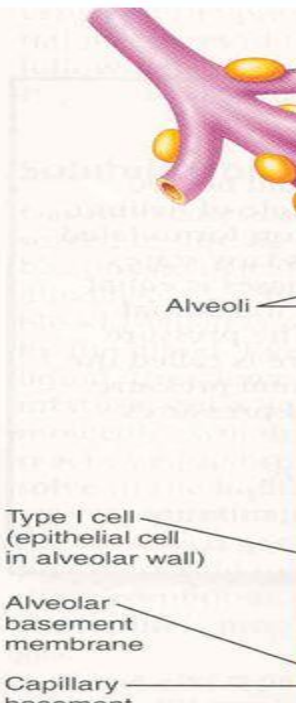
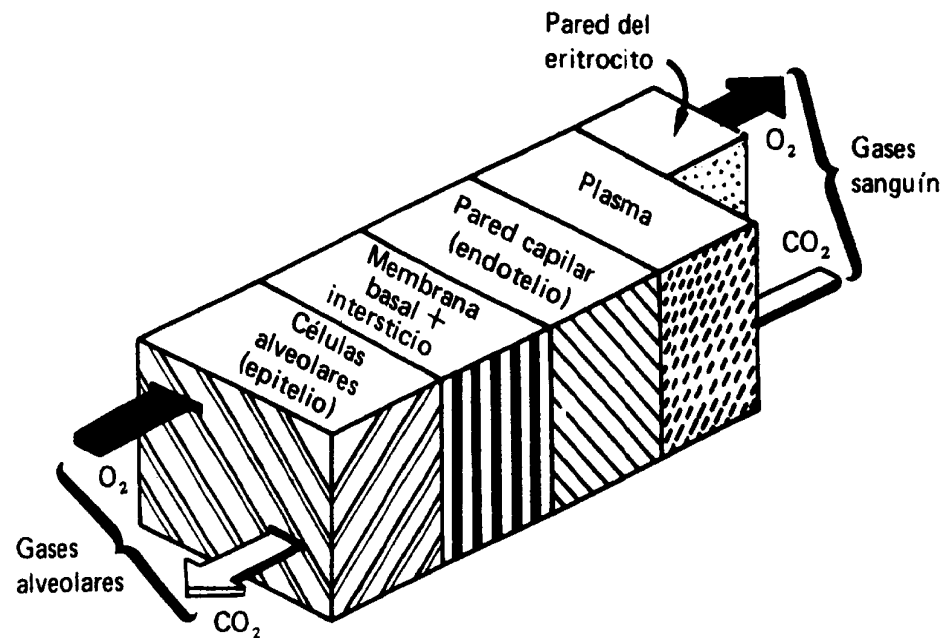
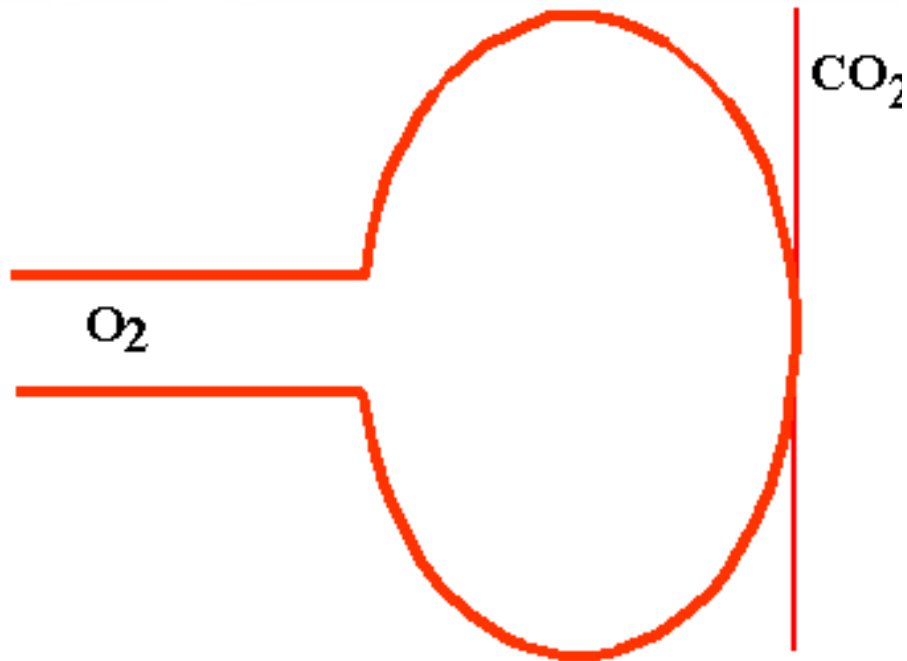
Coeficiente de solubilidad de los gases más importantes:

Oxígeno = 0.024

Dióxido de carbono = 0.57 :20 veces más que O₂.

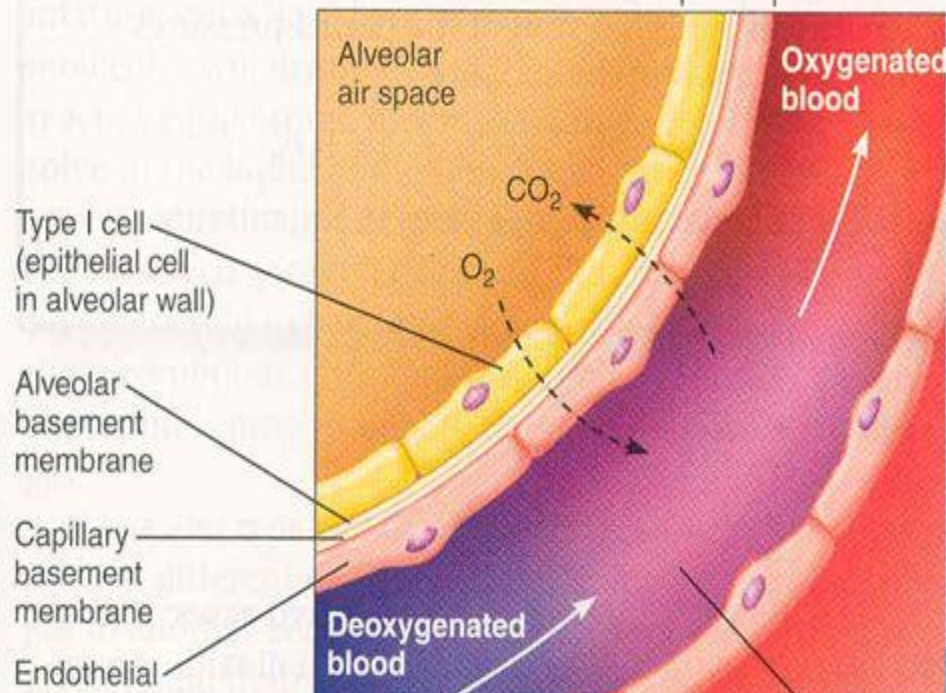
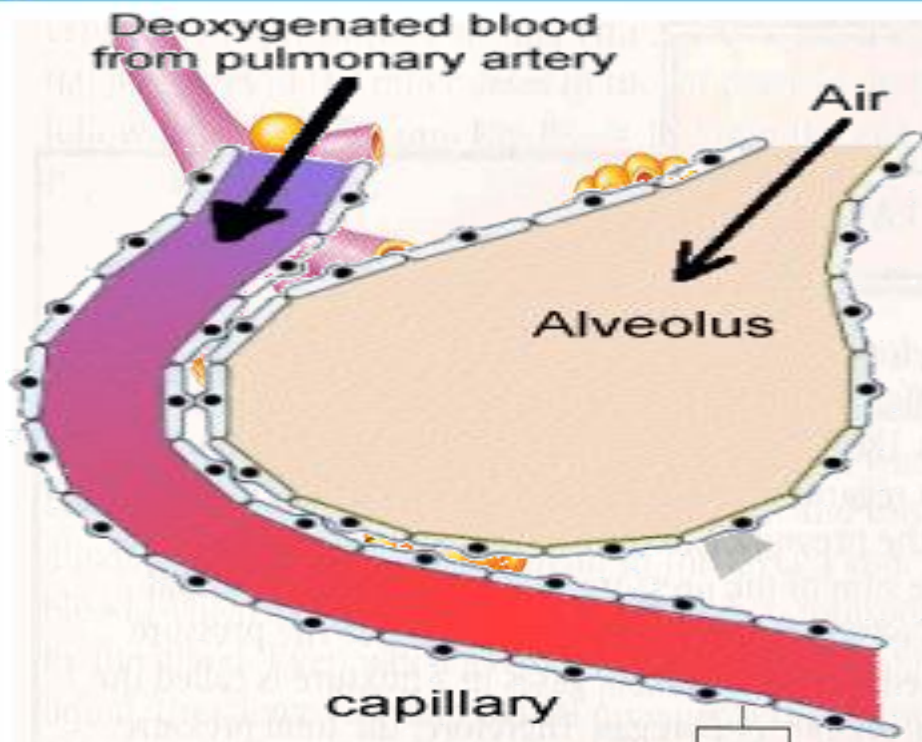
Nitrógeno = 0.012: La mitad que el oxígeno

Helio = 0.008



Componentes de la Membrana de intercambio respiratorio (intercambiador de gases):

