

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES  
Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales  
Cátedra de Química Biológica II de Bioquímica y Farmacia

CUADERNO TEÓRICO DE QUÍMICA BIOLÓGICA II  
Bioquímica y Farmacia

## TRANSPORTE DE MEMBRANA PLASMÁTICA

Milde, Laura Beatriz -Prof. Adj. A/C-  
Vedoya, María Celina -JTP-  
Medina, Gladis Edith -Aux. de 1<sup>ra</sup>-  
Acuña, María Clara -Aux. de 1<sup>ra</sup>-



## EDITORIAL UNIVERSITARIA DE MISIONES

San Luis 1870  
Posadas - Misiones  
Tel-fax: 03752-428601

*Correos electrónicos:*  
edunam-admini@arnet.com.ar  
edunam-direccion@arnet.com.ar  
edunam-produccion@arnet.com.ar  
edunam-ventas@arnet.com.ar

Colección: Cuadernos de Cátedra

Coordinación de la edición: Claudio Zalazar

Armado de interiores: Javier B. Giménez

Corrección: Amelia E. Morgenstern

Impreso en Argentina  
©Editorial Universitaria  
Universidad Nacional de Misiones  
Posadas, 2009

## ÍNDICE

PRÓLOGO.....	5
TRANSPORTE DE MEMBRANA.....	7
Introducción.....	7
Membrana plasmática.....	7
Componentes.....	7
TERMODINÁMICA DEL TRANSPORTE.....	10
MECANISMOS DE TRANSPORTE DE MEMBRANAS.....	11
Cuadro transporte mediado.....	12
Mecanismos de transporte no mediado.....	12
Mecanismos de transporte mediado: Difusión facilitada.....	13
Canales de agua o Acuoporinas.....	16
Uniones comunicantes.....	17
Bombas iónicas.....	17
Transporte activo secundario.....	17
BIBLIOGRAFÍA.....	19

## LOS AUTORES

### MILDE, LAURA BEATRIZ

- Bioquímica
- Profesor Adjunto dedicación exclusiva, Cátedra de Química Biológica, Carreras de Bioquímica y Farmacia. Departamento Química. Con afectación a la Cátedra Biología Celular y Molecular. Carrera de Bioquímica.
- Magister en Tecnología de los Alimentos. FCEQyN - UNaM.
- Primer premio internacional al trabajo científico: “Diseño de un enzimoimmunoensayo para control de alimentos destinados a celíacos”. Congreso en Santiago de Chile.
- Directora de Proyectos de Investigación del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDET). FCEQyN - UNaM.

### VEDOYA, MARÍA CELINA

- Bioquímica
- J. T. P. Exclusiva, Cátedra de Micología, Carrera de Bioquímica; y en la Cátedra Química Biológica de las carreras de Bioquímica y Farmacia de la FCEQyN - UNaM, Departamentos de Microbiología y Química.
- Directora del Área Temática de Proyectos de Investigación del Centro de Investigación Desarrollo Tecnológico (CIDET). FCEQyN - UNaM.
- Publicación de libros:  
“Micosis Superficiales y Cutáneas” (con autores varios), Editorial Universitaria. UNaM. 2003.  
“Guía de Trabajos Prácticos. Cátedra de Micología” (con autores varios), Editorial Universitaria. UNaM. 2005.

### MEDINA, GLADIS EDITH

- Bioquímica
- Especialista en Química Clínica y en Didáctica Superior Universitaria.
- Docente de la Cátedra de Química Biológica de las Carreras de Bioquímica y Farmacia FCEQyN - UNaM.
- Directora del Área Temática en el Proyecto: Factores de Riesgo Aterogénico en Empleados de la Administración Pública del Hospital Ramón Madariaga y Hospital Pediátrico de la ciudad de Posadas.
- Publicaciones en Revistas Nacionales e Internacionales, incorporadas al Chemical Abstract.

### ACUÑA, MARÍA CLARA

- Bioquímica
- Especialista en Química Clínica.
- Auxiliar de Primera, Simple. Cátedra de Química Biológica. Carrera de Bioquímica y Farmacia. FCEQyN - UNaM.

## PRÓLOGO

La vida sería inimaginable si no hubiera una membrana que rodeara a la célula. Ella y sus organelas no pueden estar totalmente abiertas ni absolutamente cerradas a su entorno; por esto la membrana plasmática juega un rol fundamental, participando en la defensa contra moléculas invasoras indeseables, regulando la entrada y salida de sustancias y su comunicación con el medio. Llegar a conocer exactamente su estructura, funcionamiento y fenómenos de transporte, no solo puede ser la clave para entender la vida, sino también para mejorar el diseño de drogas. Dada la importancia del transporte a través de la membrana, las células utilizan un gran número de diferentes mecanismos.

Este cuaderno fue elaborado con la finalidad de familiarizar al alumno, con la estructura de la membrana plasmática e introducirlo en el conocimiento del papel fisiológico que tienen los transportadores de membrana con gran importancia en el funcionamiento del organismo incorporando nutrientes para ser metabolizados a fin de obtener energía y metabolitos intermedios y eliminando sustancias. Además los transportadores de membrana son necesarios para el transporte de fármacos y su alteración es causa de ciertas patologías.



## TRANSPORTE DE MEMBRANA

### INTRODUCCIÓN

#### MEMBRANA PLASMÁTICA

La membrana plasmática es una estructura muy fina (6–10 nm), que reviste la superficie externa de las células. Es una estructura funcional con las siguientes propiedades funcionales:

- Provee el ambiente adecuado a numerosas proteínas insertas en ella.
- Posee receptores que se unen específicamente a hormonas, factores de crecimiento, neurotransmisores y otros mensajeros químicos.
- Participa activamente en procesos de incorporación de macromoléculas y partículas a la célula, o secreción al exterior (endocitosis y exocitosis).
- Adhesión a otras células o estructuras.
- Contribuye a mantener la forma celular.
- Actúa como barrera de permeabilidad: controla el pasaje de iones y moléculas a través suyo e impide la mezcla de los componentes del medio intracelular con el entorno.

