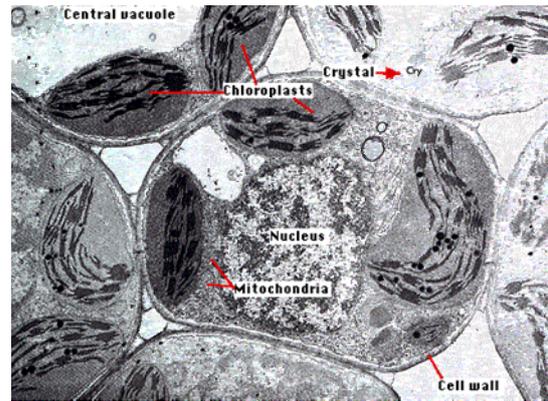
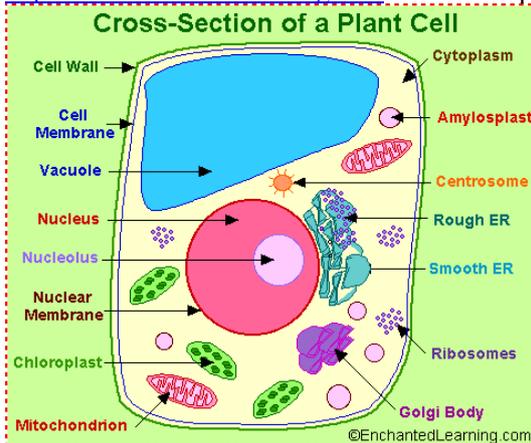


TEMA 4.- TRANSPORTE DE SOLUTOS A TRAVÉS DE MEMBRANAS DE LAS CÉLULAS VEGETALES. Barreras membranosas y compartimentación. Equilibrios y ecuación de Nernst. Mecanismos de transporte a través de las membranas. Bases físicas y moleculares. Cinéticas. Transporte activo. ATPasas, bombas iónicas y acoplamiento.

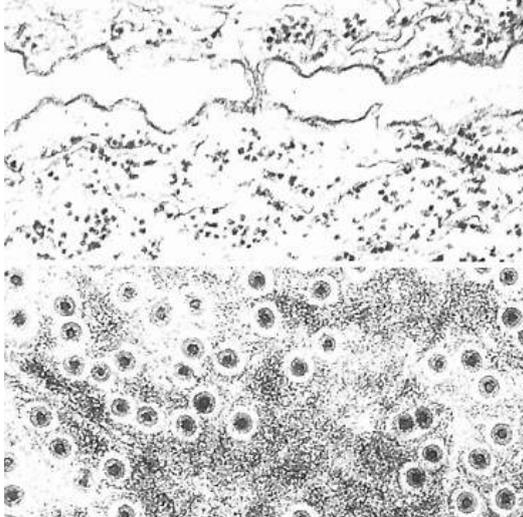
Papel central de las membranas en la compartimentalización de solutos dentro de la célula y de la célula-simplasto con el apoplasto y el agua del suelo. Recordatorio de membranas.

<http://www.enchantedlearning.com>

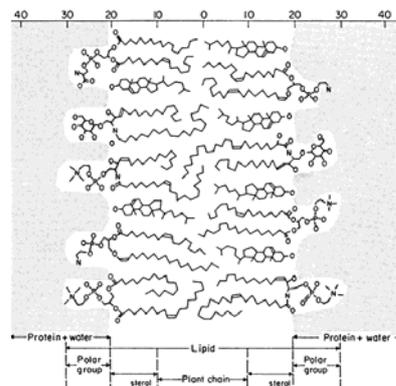
<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages>



<http://www.biologie.uni-hamburg.de>

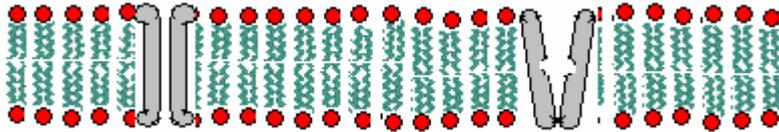


Secciones longitudinales y transversales de paredes mostrando plasmodesmos. (Ch. GLOCKENMANN, R. KOLLMANN, 1975 y 1979).



Disposición de los componentes en la membrana (From Caspar & Kirschner, 1971).

Con una bicapa hidrofóbica (principalmente en plantas de fosfolípidos o galactolípidos) las membranas son poco permeables a solutos hidrofílicos que, como iones e hidratos de carbono, solo podrán atravesarlas por canales y/o permeasas.