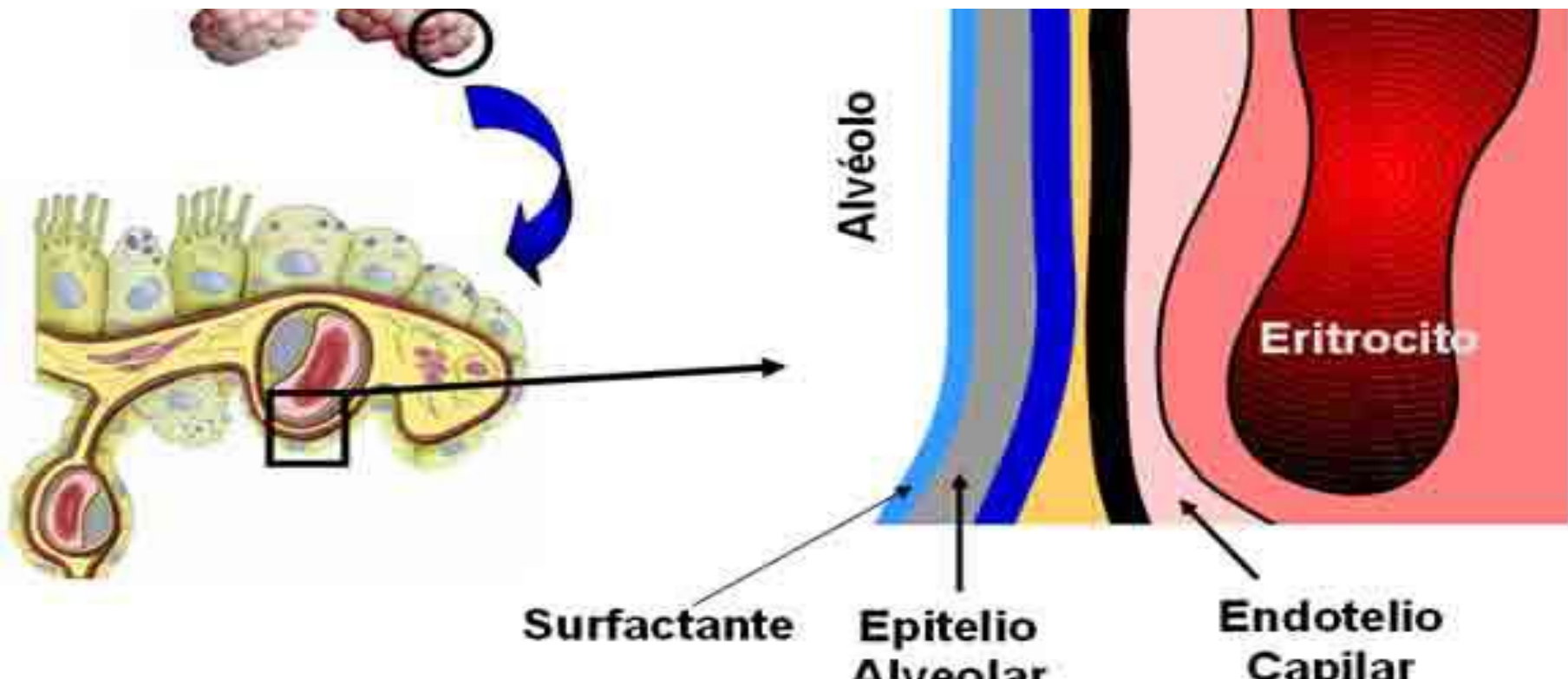
- Líquido alveolar
- Células alveolares (neumocitos tipo I y II)
- Membrana basal del epitelio alveolar
- Membrana basal del endotelio capilar
- Células endoteliales



Componentes de la Membrana de intercambio respiratorio (intercambiador de gases):

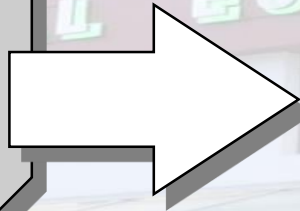
- Líquido alveolar
- Células alveolares (neumocitos tipo I y II)
- Membrana basal del epitelio alveolar
- Membrana basal del endotelio capilar
- Células endoteliales

El espesor de la membrana respiratoria es en promedio de 0,63 micras y llega en algunos lugares a ser de tan sólo 0,2 micras. Además, la superficie total de la misma es cercana a los 160 m² en un adulto normal



Fisiología Respiratoria

**Suficiencia
respiratoria**

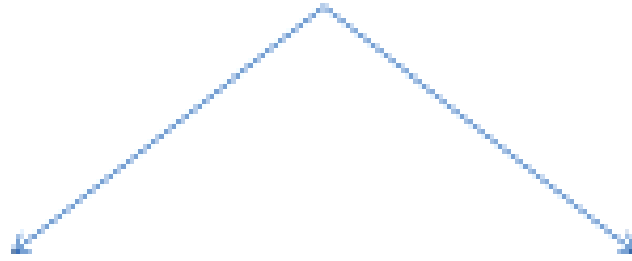


¿Qué se debe medir?

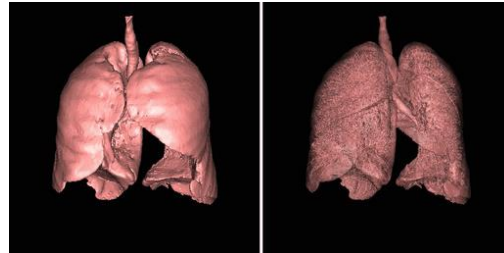
¿Dónde se debe medir?

**Se debe medir PO_2 y
 PCO_2 en sangre arterial
sistémica**

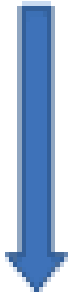
INSUFICIENCIA RESPIRATORIA



INSUFICIENCIA PULMONAR



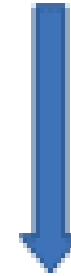
INSUFICIENCIA DE LA BOMBA



INSUFICIENCIA DE INTERCAMBIO DE GASES

MANIFESTADA POR HIPOXEMIA

Oxígeno = 0.024



INSUFICIENCIA VENTILATORIA

MANIFESTADA POR HIPERCAPNIA

**Dióxido de carbono
= 0.57 :20 veces más
Permeable que O₂.**

Difusión

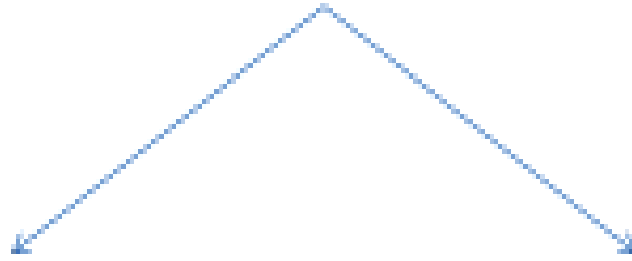
$$\text{DIFUSION} = \frac{\text{SOLUBILIDAD}}{\text{DENSIDAD}}$$

Densidad del O_2 menor que CO_2 : difunde 1.17 veces más

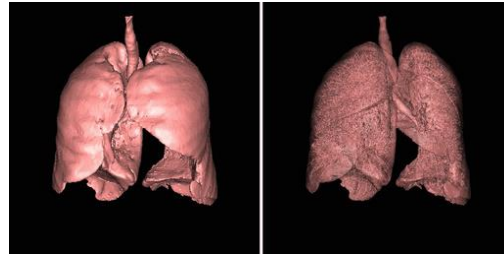
Solubilidad del CO_2 mayor que O_2 : difunde 24 veces más

