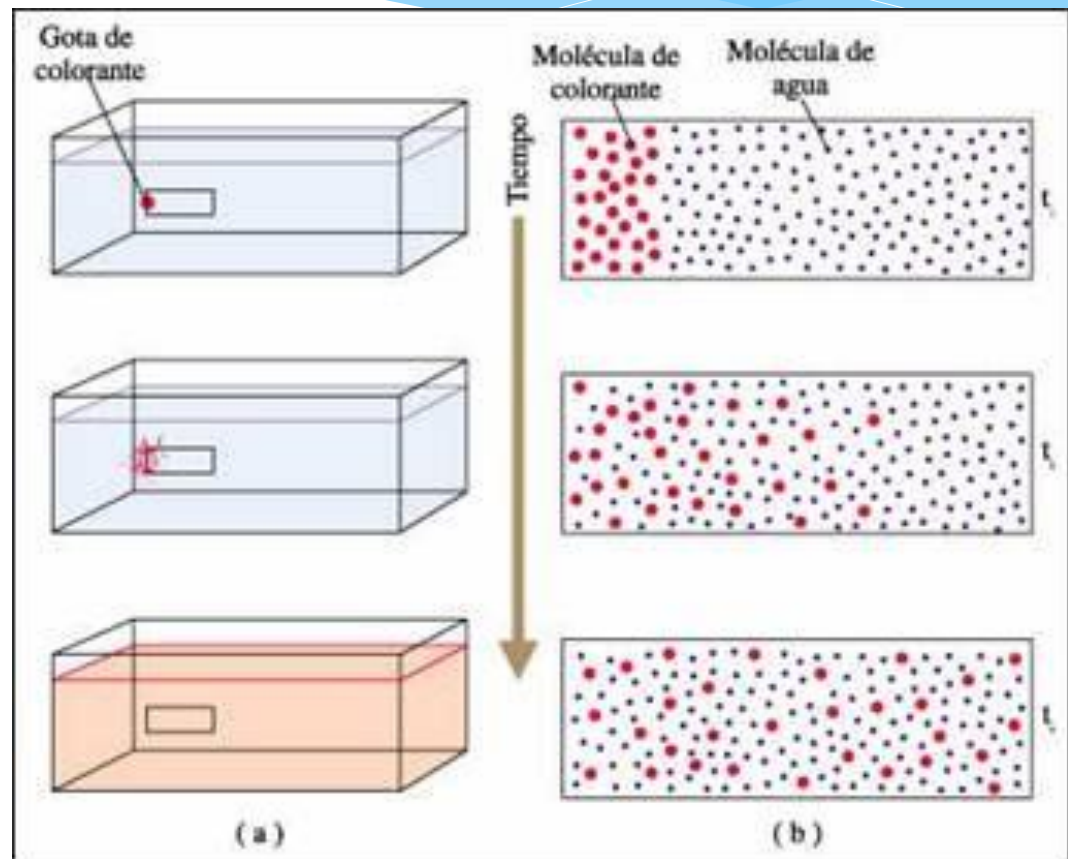


# **Biofísica 2016**

**Flujo de Moléculas, Iones y Agua**

# Movimiento de solutos y solventes entre compartimentos. Difusión.

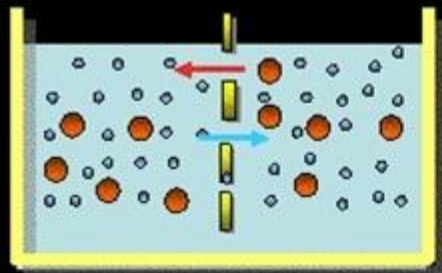
**Difusión:**  
**movimiento**  
**espontáneo** de  
moléculas en un  
medio soluble  
desde el punto  
más concentrado  
al menos  
concentrado



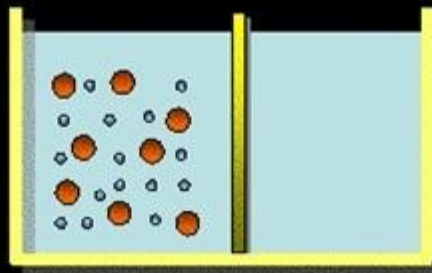
# Difusión a través de una membrana. Un modelo experimental similar al organismo humano.