En cambio, al agua pasa libremente por las membranas debido a la presencia de componentes que, como diversos isoprenoides y proteínas estructurales, probablemente proporcionan espacios de paso de agua al crear discontinuidades en el empaquetamiento de la bicapa lipídica.

Ecuación de Nernst.- El transporte neto de un soluto i a través de la membrana también depende las relaciones de equilibrio para el mismo entre los dos lados de la membrana. De igual manera que para el disolvente, tal equilibrio se alcanza cuando el potencial químico del mismo (μ_i) es igual a los dos lados (I y II) de la membrana ($\mu_i^I = \mu_i^{II}$). Para el caso más general de solutos con carga eléctrica (iones) tal equilibrio está afectado por el diferente potencial eléctrico a uno u otro lado de la membrana: E^I y E^{II} que determina al denominado potencial de membrana: $E_N = E^I - E^{II}$.

De la condición de equilibrio: $\mu_i^I = \mu_i^{II}$, sustituyendo:

$$\mu_i^* + (R \times T \times \ln a_i^I) + (V_i \times P^I) + (z_i \times F \times E^I) + (m_i \times g \times h^I) = \mu_i^* + (R \times T \times \ln a_i^{II}) + (V_i \times P^{II}) + (z_i \times F \times E^{II}) + (m_i \times g \times h^{II})$$

Se puede demostrar que, en la generalidad de los casos para solutos, los valores de los sumandos $V_i \times P$ y $m_i \times g \times h$ son despreciables, por lo que la igualdad anterior se simplifica a:

$R \times T \times \ln a_i^I + z_i \times F \times E^I = R \times T \times \ln a_i^{II} + z_i \times F \times E^{II}$; de la que se pueden obtener diferentes formulaciones de la ecuación de Nernst que relaciona las concentraciones en equilibrio de un soluto i a los dos lados de la membrana con el potencial de membrana ($E_N = E^I - E^{II}$; por ejemplo en la membrana plasmática E^I puede ser el potencial eléctrico en el interior y E^{II} el potencial en el exterior de la célula):

$$E_N = E^I - E^{II} \text{ (en voltios)} = (RT/z_i F) \ln (a_i^{II} / a_i^I) \text{ que a } 25^\circ\text{C queda (recuérdese } R=8,314 \text{ julios mol}^{-1}\text{K}^{-1}; F=96490 \text{ culombios mol}^{-1} \text{ y } T=298 \text{ }^\circ\text{K): } E_N = E^I - E^{II} = (0,0592/z_i) \lg (a_i^{II} / a_i^I); \text{ o bien:}$$

$$\lg (a_i^{II} / a_i^I) = (z_i E_N / 0,0592).$$

Recuérdense los significados de z_i y F . En general, las actividades se pueden aproximar como concentraciones.

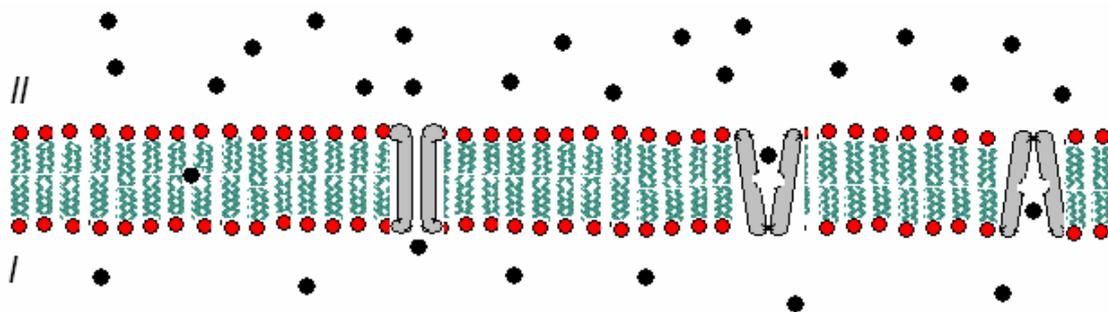
Aplicación a dos ejemplos sencillos con $E_N = -0,1$ voltio (valor típico en una membrana plasmática) y los iones monovalentes K^+ ($z_i = 1$) y Cl^- ($z_i = -1$):

z_i	1	-1
$\lg(a_i''/a_i') = (z_i E_N / 0,0592)$	-1,7	+1,7
a_i''/a_i'	0,02	50

Interpretación de los resultados. Reglas generales de equilibrio. Origen del potencial de membrana. Interpretación del equilibrio Donnan. Caso de solutos no cargados ($z_i = 0$). Caso de membranas no polarizadas ($E_N = 0$).