Las organelas celulares están rodeadas también, por membranas de estructura básica similar a la membrana plasmática.

#### COMPONENTES

Todas las membranas biológicas están constituidas por lípidos y proteínas asociados a carbohidratos como glicolípidos y glicoproteínas, cuya cantidad relativa varía de acuerdo al tejido y organelas celulares, por ej.: la membrana del glóbulo rojo es 50% proteínas y 50% lípidos, las membranas de las vainas de mielina 80% lípidos y 20% de proteínas.

Las membranas biológicas están formadas por bicapas lipídicas que forman sacos cerrados que delimitan las células.

En la figura 1 se observa una representación esquemática de la estructura de la membrana plasmática.

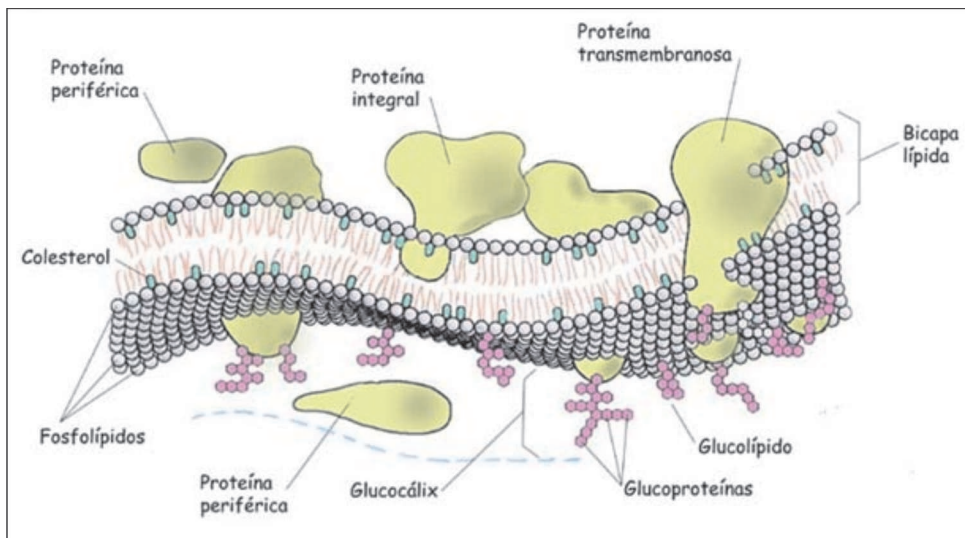


Figura 1: Componentes de una membrana plasmática.

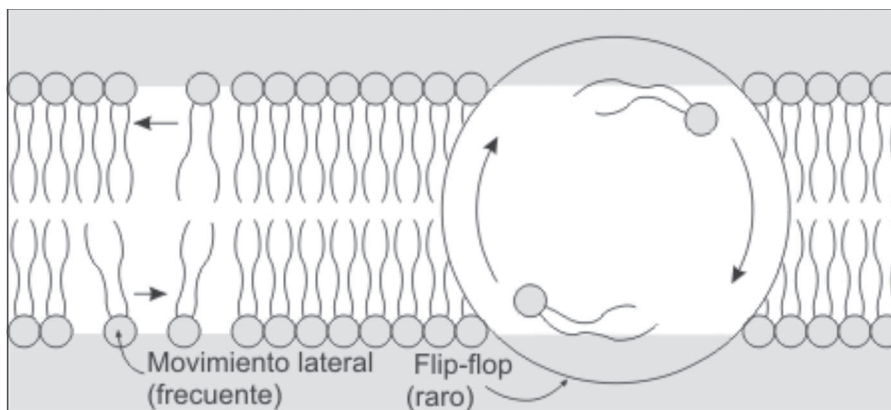
## LÍPIDOS

Lípidos de membrana — [ fosfolípidos (glicerofosfolípidos y esfingofosfolípidos)  
glicolípidos (cerebrósidos y gangliósidos)  
colesterol

Los lípidos complejos (fosfolípidos y glicolípidos) son anfipáticos, con una cabeza “polar” y largas cadenas hidrocarbonadas o colas “apolares”. Las cabezas polares de los lípidos anfipáticos son hidrofílicas, y las colas apolares son hidrofóbicas.

Los fosfolípidos son los componentes más abundantes, poseen 2 largas cadenas hidrocarbonadas apolares, saturadas e insaturadas. Las cadenas saturadas pueden rotar libremente alrededor de los enlaces simples lo que les permite oscilar.

En la figura 2 se observa la disposición y desplazamiento de los lípidos en la membrana plasmática.



*Figura 2: Representación esquemática de los lípidos en la bicapa.*

La configuración extendida (perpendicular al plano de la membrana) es más frecuente, de menor energía libre, y las interacciones mutuas (hidrofóbicas y fuerzas de Van Der Waals) de las cadenas paralelas dan un conjunto compacto.

Los ácidos grasos insaturados producen angulaciones rígidas que tienden a distanciar las colas hidrocarbonadas y da una disposición abierta

Los fosfolípidos predominantes en membrana son: fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina, fosfatidilinositol y esfingomiélin.

Los glicolípidos son: cerebrósidos y gangliósidos; constituyen una pequeña proporción de los componentes de membrana y suelen actuar como señal de reconocimiento celular.

El colesterol, cuantitativamente importante se inserta en la membrana con el grupo hidroxilo próximo a la cabeza polar de los lípidos anfipáticos, y el núcleo cíclico se dispone entre las colas hidrofóbicas.