## Modelo experimental:

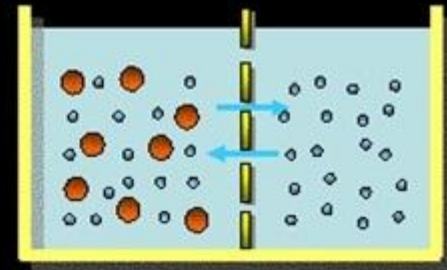
- Un recipiente dividido en dos compartimentos por una membrana
- Tipos de Membrana: permeable, impermeable y semipermeable



permeable: pasa todo



impermeable: no pasa nada



semipermeable: Pasa sólo el disolvente (agua).

# Ley de difusión Fick

Difusión de sustancias a través de una membrana

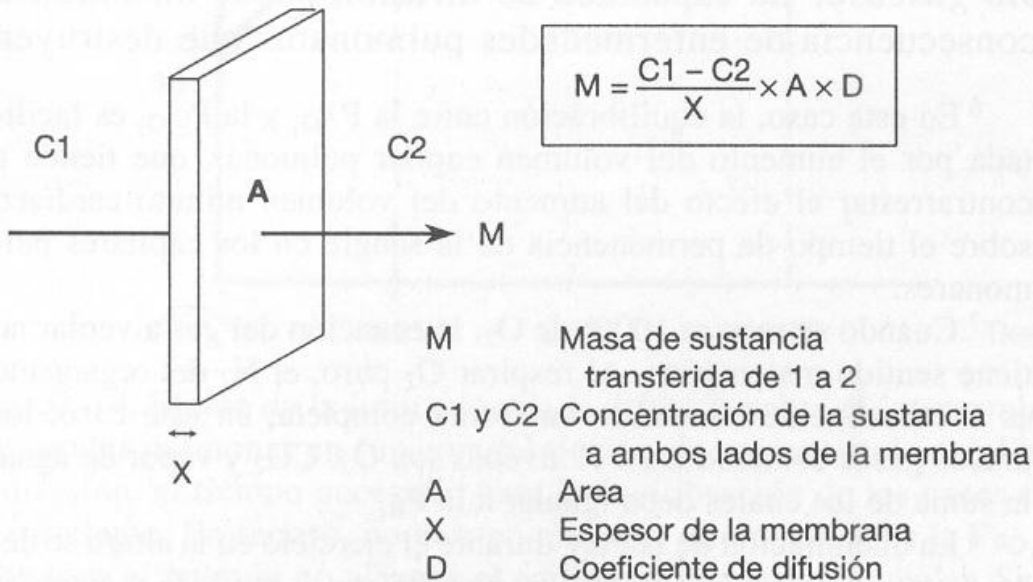


Ilustración gráfica de la ley de Fick de la difusión.

**«El flujo neto de moléculas por unidad de área de membrana, es proporcional al gradiente de concentración.»**

## LEY DE FICK

- “El flujo neto de moléculas por unidad de área de membrana es proporcional al gradiente de concentración”.

$$J = \frac{M}{t}$$

$$J = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

Coefficiente de difusión

Cantidad de soluto que pasa por unidad de tiempo a través de una separación perpendicular de 1 cm<sup>2</sup>, cuando el gradiente de concentración es 1

***D*** : valor experimental de la resistencia que se opone a la difusión.

**Gradiente:**  
variación de una magnitud física entre dos puntos separados por una distancia  $x$ .

# Flujo de moléculas y de iones: análisis a la luz de la Ley de Fick.

J : Flujo neto es la masa de sustancia que difunde por unidad de tiempo.

$$J = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m_1 - m_2}{\Delta t} = D \cdot \frac{\Delta C}{x} \cdot A$$

Unidades

$$D : \frac{cm^2}{s}$$

$$\frac{cm^2}{s} \cdot \frac{mol}{cm^3} \cdot cm^2 \cdot \frac{1}{cm} = \frac{mol}{s}$$

$$\Delta C : \frac{mol}{cm^3}$$

$$A : cm^2$$

$$x : cm$$

$$J : \frac{mol}{s}$$

D: es característico para cada soluto y para un tipo de membrana, de espesor uniforme.

Coeficiente de permeabilidad, P es:

$$P = \frac{D}{x}$$

Relación constante que indica la velocidad con que difunde un soluto dado por la membrana.