Fenómenos de transporte activo. Criterios de transporte activo: cuando tiende a alejar el sistema de la situación de equilibrio. No activo, no requiere energía metabólica cuando el transporte tiende a aproximar el sistema al equilibrio.

Mecanismos de transporte a través de las membranas. Bases físicas y moleculares. Cinéticas.



Transporte másico.

Transporte molecular.

Difusión física simple: siempre a favor de un gradiente de μ_i .

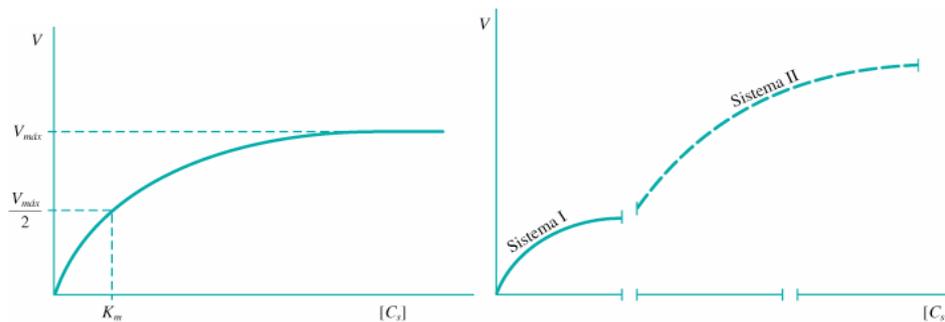
Difusión por un canal: siempre a favor de un gradiente de μ_i .

Transporte o difusión facilitada por una permeasa o proteína transportadora.

Puede actuar a favor de un gradiente de μ_i (transporte facilitado pasivo, uniporte) en contra (transporte facilitado activo que requiere energía metabólica). El transporte facilitado activo puede ser primario (usa ATP o una reacción redox a nivel de membrana) o secundario (co-transporte: acopla el transporte de un soluto a favor de gradiente de μ_i con el de otro en contra de un gradiente de μ_i) y éste último simporte o antiporte.

No activo	Uniporte	
Activo	Primario	
	Secundario (co-transporte)	Simporte Antiporte

Transporte facilitado por permeasas (velocidad saturable al aumentar la concentración del soluto transportado: cinéticas de Michaelis-Menten o más complejas).



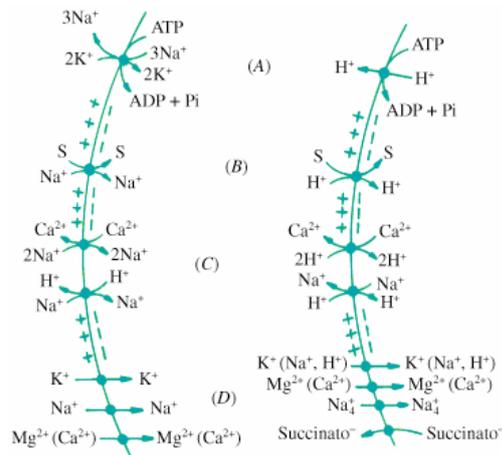
Efecto de la concentración en la velocidad de absorción-1

Efecto de la concentración en la velocidad de absorción-2

Barceló, Nicolás, Sabater y Sanchez Tamés. "Fisiología Vegetal". Pirámide, 2005. Madrid.

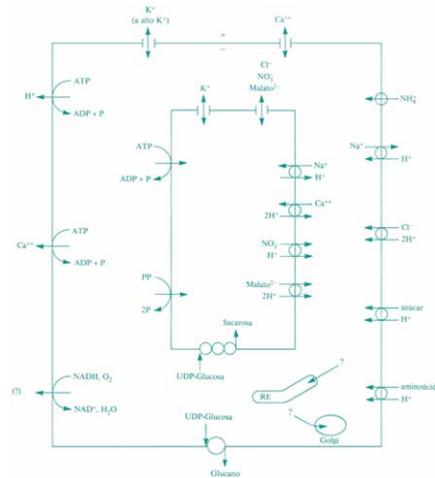
Transporte activo. ATPasas, bombas iónicas y acoplamientos.

Transporte activo primario en plantas. ATPasa de la membrana plasmática. Otras bombas de protones.