Se dice que la membrana es asimétrica porque las 2 capas lipídicas no son idénticas en su composición. Así, en la capa externa predominan fosfatidilcolina y esfingomiélin, y en la interna, fosfatidiletanolamina y fosfatidilserina.

Las membranas son estructuras fluidas a temperaturas fisiológicas, que permiten que sus componentes se desplacen lateralmente y también roten sobre su eje perpendicular a las mismas.

La fluidez es mayor cuanto más elevada es la cantidad de ácidos grasos insaturados y también cuando aumenta la temperatura, porque se altera el empaquetamiento de las cadenas.

Las cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos saturados forman conjuntos compactos que confieren rigidez a la membrana.

El colesterol a altas temperaturas reduce la fluidez, mientras que a bajas temperaturas la aumenta.



## PROTEÍNAS

Las proteínas se encuentran en importante cantidad y están asociadas a los componentes de la bicapa lipídica por interacciones no covalentes. Según sus interacciones, las proteínas de membranas pueden ser: (ver Figura 1)

- Integrales o intrínsecas
- Periféricas o extrínsecas

Las proteínas integrales poseen porciones de cadena inserta o empotrada en la doble capa; algunas penetran hasta la parte media, pero la mayoría atraviesa la bicapa.

Las proteínas periféricas no alcanzan el centro hidrofóbico de la bicapa lipídica, solo están yuxtapuesta sobre unas de las caras de la membrana y unidas a ellas por interacciones con los dominios polares de proteínas integrales o con las cabezas polares de los lípidos.

También las membranas biológicas son asimétricas con respecto a sus proteínas; ellas pueden desplazarse lateralmente o rotar sobre su eje y se las ha comparado con “icebergs” que flotan en la bicapa lipídica. Esto confirma el concepto de “mosaico fluido”.

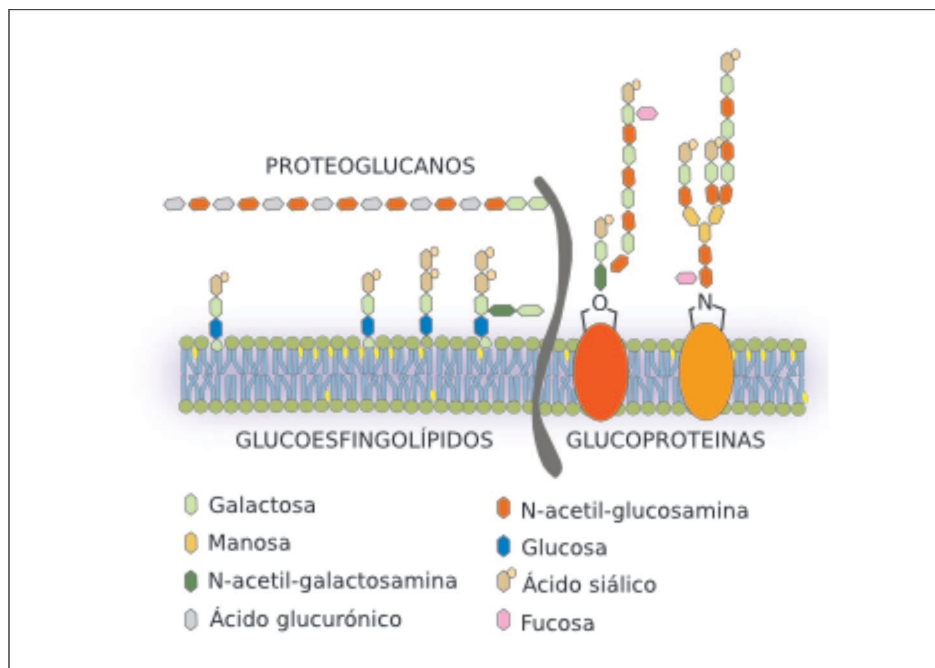
## CARBOHIDRATOS

La membrana plasmática contiene también glúcidos unidos covalentemente a lípidos (cerebrósidos y gangliósidos) o a proteínas (glicoproteínas) y se encuentran en la cara externa formando el llamado “glicocáliz” (ver Figura 1).

Los glúcidos pueden ser monosacáridos (glucosa o galactosa en cerebrósidos) u oligosacáridos (gangliósidos y glicoproteínas).

Los carbohidratos son importantes para el reconocimiento intercelular (interacciones célula-célula) o para la fijación de ligandos (moléculas mensajeras, toxinas, bacterias, virus).

En la figura 3 se puede observar la disposición de los carbohidratos de la membrana.



*Figura 3: Disposición de algunas moléculas glicosiladas en la membrana.*

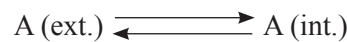
## • TERMODINÁMICA DEL TRANSPORTE

Los centros no polares de las membranas biológicas determinan que sean impermeables a la mayoría de las sustancias iónicas y polares y, por lo tanto, esas sustancias solo pueden atravesar las membranas por acción de “proteínas de transporte específicas”.

Las proteínas de transporte son también responsables de todos los fenómenos biológicos electroquímicos. Por ej.: neurotransmisión.

Como es difícil determinar la actividad de una sustancia en un compartimiento celular, simplificaremos diciendo que las actividades de las sustancias son iguales a las concentraciones molares.

La difusión de una sustancia entre los dos lados de una membrana se parece termodinámicamente al equilibrio químico:



Una diferencia en las concentraciones de las sustancias a ambos lados de la membrana genera una diferencia de **potencial químico o gradiente de concentración**:

$$\Delta G_A = G_A \text{ (int)} - G_A \text{ (ext)} = RT \ln \frac{[A] \text{ (int)}}{[A] \text{ (ext)}} \quad (1)$$

$G_A$  = potencial químico de A o energía libre molar parcial

Si la concentración de A (ext) es mayor que la del lado interno de la membrana, el  $\Delta G_A$  para transferir A del exterior al interior será negativo (-), el flujo espontáneo neto de A será hacia el interior.