Unidades

$$P = \frac{cm^2/s}{cm} = \frac{cm}{s}$$

# Ley de Fick aplicada a membranas experimentales

$$J = P \cdot A \cdot \Delta C$$

Unidades

$$P: \frac{cm}{s}$$

$$A: cm^2$$

$$\Delta C: \frac{mol}{cm^3}$$

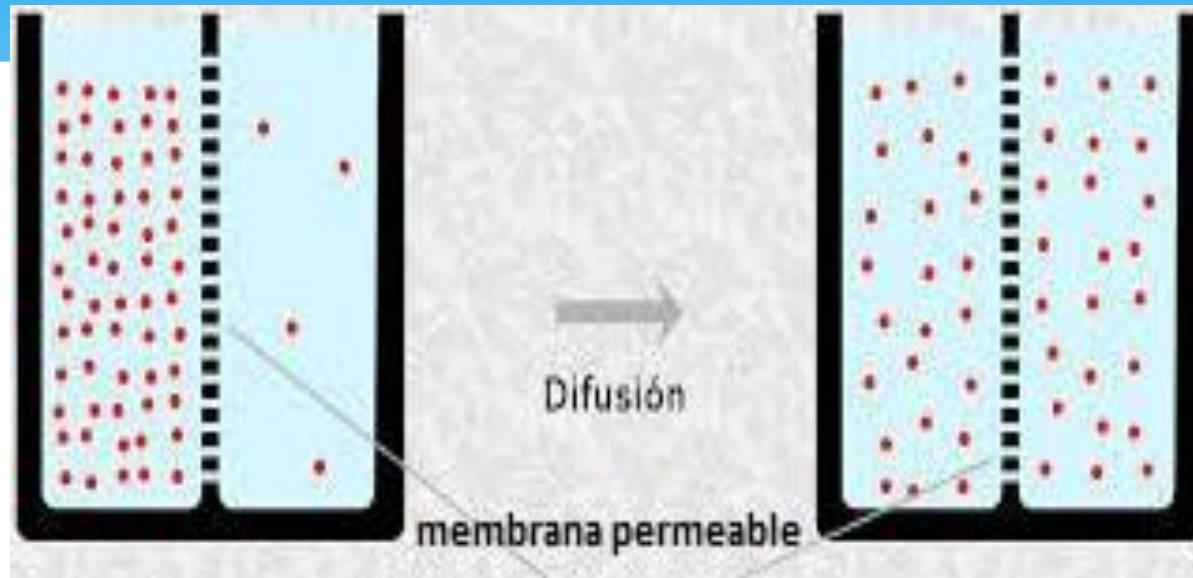
$$J = \frac{cm}{s} \cdot cm^2 \cdot \frac{mol}{cm^3} = \frac{mol}{s}$$



# Tipos de flujos a través de membranas experimentales

Fenómeno	Modelo de membrana	Gradiente	Tipo de flujo
Difusión de moléculas	permeable	De concentración	Difusional
Osmosis	semipermeable	Presión osmótica	Osmótico
Filtración	Filtro; membrana dializadora	Presión hidrostática	Viscoso o convectivo
Difusión de iones	permeable	Eléctrico	Eléctrico o iónico
Difusión de gases (hematosis)	permeable	Presión gaseosa	Gaseoso

# Flujo difusional




Gradiente	Fuerza impulsora	Propiedades	Consecuencia
De concentración química	Agitación molecular o térmica	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Flujo de solutos y solvente (bidireccional)</li><li>❖ <math>\Delta G (-)</math></li></ul>	Equilibrio químico: igualación de concentraciones

# Gradiente de concentración de soluto

Fuerza impulsora:  
agitación térmica

Membrana permeable al soluto


$$J_d = P_d \cdot A \cdot \Delta C$$



unidades

$$(\text{mol} / \text{s}) = (\text{cm} / \text{s}) \cdot (\text{cm}^2) \cdot \text{mol} / \text{cm}^3$$