La difusión del CO_2 es 20 veces más rápida

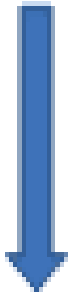
INSUFICIENCIA RESPIRATORIA



INSUFICIENCIA PULMONAR



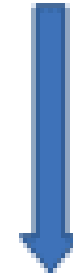
INSUFICIENCIA DE LA BOMBA



INSUFICIENCIA DE INTERCAMBIO DE GASES

MANIFESTADA POR HIPOXEMIA

**Presión arterial
de oxígeno inferior
a 60 mm Hg**



INSUFICIENCIA VENTILATORIA

MANIFESTADA POR HIPERCAPNIA

**Presion arterial
de CO2 superior
a 45 mm Hg.**

Alveolar-arterial Difference

Oxygenation Failure

$$p_iO_2 = 150$$

$$pCO_2 = 40$$

$$p_{alv}O_2 = 150 - 40/.8$$
$$= 150 - 50$$
$$= 100$$

$$pO_2 = 45$$

$$\Delta = 100 - 45 = 55$$

Ventilation Failure

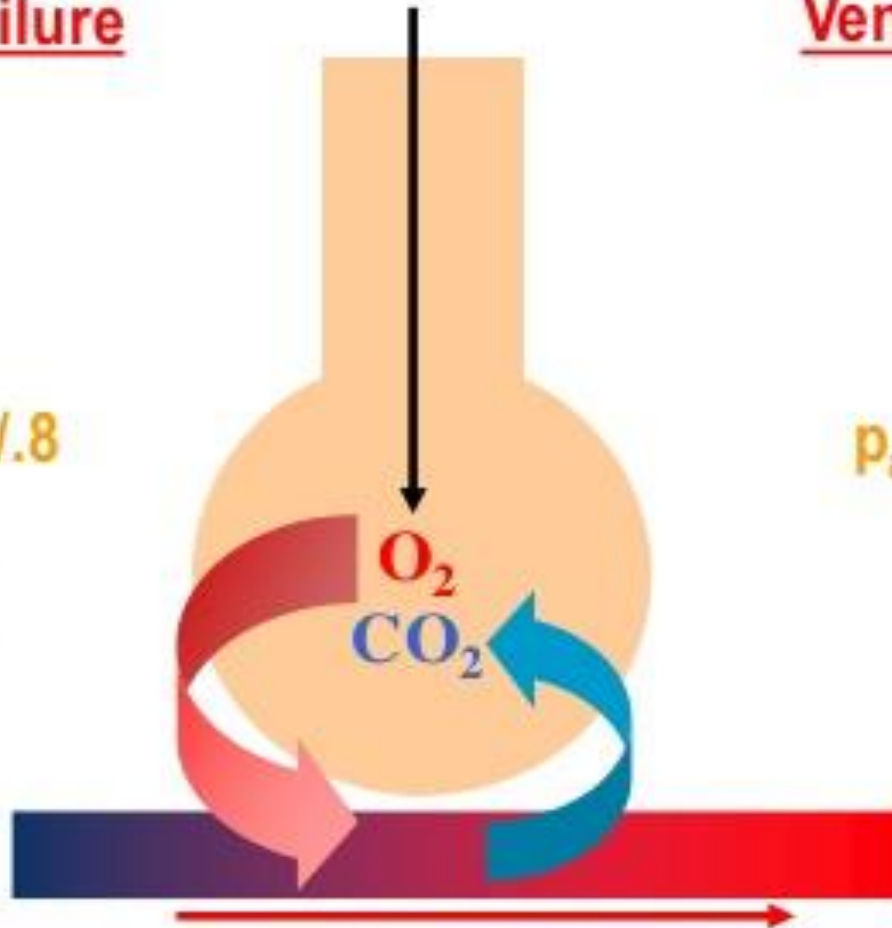
$$p_iO_2 = 150$$

$$pCO_2 = 80$$

$$p_{alv}O_2 = 150 - 80/.8$$
$$= 150 - 100$$
$$= 50$$

$$pO_2 = 45$$

$$\Delta = 50 - 45 = 5$$



Alveolar-arteria

Oxygenation Failure

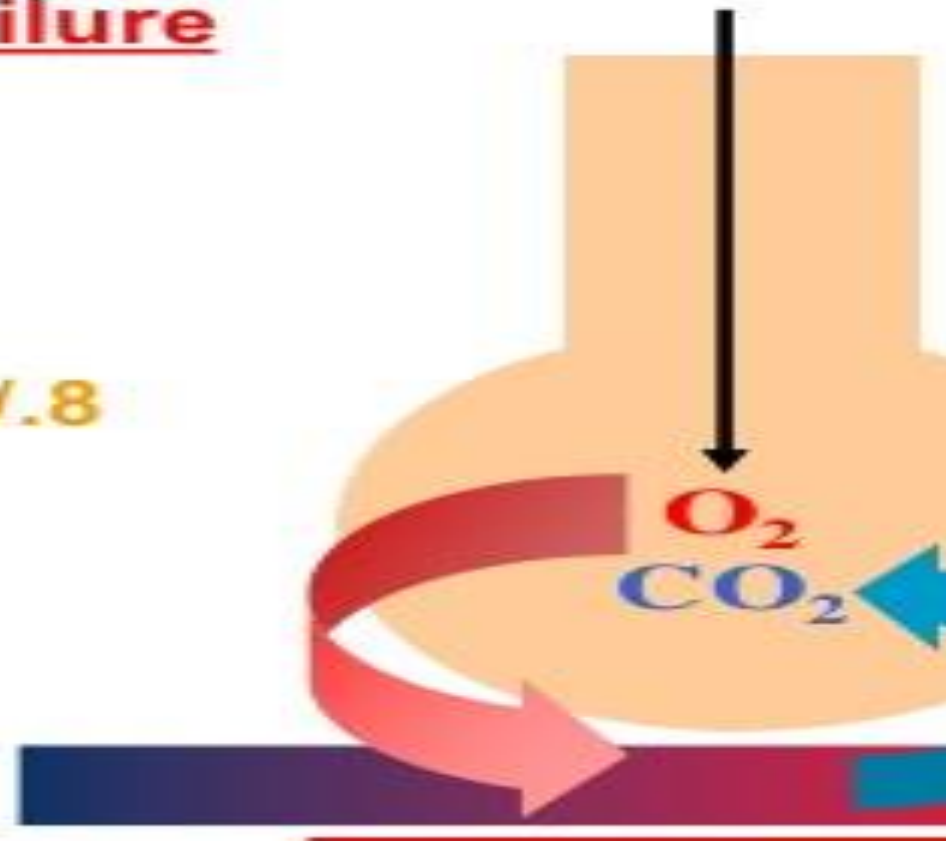
$$p_iO_2 = 150$$

$$pCO_2 = 40$$

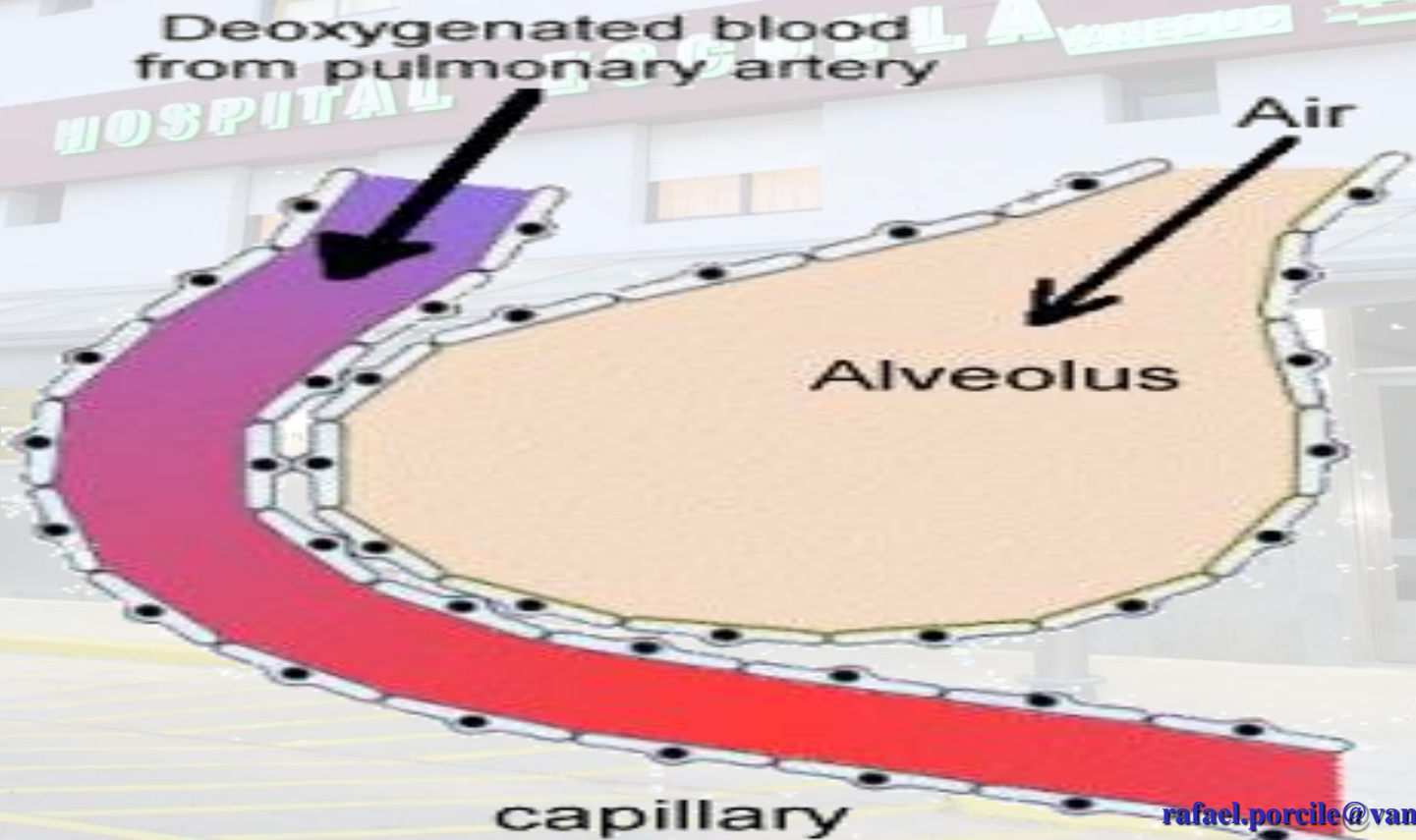
$$\begin{aligned} p_{alv}O_2 &= 150 - 40/.8 \\ &= 150 - 50 \\ &= 100 \end{aligned}$$