Si la [A] es mayor en el interior que afuera, el  $\Delta G_A$  será (+) y solo habrá un flujo neto de A hacia el interior, si se le acopla un proceso exergónico, como la hidrólisis de ATP, para hacer (-) el cambio global de energía libre.

La permeabilidad de las membranas biológicas a iones:  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $K^+$ , y  $Ca^{++}$ , están controladas por sistemas de transporte específicos ubicados en la membrana.

Las diferencias de carga resultantes a través de una membrana biológica generan una diferencia de **potencial eléctrico**:

$$\Delta \Psi = \Psi \text{ (int)} - \Psi \text{ (ext)} \quad \Psi: \text{ potencial de membrana}$$

Por ejemplo, Si “A” es un ión, la ecuación (1) debe incluir el trabajo eléctrico necesario para transferir un mol de “A” a través de la membrana desde el exterior hacia el interior:

$$\Delta G_A = RT \ln \frac{[A] \text{ (int)}}{[A] \text{ (ext)}} + Z_A F \Delta \psi$$

$Z_A$ : carga iónica de A

F: constante de Faraday = carga de 1 mol de electrones

$G_A$ : potencial electroquímico de A

Los potenciales de membrana de las células vivas se pueden medir por microelectrodos.

## • MECANISMOS DE TRANSPORTE DE MEMBRANAS

Moléculas no polares pequeñas, como las de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, difunden libremente a través de membranas; también lo hacen compuestos liposolubles de mayor tamaño, como las hormonas esteroideas y ácidos grasos. El agua y la urea, a pesar de ser polares, atraviesan membranas celulares porque son pequeñas y no poseen carga; el flujo de moléculas polares es más difícil cuanto mayor sea su tamaño. Las hexosas, por ejemplo, difunden con gran dificultad. En cuanto a los iones, por pequeños que sean, no pueden atravesar la bicapa lipídica. Por eso, las membranas celulares disponen de mecanismos especializados, como canales y transportadores, e incluso algunos requieren energía para poder incorporar o liberar estos compuestos.

En la figura 4 se observa el pasaje de diferentes moléculas a través de la membrana.

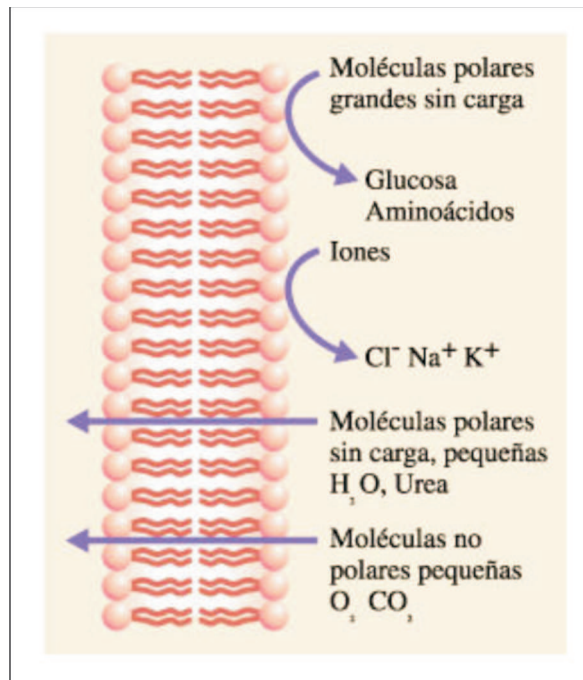


Figura 4: Permeabilidad de la bicapa lipídica.