ATPasa animal

ATPasa de plantas, algas y hongos



Sistemas de transporte en la célula vegetal

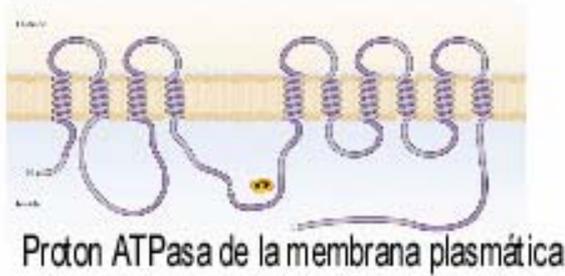
Barceló, Nicolás, Sabater y Sanchez Tamés. "Fisiología Vegetal". Pirámide, 2005. Madrid.

Bombas iónicas en plantas

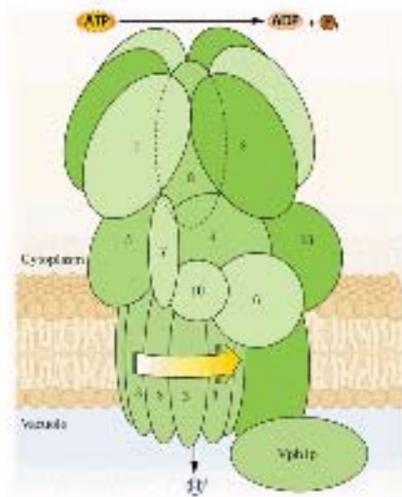
TABLA 6.1
Diferencias en diversos tipos de bombas iónicas en plantas: ATPasas, ATP-sintasas y PP_{asa}-H⁺ en diversas membranas celulares

Tipo	ATPasa			
	F (F ₀ F ₁)	P (P ₀ P ₂)	V	V-PPasa
Localización	Membrana plasmática (Procariotas) Mitocondria Cloroplastos	Plasmalema	Endomembranas (Vacuola)	Tonoplasto
Ion transportado	H ⁺	H ⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺	H ⁺	H ⁺
Estequiometría H ⁺ /ATP o H ⁺ /PP	2-3	1	2	1
pH óptimo	Alcalino	6,5	7,9	8,5-9,0
Función biológica	Síntesis ATP (ATP-sintasa)	Hidrólisis ATP, E _m ΔH ⁺	Hidrólisis ATP, E _m ΔH ⁺	Hidrólisis PP, E _m ΔH ⁺
Inhibidores	Azida, oligomicina	Ortovanadato, dicitiohexilcarbodiimida (DCCD)	KNO ₃ , bofilomicina	Maleimidas
Intermediario acil-fosfato	-	+	-	-
Masa molecular (kDa)	500 (oligomérico)	100 (posiblemente dimerico)	400-500 (oligomérico)	66-81 (posiblemente oligomérico)

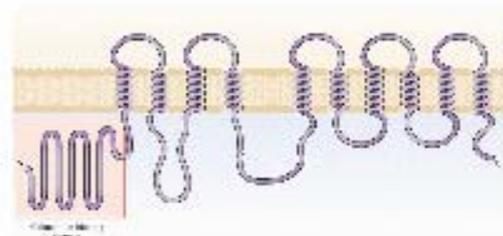
Barceló, Nicolás, Sabater y Sanchez Tamés. "Fisiología Vegetal". Pirámide, 2005. Madrid.



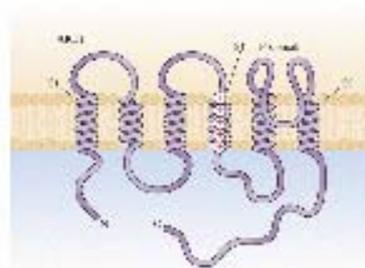
Proton ATPasa de la membrana plasmática



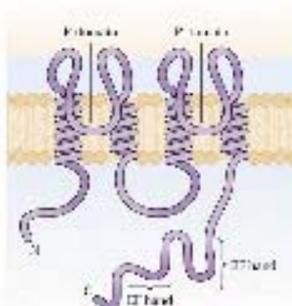
ATPasa vacuolar



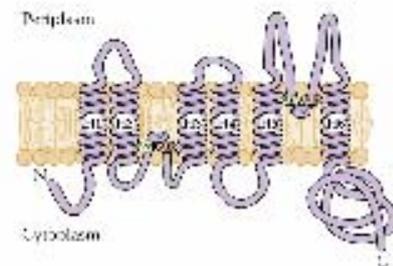
Ión Ca-ATPasa vacuolar



Canal AKT1 de entrada de ión potasio



Canal AKT1 de salida de ión potasio



Acua porina

Tomadas de Buchanan, Grissem & Jones: "Biochemistry and Molecular Biology of Plants" (ASPB)

Estado actual de las investigaciones.