$$pO_2 = 45$$

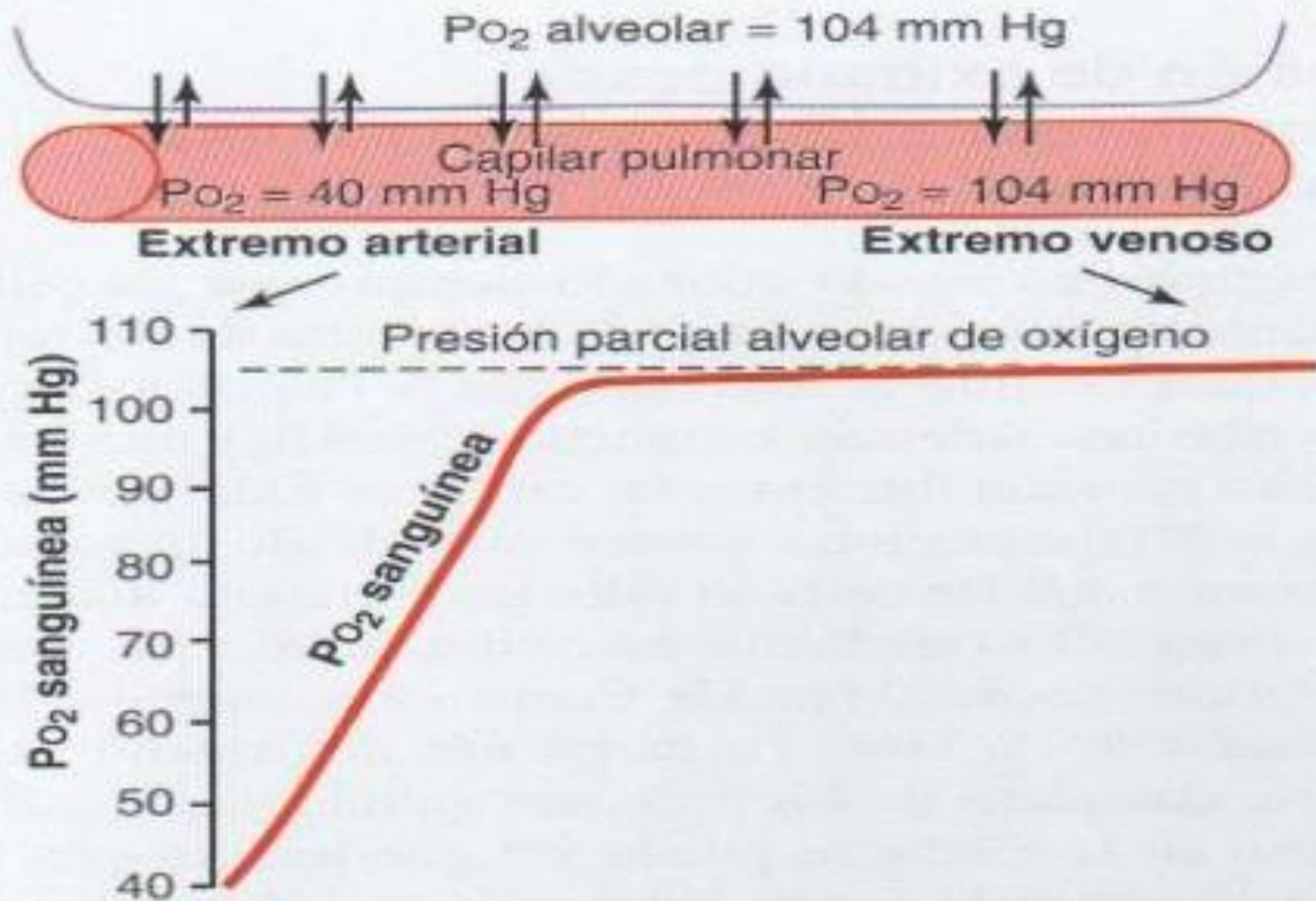
$$\Delta = 100 - 45 = 55$$



¿Como medir la permeabilidad alveolo capilar?

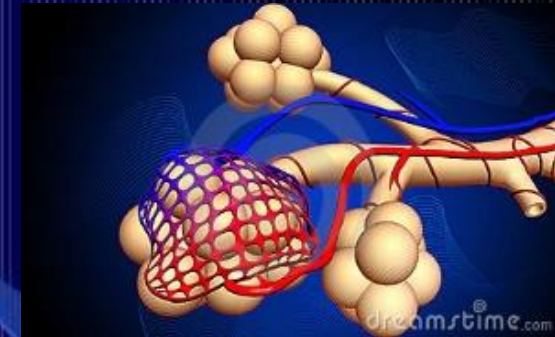


Difusión de O₂ de los alvéolos a la sangre capilar pulmonar

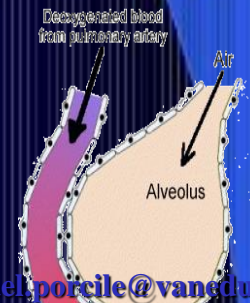


Gradiente Alveolo arterial

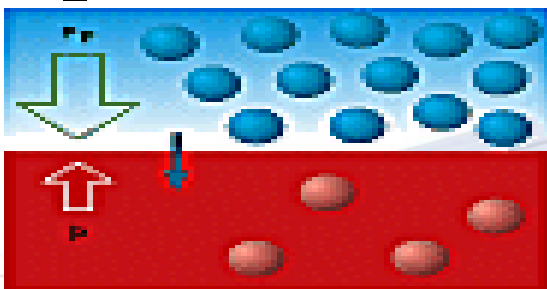
$D(A - a)O_2$.



- $D(A-a)O_2 = PAO_2 - PaO_2$.
- $PAO_2 = FiO_2(PB - PH_2O) - (PACO_2/RQ)$.
- PAO_2 = Presión Alveolar de Oxígeno.
- PB = Presión Barométrica (760 mmhg a n mar).
- PH_2O = Presión de Vapor de Agua (47mmhg).
- Se presume que la $PACO_2 \cong PaCO_2$.
- RQ = Cociente Respiratorio.

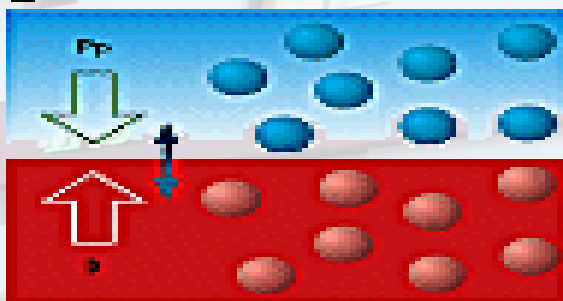


El gas se disuelve



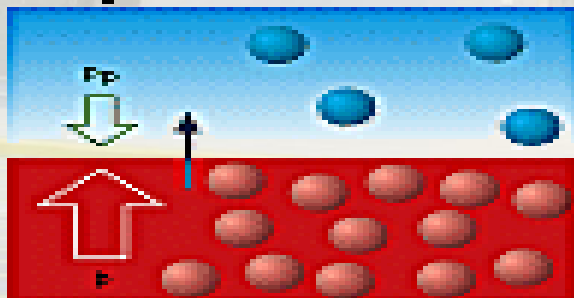
SANGRE INSATURADA

El gas no se disuelve

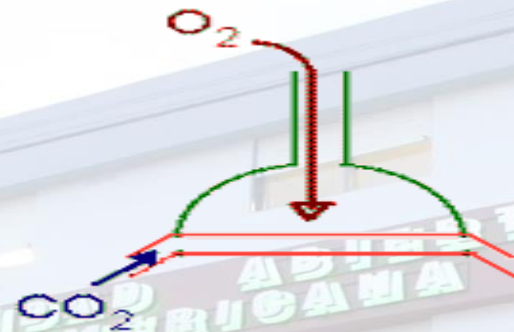


SANGRE SATURADA

**El gas disuelto
pasa al aire**



SANGRE SOBRESATURADA

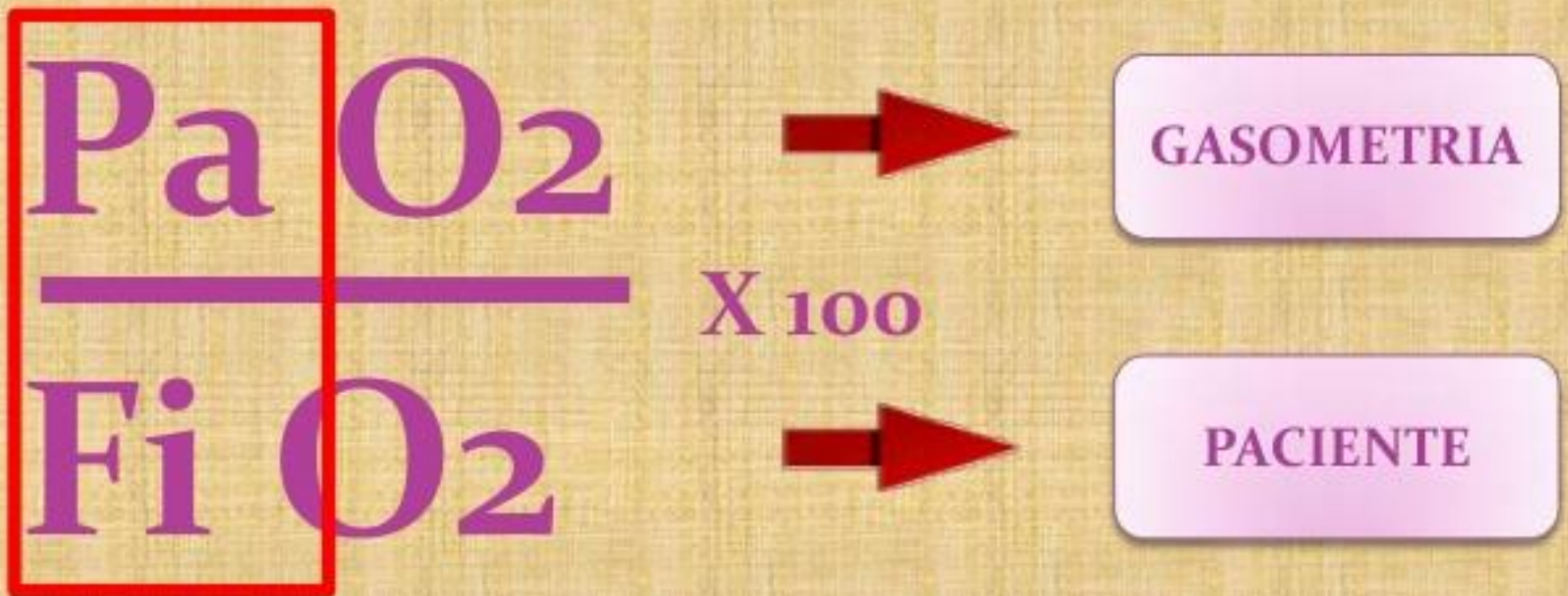


Deoxygenated blood
from pulmonary artery

Air

Alveolus

FORMULA PARA EL PAFI



2. Diferencia Alveolo-Arterial de Oxígeno (DA-a)

- Normalmente la PAO_2 es mayor que la PaO_2 gracias a eso se realiza el intercambio gaseoso.
- Se calcula mediante fórmula:

$$D(A-a) = PAO_2 - PaO_2$$

PaO_2 se obtiene del AGA y la PAO_2 se calcula por la fórmula:

$$PAO_2 = FiO_2 \times (Pb - PH_2O) - PaCO_2/0.8$$

$Pb = 760$, $pH_2O = 47$, $PaCO_2$ se obtiene del AGA

PATOGENESIS S.D.R.A

lesión (directa o indirecta)