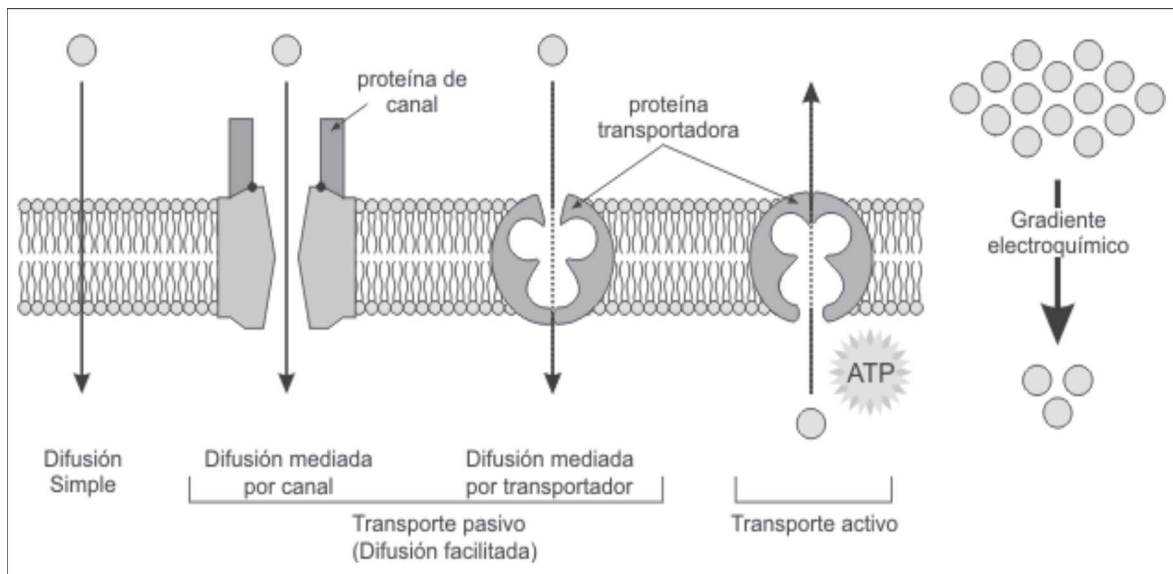
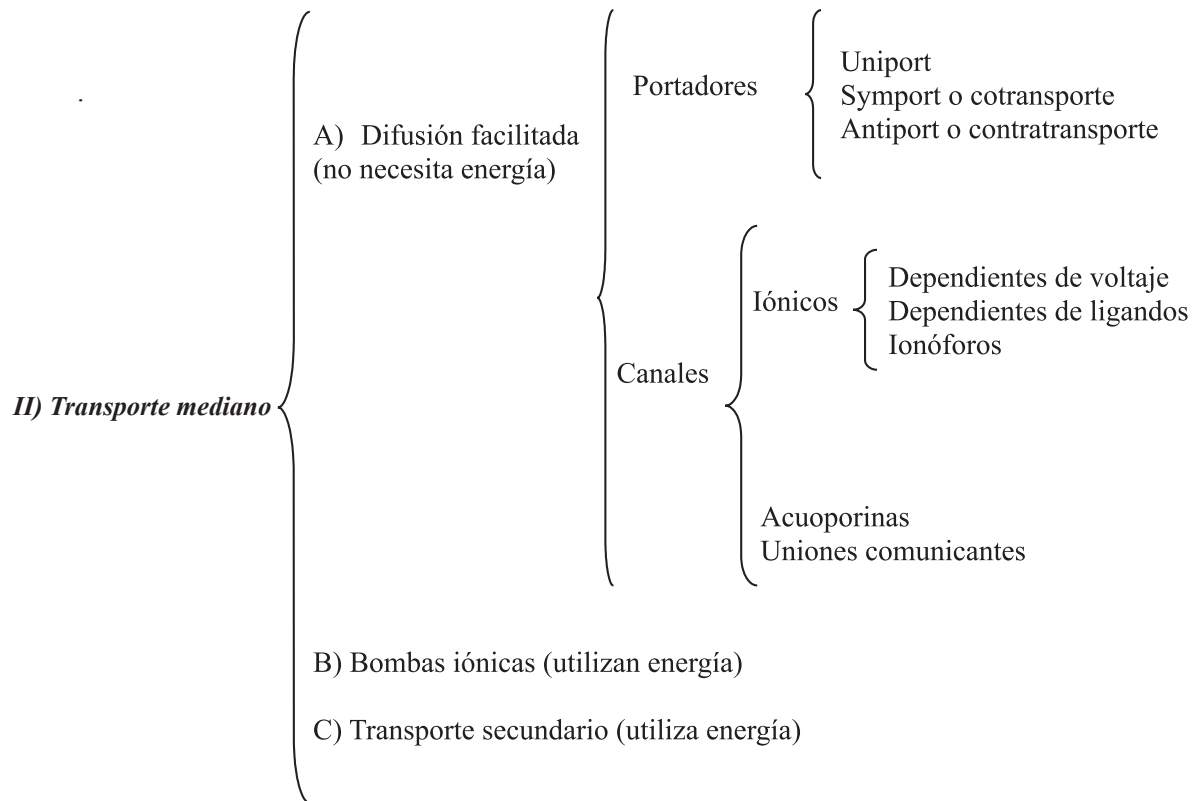
Podemos clasificar los mecanismos de transporte de acuerdo a la necesidad y utilización de energía en:

- transporte pasivo: no utiliza energía.
- transporte activo: utiliza energía.

Y también, según sea a través de proteínas o no, en:

**I) transporte no mediado** por proteínas o difusión simple.

**II) transporte mediado** por proteínas específicas (transportadores, permeasas, traslocasas, translocadores, carriers) puede ser:



*Figura 5: Mecanismos de transporte a través de membrana.*

## I) TRANSPORTE NO MEDIADO POR PROTEINAS

### DIFUSIÓN SIMPLE:

No necesita ni usa energía para el pasaje de sustancias a través de la membrana plasmática.

Es el movimiento de partículas de un sitio de concentración elevada hacia uno menor, con una velocidad proporcional a la diferencia de concentraciones o gradiente, como se muestra en la figura 6.

La velocidad de flujo depende, además del gradiente, del coeficiente de difusión, del tamaño de las moléculas, la temperatura y viscosidad del solvente.

La difusión a favor del gradiente es un proceso pasivo, transcurre espontáneamente.

Se realiza con una velocidad constante proporcional a la diferencia de concentración o gradiente entre uno y otro lado de la membrana.

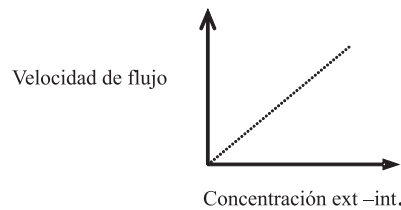


Figura 6. Representación gráfica de velocidad de flujo versus concentración.

La pendiente de la recta depende del coeficiente de permeabilidad, donde se consideran varios factores como: coeficiente de partición, movilidad del soluto en la bicapa y espesor de la porción hidrofóbica de la membrana.

La difusión se realiza en cualquier dirección, siempre siguiendo el gradiente. Ej: difusión de ácidos grasos.

## II) TRANSPORTE MEDIADO POR PROTEINAS

### II-A. DIFUSIÓN FACILITADA

Las moléculas que por su tamaño o naturaleza polar, tienen muy bajo coeficiente de permeabilidad difunden muy lentamente a través de la bicapas lipídicas. Pero muchas de esas moléculas atraviesan membranas biológicas más rápido de lo esperado, debido a la existencia de estructuras de transporte formadas por proteínas integrales, llamados canales proteicos y portadores.