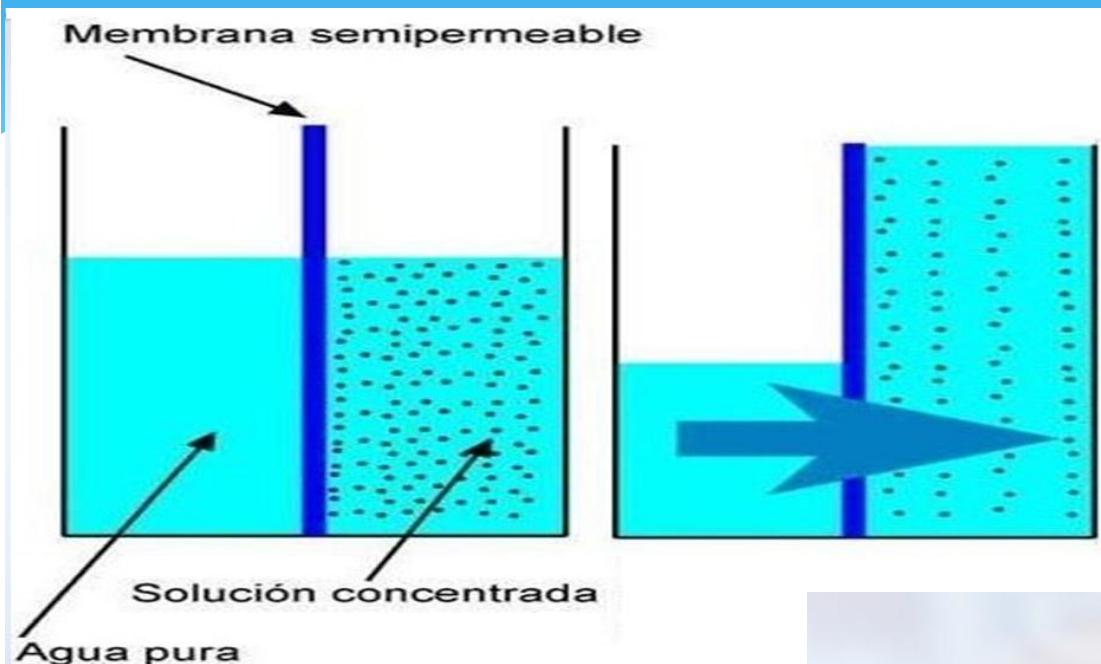
Mide el número de moles que atraviesa  
la membrana por segundo, a favor de un  
gradiente de concentración



$\Delta G (-)$

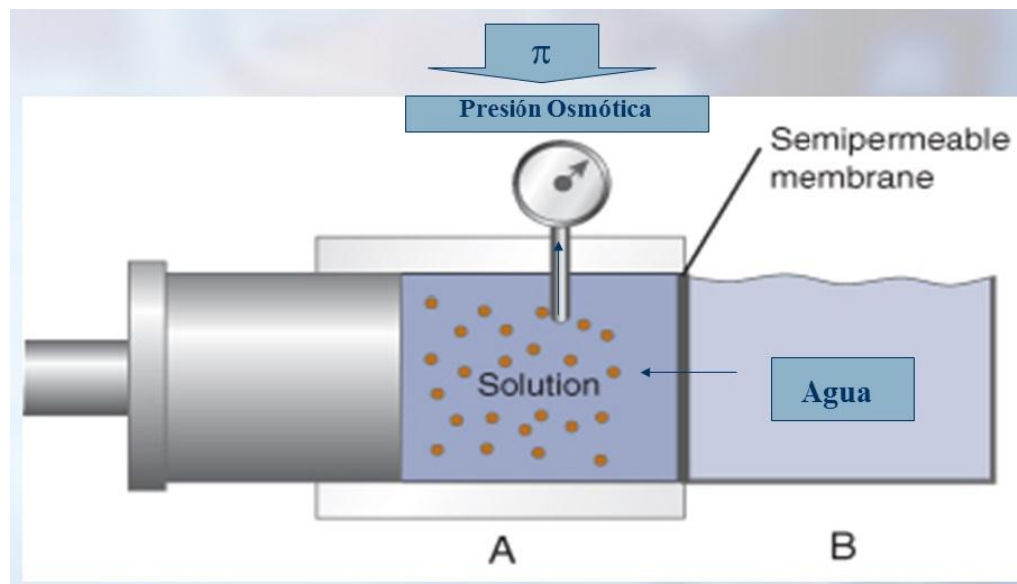
Consecuencia: disipación del gradiente de concentración o  
alcance del equilibrio de concentración

# Flujo osmótico



**Osmosis:** flujo de agua desde el compartimento concentrado en agua, hacia el más diluido en agua

**Presión osmótica:** presión hidrostática necesaria para detener el flujo de agua a través de una membrana semipermeable