**Activación de células inflamatorias
& mediadores**



Daño a membrana alveolo capilar



aumento permeabilidad membrana alveolo capilar

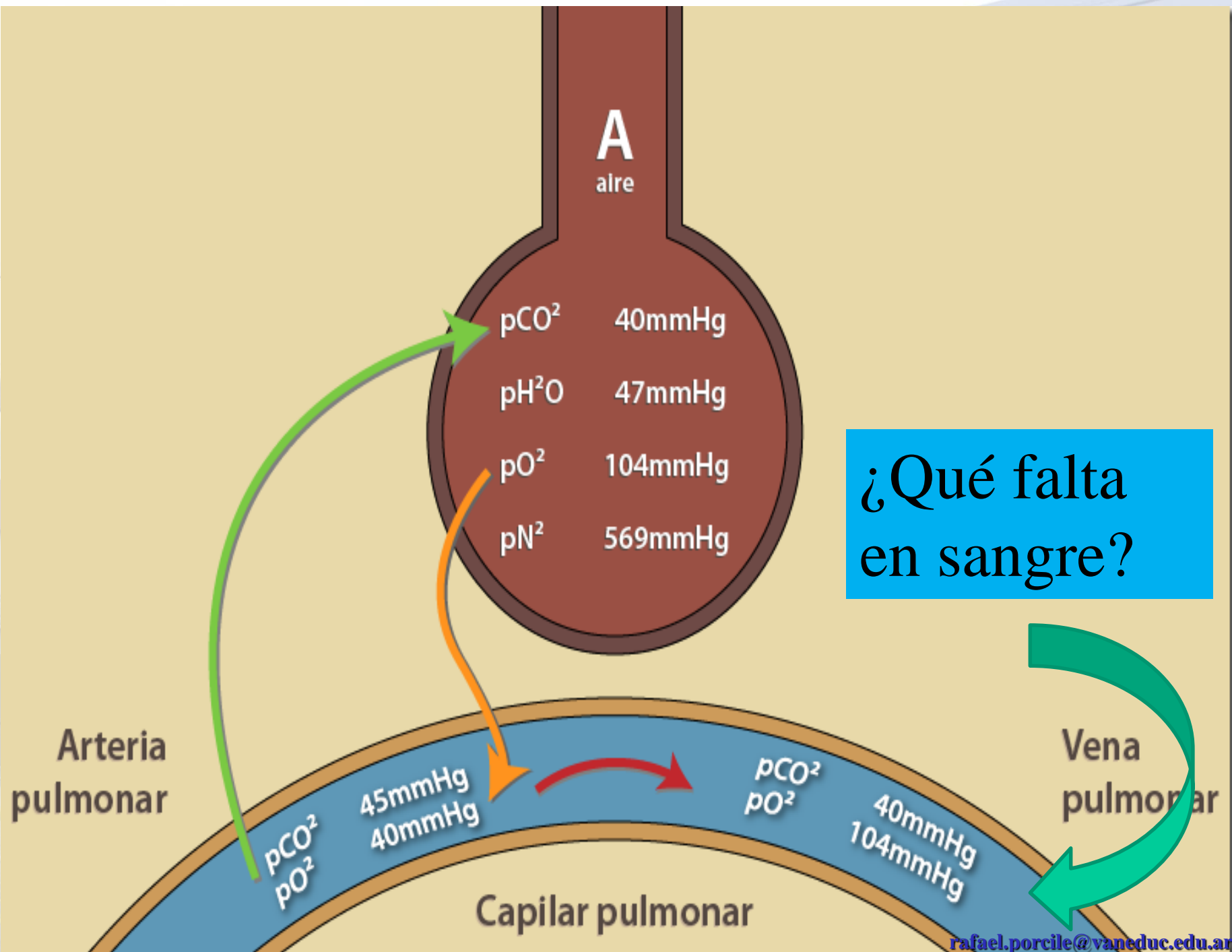


**afluencia de fluido edema rico en proteínas y células
inflamatorias en espacios aéreos**

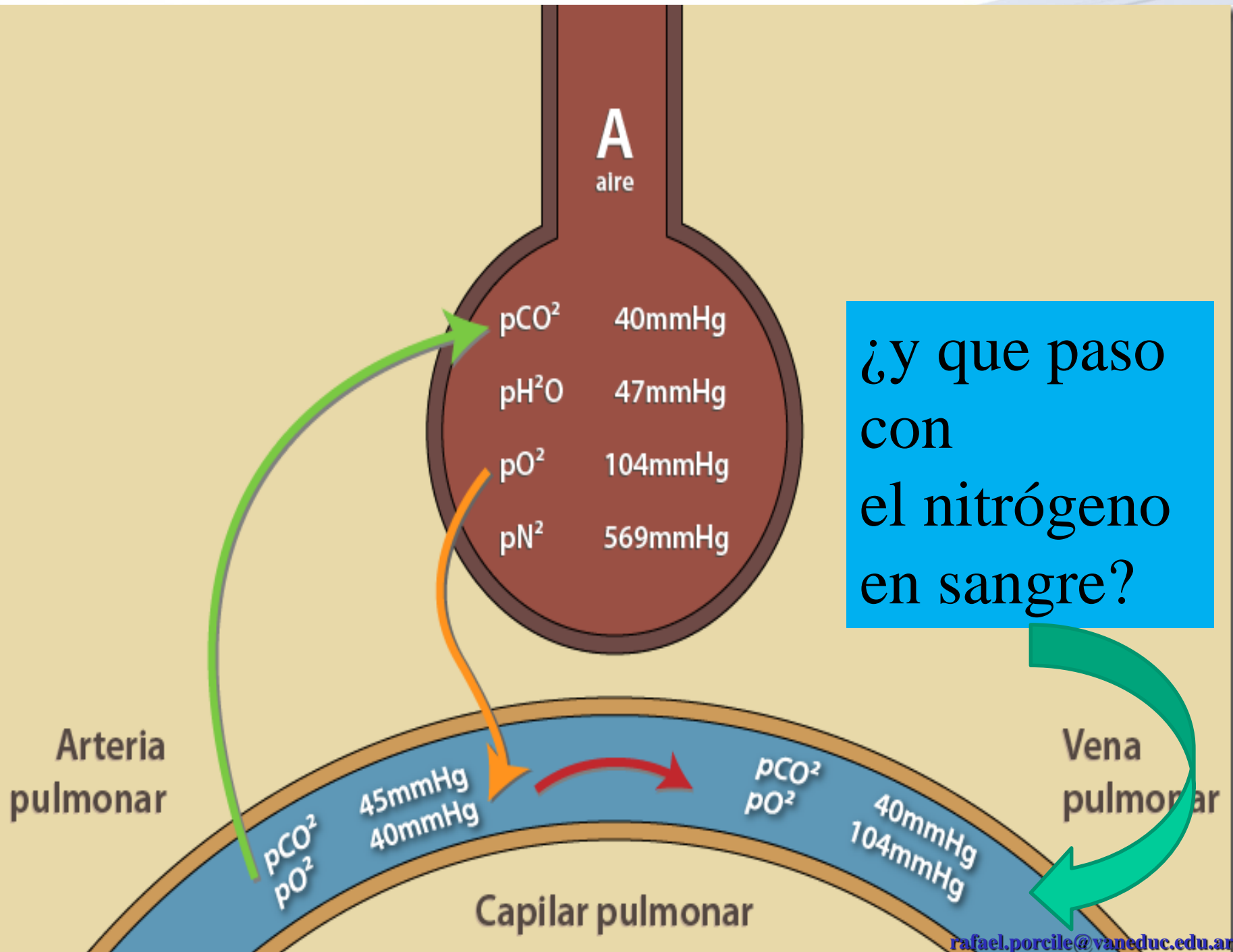
Disfunción de surfactante

Presión parcial de O₂ (PO₂)





¿Qué falta en sangre?



¿y que paso con el nitrógeno en sangre?