Los portadores o transportadores y los canales o poros están constituidos por cadenas polipeptídicas con múltiples segmentos transmembrana. Estos segmentos forman un pasaje por el cual atraviesan los solutos polares, sin entrar en contacto con el interior hidrofóbico de la bicapa.

El transporte a través de los canales y de un buen número de portadores es impulsado por el gradiente químico, y se realiza sin gasto de energía.

Los portadores difieren de los canales en el modo de reconocer el o los solutos, el portador dispone de un sitio de unión al cual solo puede fijarse el sustrato específico y los canales, sin embargo, discriminan el soluto por su tamaño y por su carga. Un ejemplo de ello se observa en la figura 7.

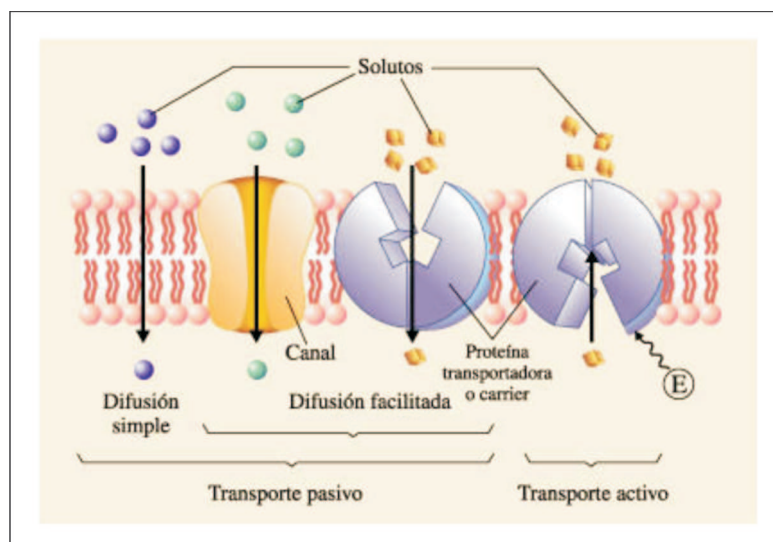


Figura 7: Esquema de transporte por canales y portadores.

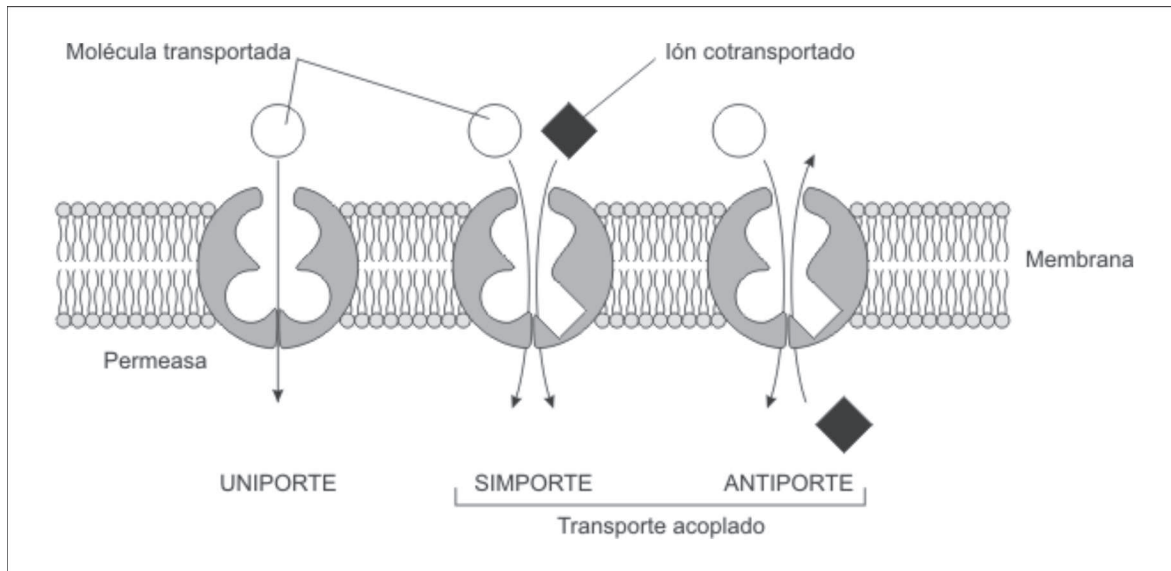
Existen distintos tipos de portadores como:

a) **UNIORTE**: transfieren un soluto de un lado al otro de la membrana.

b) **SYMPORT** o **COTRANSPORTE**: transfieren simultáneamente dos solutos diferentes en la misma dirección.

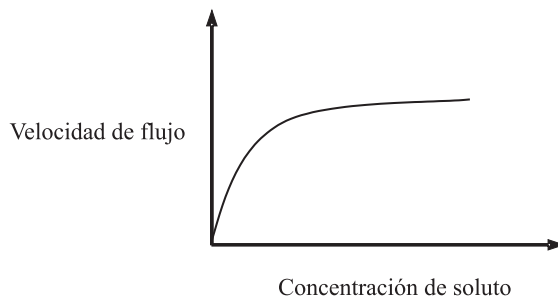
c) **ANTIORTE** o **CONTRATRANSPORTE**: trasladan un soluto en una dirección y otro en sentido contrario.

En la figura 8 se observan los diferentes tipos de portadores.



*Figura 8: Tipos de portadores.*

A diferencia de la difusión simple, la difusión facilitada tiene especificidad y saturabilidad. Si se representa en un sistema de coordenadas la velocidad de flujo en función de la concentración de soluto, tenemos:



*Figura 9: Representación gráfica de velocidad de flujo versus concentración.*

La hipérbola indica que el proceso es saturable y cuando todos los portadores de membrana están ocupados con soluto, la velocidad de flujo no aumenta más, aún cuando se incremente la concentración de soluto.