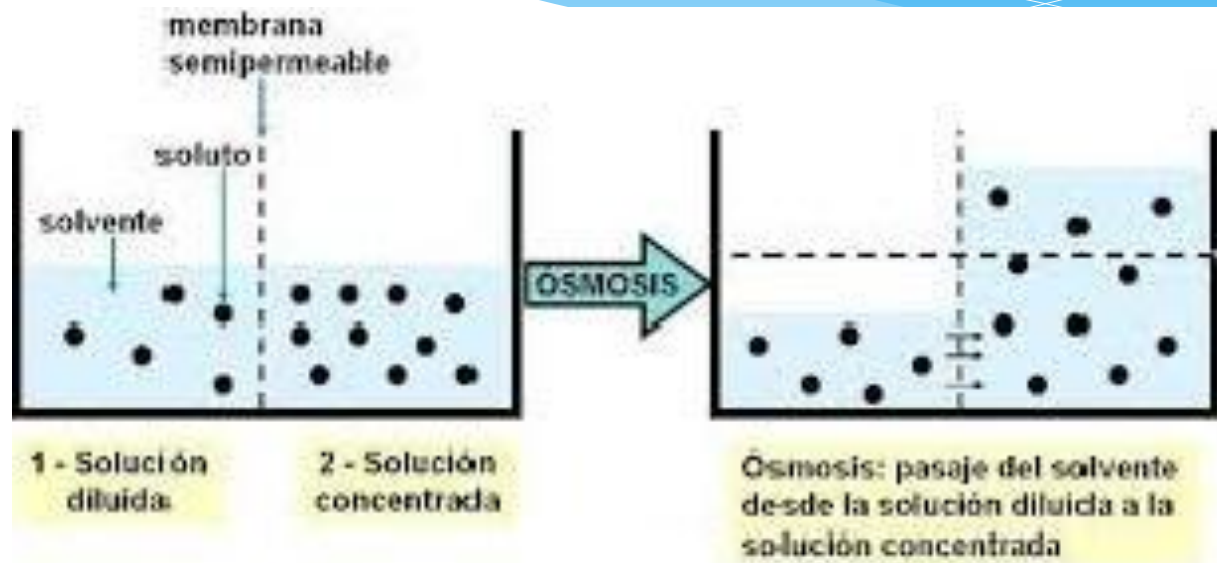


## Cálculo de presión osmótica

$$\pi \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\pi = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T \quad \text{en soluciones diluidas}$$

$$\pi = C \cdot R \cdot T = \text{OsM} \cdot R \cdot T$$



Gradiente	Fuerza impulsora	Propiedades	Consecuencia
De Osmolaridad: moles de partículas osmóticamente activas por litro de solución	Diferencia de presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Flujo de solvente</li> <li>❖ <math>\Delta G (-)</math></li> </ul>	Equilibrio de presión hidrostática y osmótica. (No se llega al equilibrio químico.)

# Gradiente de Osmolaridad

Membrana **semipermeable**

Fuerza impulsora:  
diferencia de presión  
osmótica

Flujo osmótico o volumétrico

$$J_v = P_{osm} \cdot A \cdot \Delta OsM$$

$$\begin{aligned} & (\text{cm}^3_{\text{agua}} / \text{s}) = \\ & = (\text{cm}^4 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{OsM}^{-1}) \cdot (\text{cm}^2) \cdot (\text{OsM}) \\ & (\text{mol}_{\text{agua}} / \text{s}) = \\ & = (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot (\text{cm}^2) \cdot (\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3}) \end{aligned}$$