W2



**¿Para que sirve
un gas que es el
78 % del
componente del
aire?**

EL NITROGENO ES DE IMPORTANCIA ESTRUCTURAL



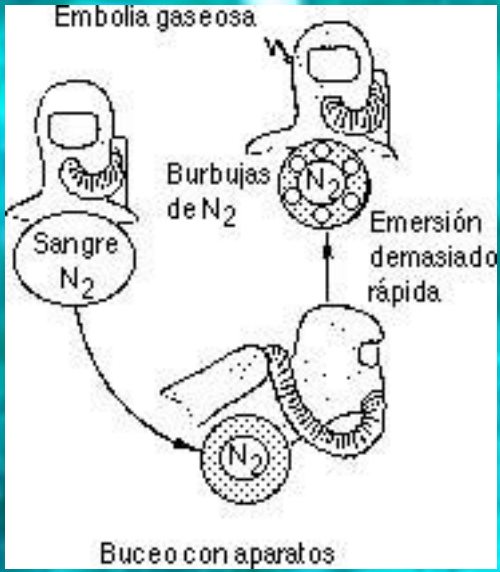
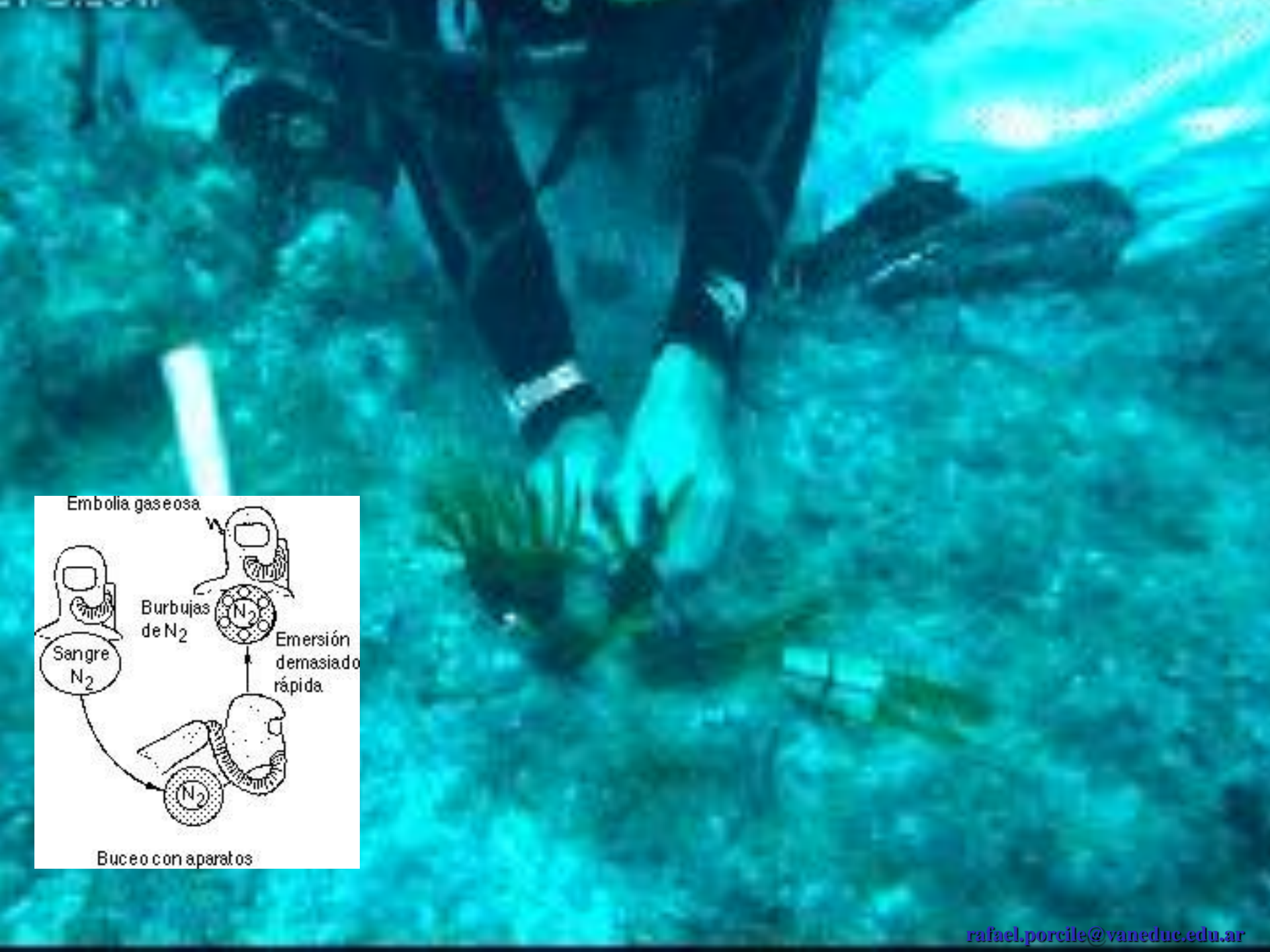
¿La salubilidad de los gases es igual en todas las condiciones?



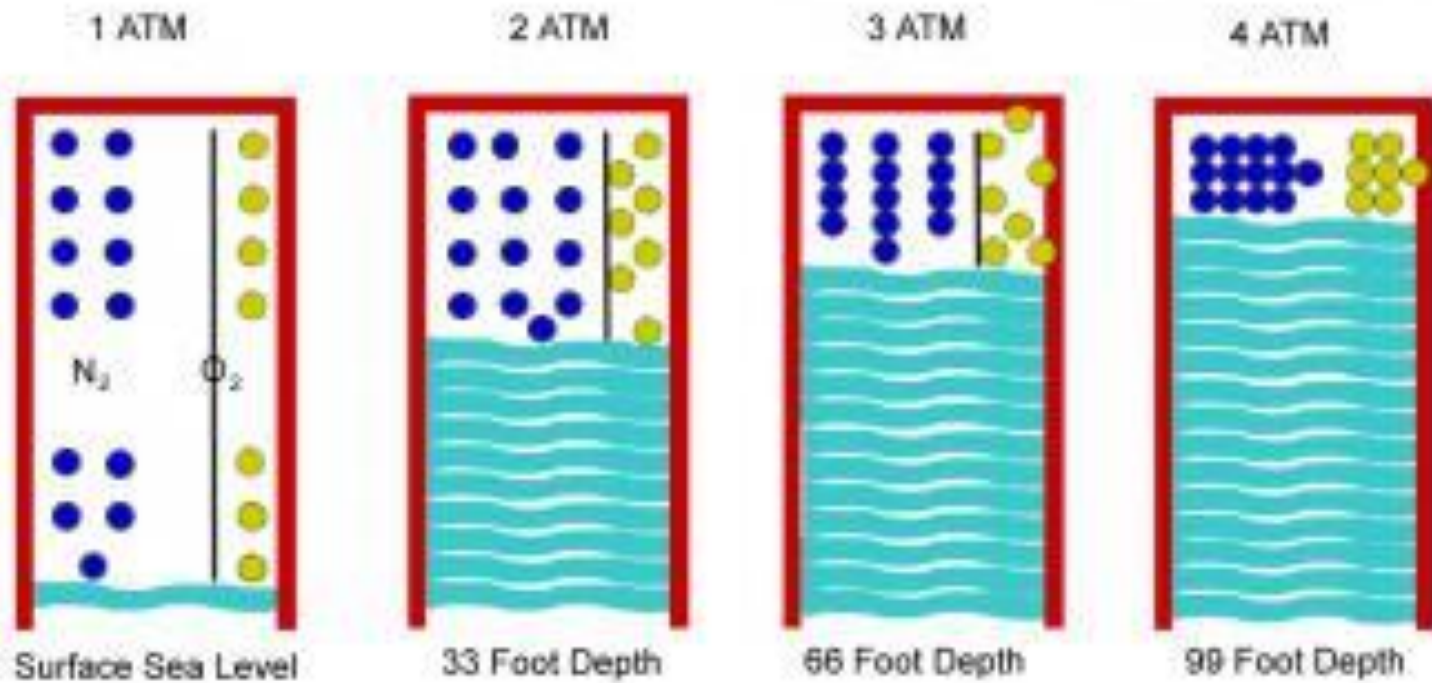


RIESGOS DEL BUCEO Y LA NARCOSIS





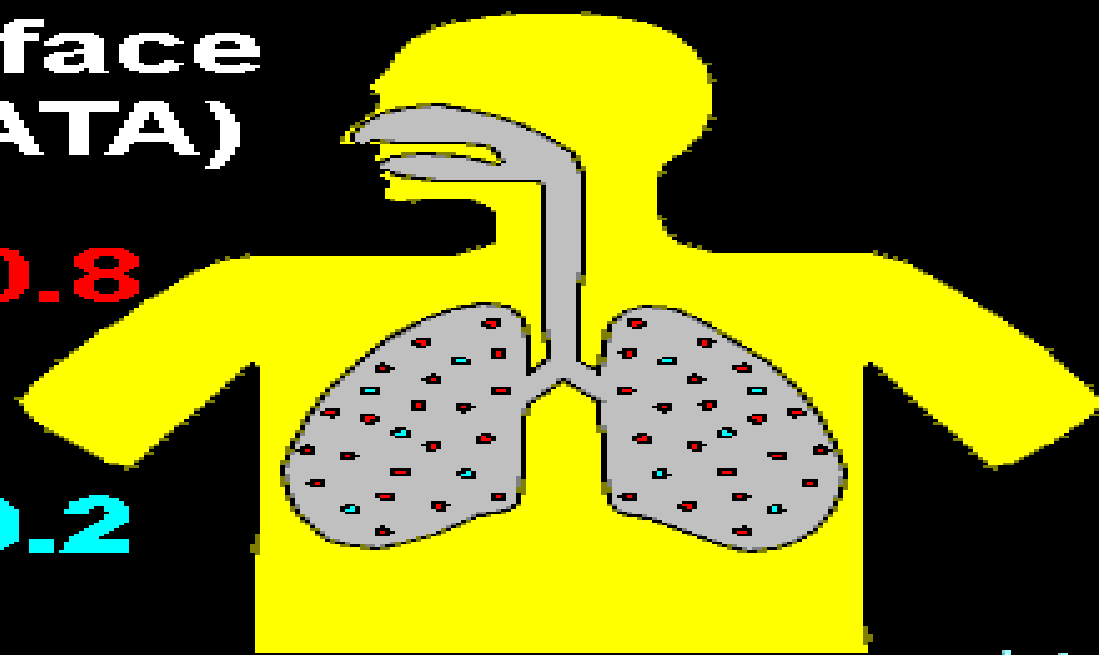
Dalton's Law



Surface (1 ATA)