Cualquier membrana tiene un número limitado de portadores o canales. Cada portador puede llevar una sola molécula o ión a la vez, y cada canal puede acomodar uno o unos pocos iones o moléculas en un determinado momento.

Un buen ejemplo es el sistema que transporta glucosa a través de la membrana eritrocitaria, ya que el mismo se realiza invariablemente en el sentido del gradiente de concentración. El transportador eritrocitario de glucosa tiene sitios de unión a cada lado de la membrana, pero tiene 2 conformaciones alternativas: una con el sitio de unión a glucosa que mira hacia la superficie externa y la otra, con el sitio de unión que mira hacia el citoplasma. Aparentemente, el transporte tiene lugar por la unión de la glucosa a la proteína en una de las caras de la membrana, seguida de un cambio conformacional



que cierra el primer sitio y expone el otro. Luego, la glucosa puede dissociarse de la proteína, con lo cual termina su translocación a través de la membrana. El ciclo de transporte de este poro de apertura controlada, se completa con la recuperación de la conformación inicial del transportador de glucosa, en ausencia de glucosa unida. Este ciclo puede ocurrir en cualquier dirección, pero siempre desde concentraciones elevadas hacia bajas. Así, el transportador de glucosa permite equilibrar las concentraciones a ambos lados de la membrana eritrocitaria, sin ninguna pérdida asociada de moléculas pequeñas o iones.

Los **canales iónicos** son el blanco de gran número de agentes farmacológicos, que tienen importante aplicación clínica.

Los canales iónicos son altamente selectivos para iones pequeños como:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

Existen diferencias notables en las concentraciones de algunos iones a uno y otro lado de la membrana, por ejemplo  $\text{K}^+$  es el catión predominante del interior de las células, mientras  $\text{Na}^+$ , lo es del espacio extracelular. El gradiente de concentración y el transporte selectivo de iones crea una diferencia de potencial a través de la membrana, y se dice que está “polarizada”.

El movimiento de partículas cargadas produce una corriente eléctrica, por lo cual, los canales de iones son importantes en la actividad de los tejidos excitables como el muscular y el nervioso. El ingreso de  $\text{Na}^+$  o  $\text{Ca}^{++}$  a través de la membrana disminuye la carga negativa intracelular y produce “despolarización”, y la salida de iones  $\text{K}^+$  o la entrada de  $\text{Cl}^-$  tienden a revertir la situación, lo que se conoce como “repolarización”, como se observa en figura 10.

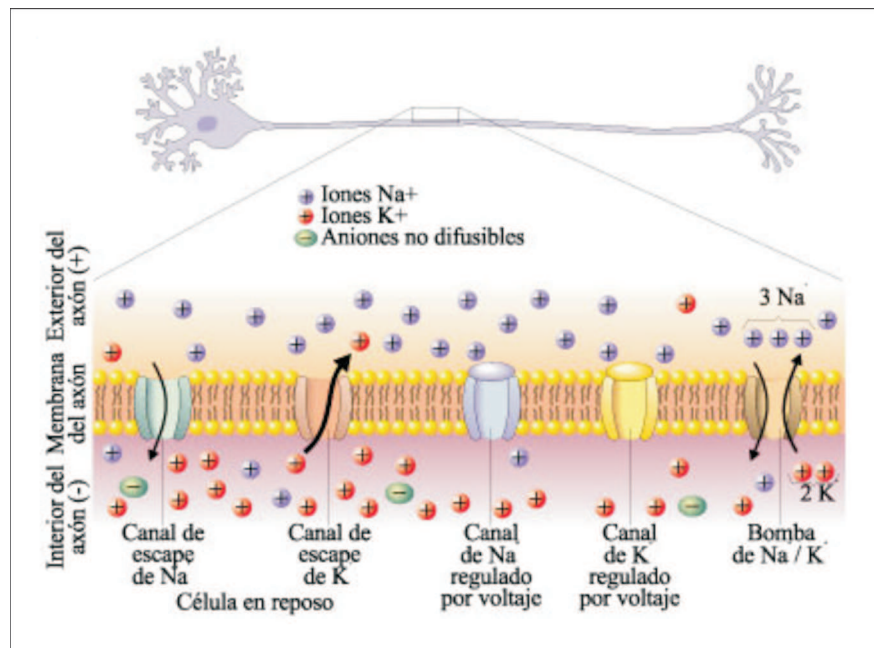


Figura 10: Movimiento de partículas cargadas durante la corriente eléctrica.

El flujo de un ión es impulsado por el gradiente electroquímico resultante de la sumatoria de los gradientes de potencial eléctrico y de concentración del ión a un lado y otro de la membrana.

En células no estimuladas, la electronegatividad intracelular favorece el ingreso y, dificulta el escape de iones positivos y la situación inversa se da para iones negativos.

Por ejemplo para el ión  $\text{K}^+$ , el gradiente eléctrico se opone a su salida de la célula, pero el gradiente de concentración favorece su egreso. Cuando estas dos fuerzas se equilibran, el gradiente electroquímico es cero, y no hay flujo neto del ión a través de la membrana. En la mayoría de las células, el  $\text{K}^+$  está próximo al equilibrio, ya que el potencial de membrana contrarresta el gradiente de concentración.

En general, los canales no están permanentemente abiertos, tienen un dispositivo de cierre o compuerta accionado por determinados estímulos.

En algunos canales la apertura se produce como respuesta a un cambio de potencial de membrana (dependiente de voltaje); en otros, la apertura responde a la unión de una sustancia señal o intermediario químico (dependiente del ligando).