$$J_v = L_p \cdot A \cdot \Delta \Pi$$

$$J_v = L_p \cdot A \cdot (R \cdot T \cdot \Delta OsM)$$

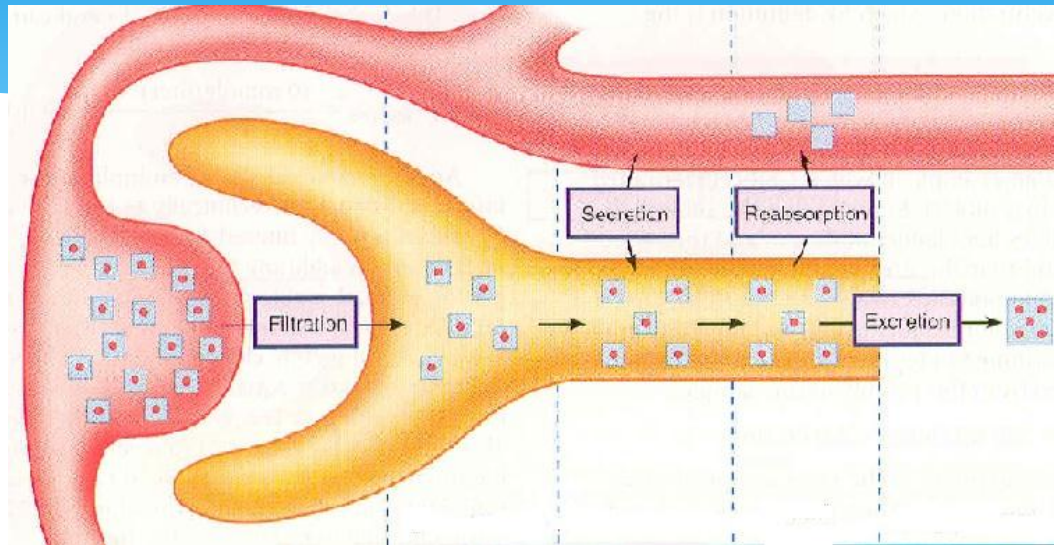
$$\begin{aligned} & (\text{cm}^3_{\text{agua}} / \text{s}) = \\ & = (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}) \cdot (\text{cm}^2) \cdot (\text{atm}) \end{aligned}$$

$$J_{\text{agua}} = J_v / \bar{V}$$

$\bar{V}$  : volumen molar parcial de agua =  
18 cm<sup>3</sup>/mol

$$(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}) / (\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}) = \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$$

# Flujo viscoso o convectivo o filtración



Gradiente	Fuerza impulsora	Propiedades	Consecuencia
De presión hidrostática	Diferencia de presión hidrostática	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Flujo masivo de solutos y solvente en una sola dirección</li><li>❖ <math>\Delta G (-)</math></li></ul>	Equilibrio hidráulico: igualación de presión hidrostática



# Gradiente de presión hidrostática y de masas

Membrana permeable ( ej. poros del endotelio capilar )

Fuerza impulsora:  
presión hidrostática



Flujo convectivo o viscoso :

- Masivo
- Unidireccional
- A favor de un gradiente de presión hidrostática



La membrana ejerce función de “cedazo”

## Flujo convectivo o viscoso de agua y solutos:

$$J_v = L_p \cdot A \cdot \Delta p$$


$L_p$  : coef. de conductividad hidráulica

$\Delta p$  : diferencia de de presión



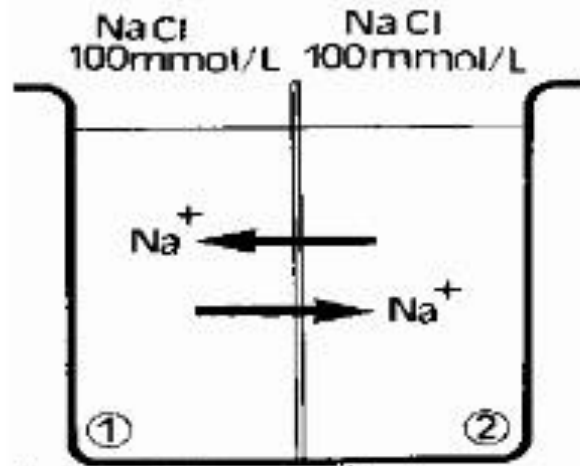
unidades


$$(cm^3 \cdot s^{-1}) = (cm \cdot s^{-1} \cdot atm^{-1}) \cdot (cm^2) \cdot (atm)$$

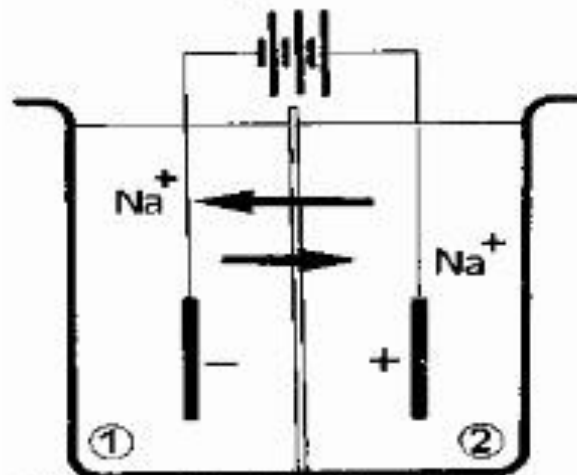


**Consecuencia:** el paso de moléculas ocurre por poros de una membrana que funciona como “cedazo”, en el sentido del gradiente de presión hidrostática.  $L_p$  varía con el PM y radio molecular de solutos filtrables.