**Nitrogen
Partial = 0.8
Pressure**

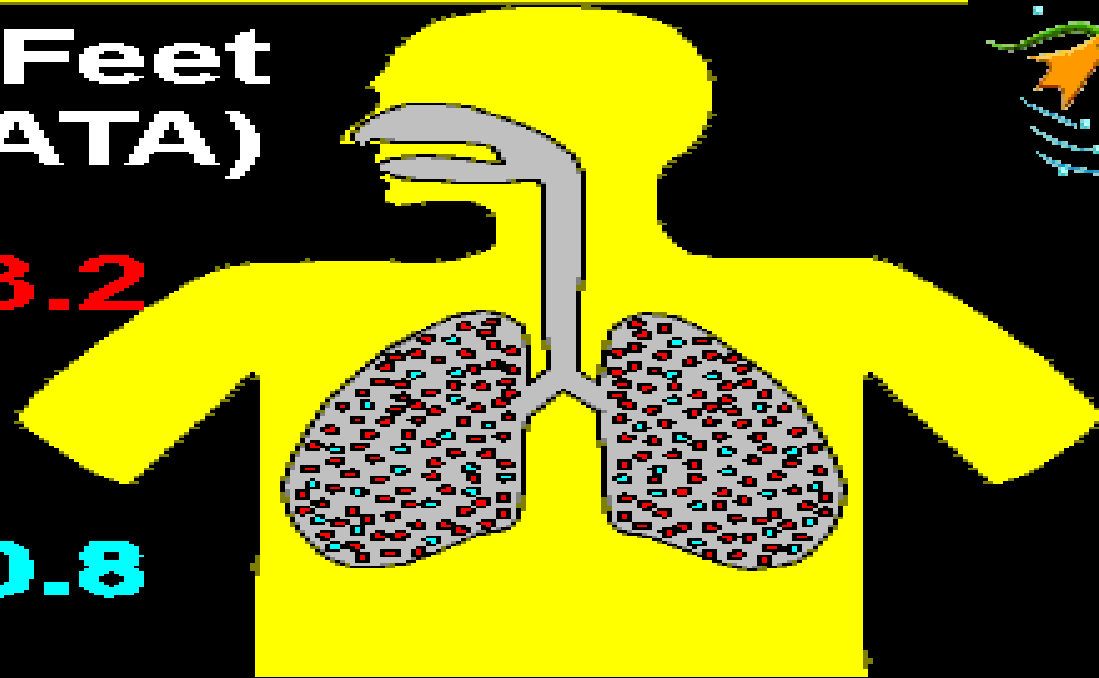
**Oxygen
Partial = 0.2
Pressure**



99 Feet (4 ATA)

**Nitrogen
Partial = 3.2
Pressure**

**Oxygen
Partial = 0.8
Pressure**



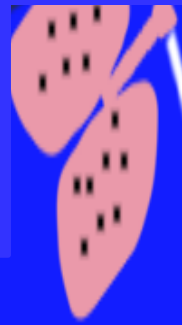
0 metres
Pressure =



A slow return to the surface lets the nitrogen return to the lungs where it is breathed out



10 metres
Pressure = 2 atm



Swimming up too quickly doesn't give the nitrogen enough time to leave the blood - instead it can form painful bubbles

Nitrogen moves from high pressure in the lungs into the blood (low pressure)

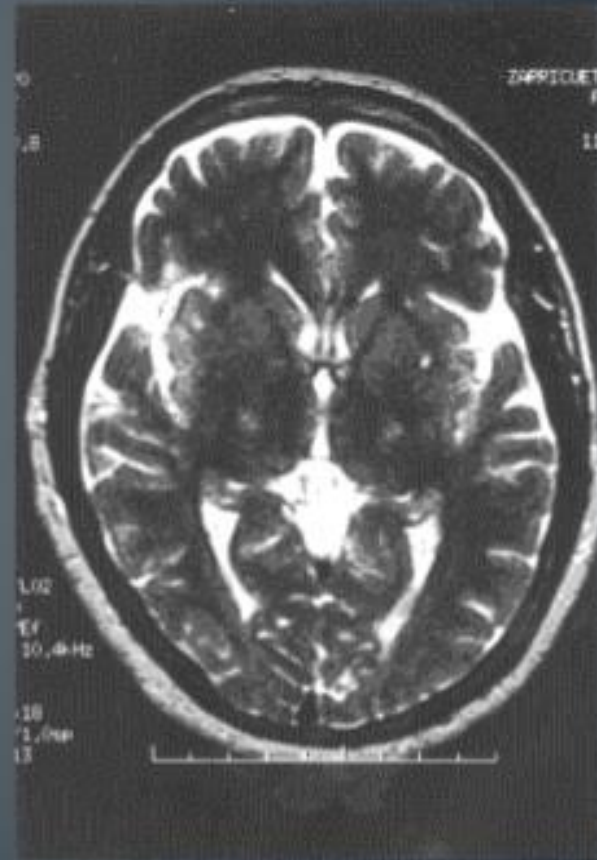
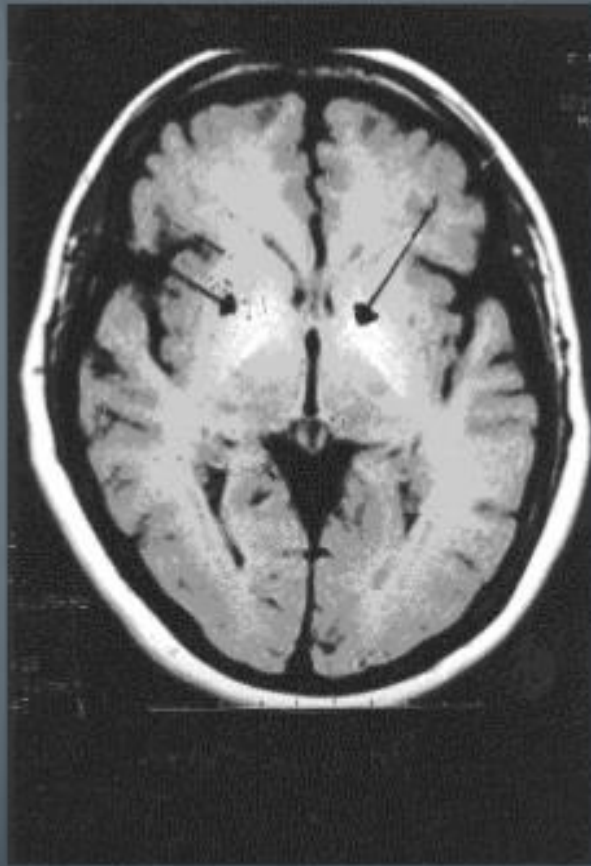


Tres buzos murieron descompresionados al pescar pepino de mar

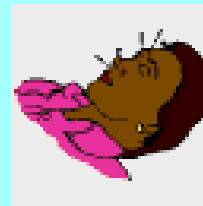
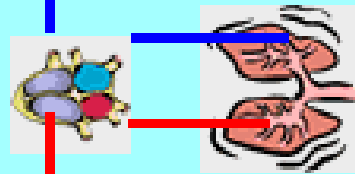
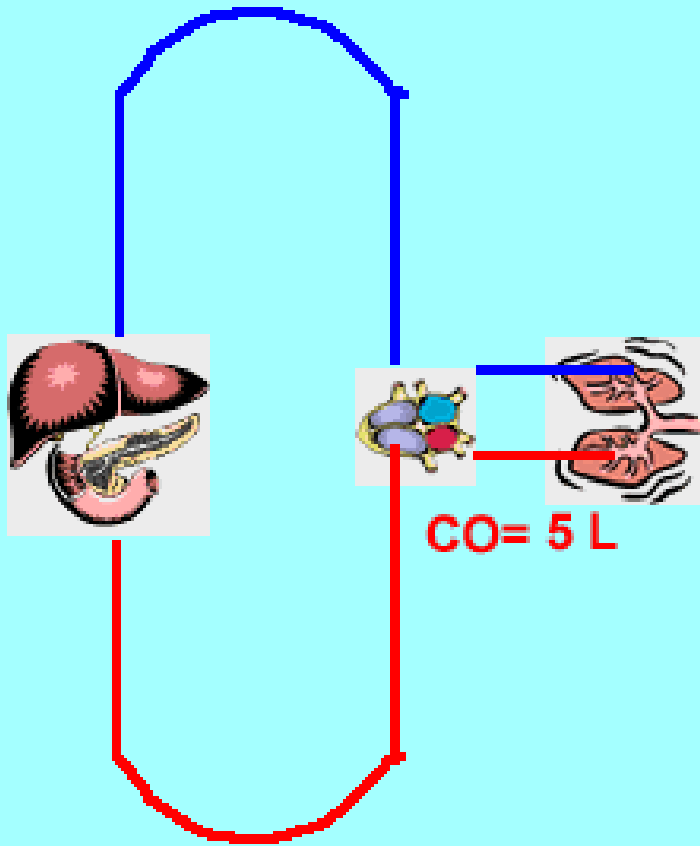
La tragedia se registró en Río Lagartos y en Dzilam de Bravo. Otros ocho fueron hospitalizados en clínicas de Tizimín por el mismo motivo. Lea más notas policíacas

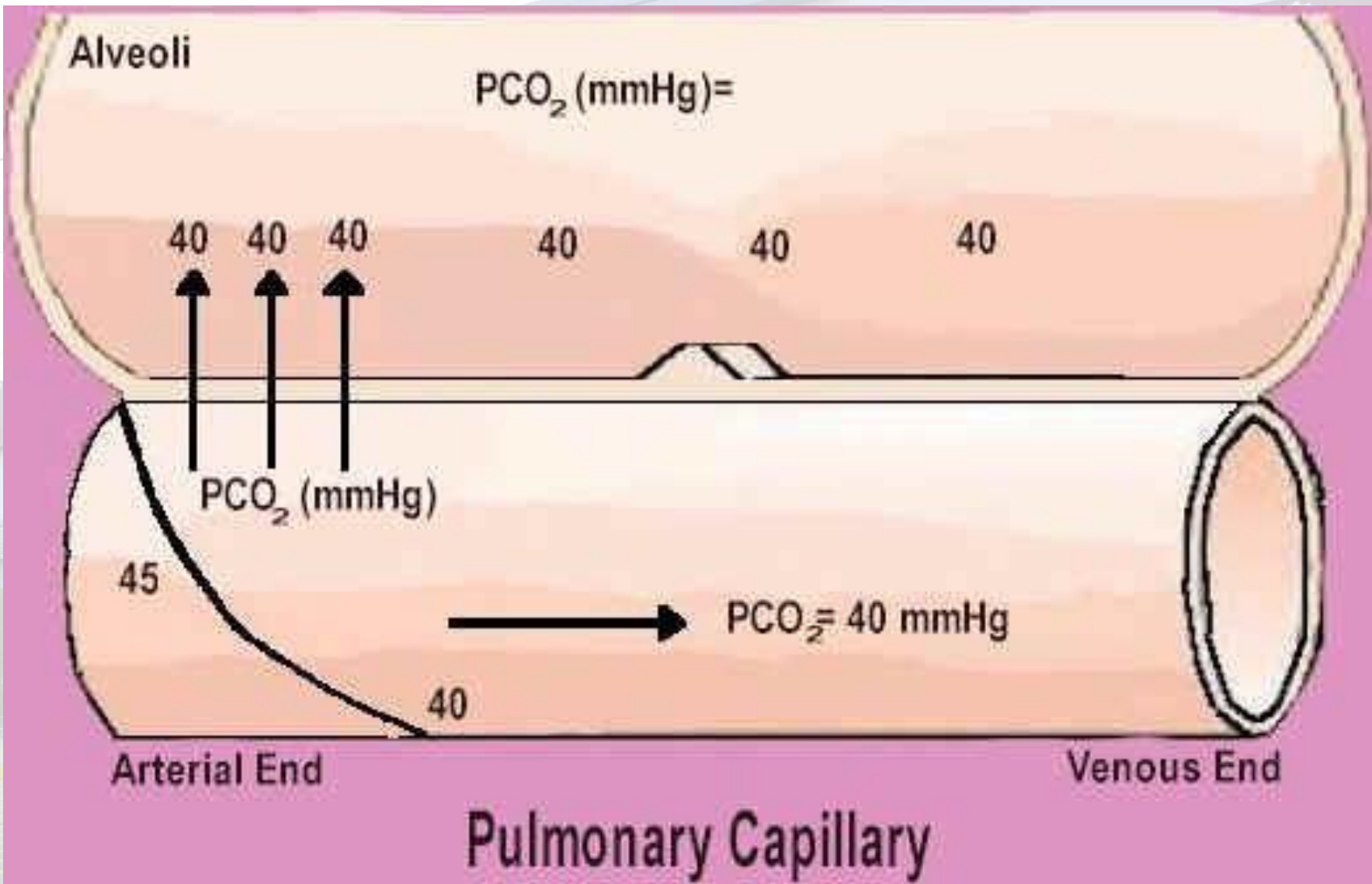


Resonancia Magnética



CO2





Alveolar-arterial Difference

Oxygenation Failure

$$p_iO_2 = 150$$

$$pCO_2 = 40$$

$$p_{alv}O_2 = 150 - 40/.8$$
$$= 150 - 50$$
$$= 100$$

$$pO_2 = 45$$

$$\Delta = 100 - 45 = 55$$

Ventilation Failure

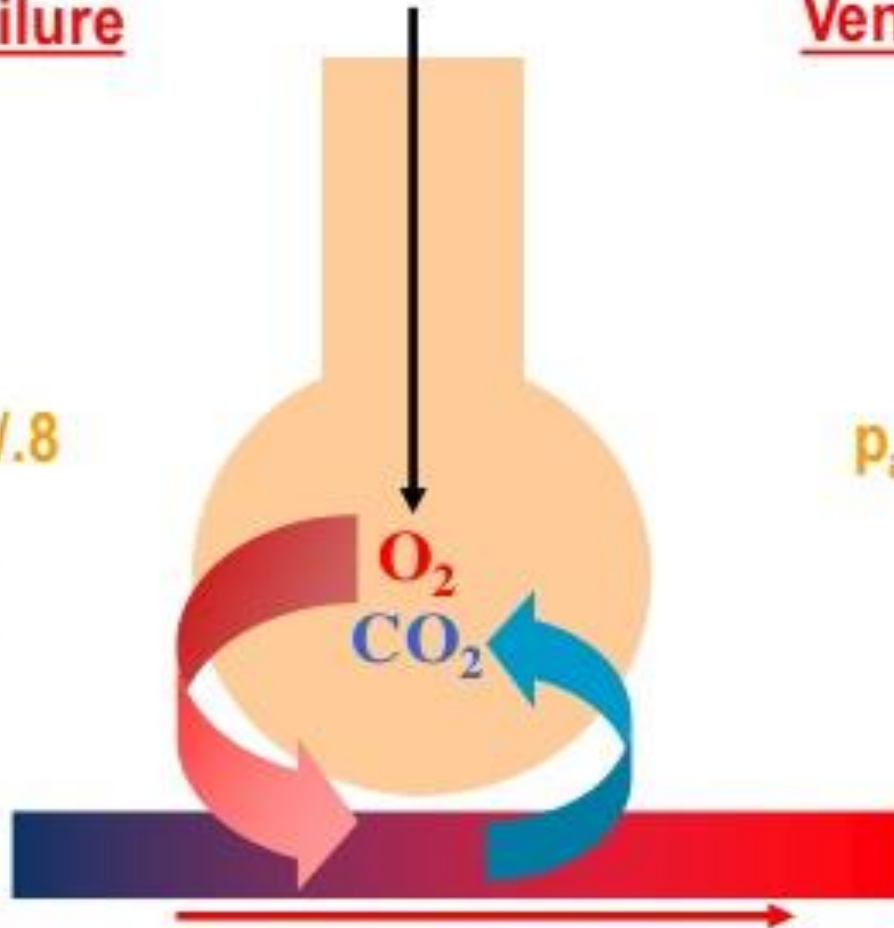
$$p_iO_2 = 150$$

$$pCO_2 = 80$$

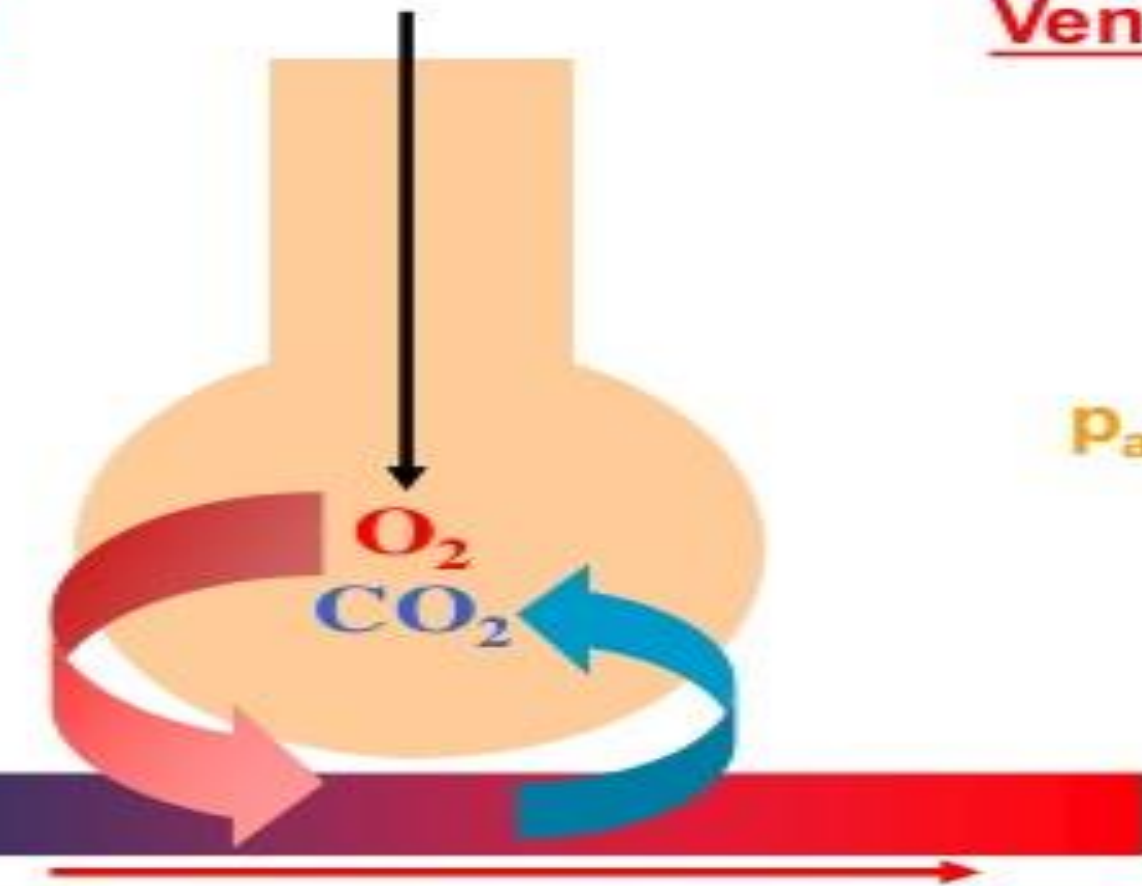
$$p_{alv}O_2 = 150 - 80/.8$$
$$= 150 - 100$$
$$= 50$$

$$pO_2 = 45$$

$$\Delta = 50 - 45 = 5$$



-arterial Difference



Ventilation Failure

$$p_i\text{O}_2 = 150$$

$$p\text{CO}_2 = 80$$

$$\begin{aligned} p_{\text{alv}}\text{O}_2 &= 150 - 80 / 0.8 \\ &= 150 - 100 \\ &= 50 \end{aligned}$$

$$p\text{O}_2 = 45$$

$$\Delta = 50 - 45 = 5$$



Muchas gracias