# Flujo eléctrico o iónico



A  $J_{\text{neto}} = 0$



B  $J_{\text{neto}} \neq 0$

A: difusión bidireccional de Na (+) y  $J_{\text{neto}} = 0$

B: flujo forzado por electrodos conectados a una fuente de energía eléctrica. Los Na (+) migran hacia el cátodo (polo negativo).  $J_{\text{neto}} \neq 0$

$$J_e = M \cdot A \cdot \frac{\Delta E}{\Delta x}$$

$J_e$ : flujo elèctrico

$M$ : movilidad; facilidad con que la membrana y la soluciòn dejan pasar los iones

$A$  : àrea transversal

$\frac{\Delta E}{\Delta x}$ : gradiente de energìa elèctrica

### Anàlisis dimensional

$$M = \frac{P_e}{R \cdot T}$$

$\frac{\Delta E}{\Delta x}$ : siendo  $\Delta V = \frac{E}{q} \rightarrow E = \Delta V \cdot q \rightarrow \mathbf{J = V \cdot C}$  (joule = volt . Coulomb)

$$1 \text{ mol } e^{-1} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ e. mol}^{-1}. 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \approx 96500 \text{ C/mol}$$

Constante de Faraday, F : **carga de un mol (o equivalente) de iones monovalentes**

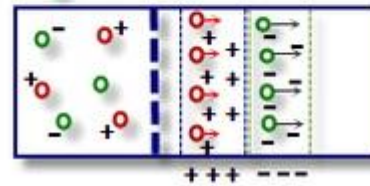
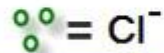
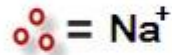
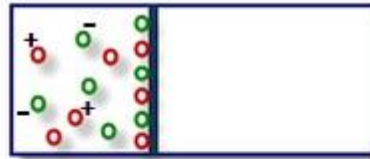
$$q_{i\grave{o}n} = z \cdot F \quad (\text{siendo } z: \text{carga del i\grave{o}n})$$

$$E = V \cdot q_{ion} = V \cdot z \cdot F \rightarrow \frac{J}{C} \cdot \frac{C}{mol} = \frac{J}{mol}$$

$$J_e = M \cdot A \cdot \frac{\Delta E}{\Delta x} = \frac{P_e}{R \cdot T} \cdot A \cdot z \cdot F \cdot C \cdot \Delta V$$

$$P_e = \frac{J_e \cdot R \cdot T}{A \cdot z \cdot F \cdot C \cdot \Delta V} \rightarrow \frac{\text{mol}}{s} \cdot \frac{J}{\text{mol} \cdot K} \cdot K \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \frac{\text{mol} \cdot \text{cm}^3}{C} \cdot \frac{C}{\text{mol} \cdot J} = \frac{\text{cm}}{s}$$

$$J_e = P_e \cdot R^{-1} \cdot T^{-1} \cdot A \cdot z \cdot F \cdot \Delta C \cdot \Delta V$$



Gradiente	Fuerza impulsora	Propiedades	Consecuencia
De cargas eléctricas	Diferencia de potencial eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Flujo de iones de mayor a menor potencial eléctrico</li> <li>❖ Flujo de iones de mayor a menor concentración</li> <li>❖ <math>\Delta G (-)</math></li> </ul>	Tendencia al equilibrio electroquímico

# Estrategia de resolución de situaciones problema

- ❖ Lectura y esquematización de la situación aplicando el modelo experimental
- ❖ Identificar el tipo de flujo
- ❖ Identificar los datos
- ❖ Plantear la fórmula del tipo de flujo
- ❖ Homogeneizar las unidades convenientemente
- ❖ Realizar los cálculos ordenadamente
- ❖ Interpretar los resultados, su significación biofísica

## **Bibliografía recomendada:**

- 1. **“El hombre como sistema físico-químico” P. Catania**
- 2. **«Temas de Biofísica» de Parisi**
- 3. **Fisiología y Biofísica de Montoreano.  
Cap. 2 ( partes 1,2,3 y 4 )**