Los **Ionóforos** son moléculas de tamaño pequeño, con una superficie hidrofóbica que les permite ingresar en la bicapa lipídica, y aumentan notablemente la permeabilidad de las membranas biológicas a ciertos iones.

Existen 2 tipos de Ionóforos:

1). Portadores móviles. Fijan el ión en una cara de la membrana, lo engloban en el interior de la molécula, cruzan la bicapa y liberan el ión del otro lado. Ej. el antibiótico Valinomicina, que transfiere  $K^+$  de una faz a otra de la membrana.

2). Formadores de canales, se insertan en la membrana generando un conducto hidrófilo, por el cual pasan iones. Ej. Gramicidina "A" que permite que atraviesen cationes monovalentes como  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ .

En figura 11 se observa un esquema de las proteínas transportadoras.

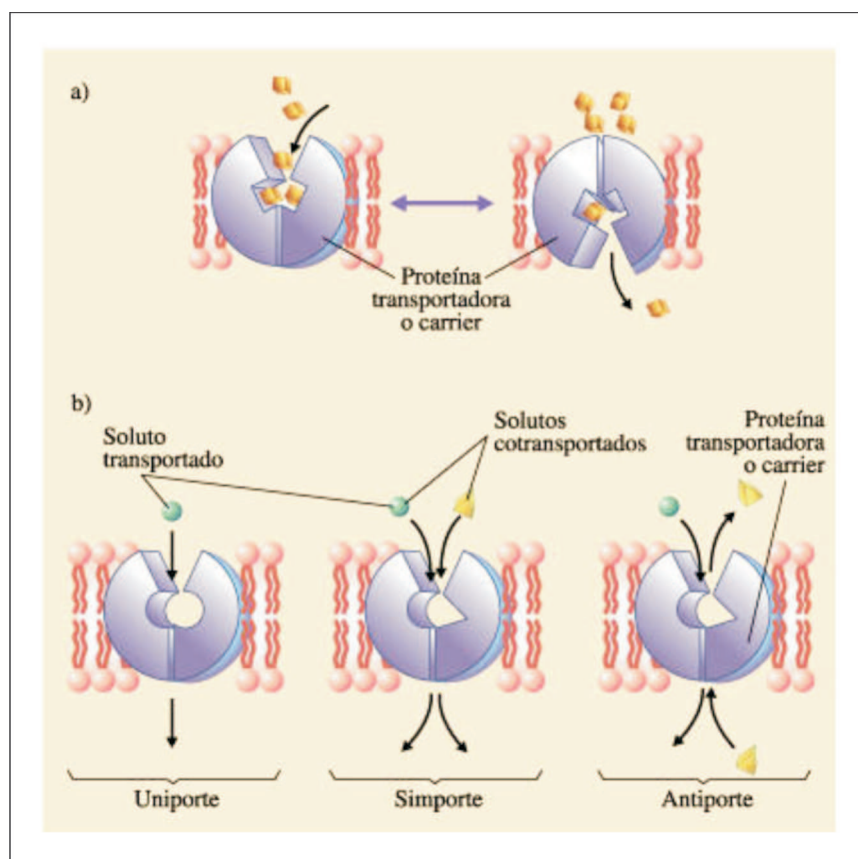


Figura 11: Proteínas transportadoras.

### CANALES DE AGUA O ACUOPORINAS:

El agua es una molécula polar, prácticamente insoluble en lípidos, pero a pesar de esta propiedad, atraviesa las membranas plasmáticas por ósmosis, desde una solución de menor concentración hacia una de mayor concentración de soluto. Sin embargo, algunas células presentan una permeabilidad mayor que la explicable por difusión a través de la bicapa lipídica, debido a la existencia de poros o canales para el agua, llamados acuoporinas: son canales altamente selectivos, solo lo atraviesan moléculas de agua, y están ampliamente distribuidos en el organismo.

Los conocimientos sobre las acuoporinas son aún insuficientes.



## UNIONES COMUNICANTES:

Son canales que comunican células adyacentes y permiten el intercambio directo de iones y moléculas pequeñas entre una célula y su vecina, sin pasar por el espacio intersticial.

### Transporte activo:

La difusión facilitada se realiza a favor del gradiente y tiene un  $\Delta G$  negativo. Cuando el flujo de sustancia se hace en dirección opuesta al gradiente, el  $\Delta G$  es positivo y solo puede realizarse si se provee energía. El acoplamiento de una reacción exergónica que suministra la energía necesaria para impulsar el flujo de moléculas o iones, en la dirección termodinámicamente desfavorable, se conoce como transporte activo. La energía, por lo general, proviene de la hidrólisis de ATP.

El transporte activo, por ser un transporte mediado, también puede ser uniport, symport o antiport.

## II-B BOMBAS IÓNICAS (Transporte activo primario)

Son responsables de mantener los gradientes de iones a través de la membrana, y se agrupan en clases denominadas ATPasas “P”, “F” y “V”, que solo transportan cationes, mientras que la superfamilia “ABC” transporta moléculas pequeñas, además de iones. Los aniones son transportados por ATPasas tipo “A”.

Todas las clases de bombas impulsadas por ATP tienen un sitio de fijación para uno o más de estos, los cuales siempre se encuentran en la cara citosólica de la membrana. Estas proteínas reciben el nombre de ATPasas, pero normalmente no hidrolizan el ATP para obtener ADP y  $P_i$ , a no ser que en forma simultánea sean transportados iones u otras moléculas, por lo que se dice que hay un acoplamiento íntimo entre la hidrólisis del ATP y el transporte.

Así tenemos:

- **ATPasas tipo “P”**, se localizan en la membrana plasmática y se llaman así porque son autofosforiladas por el ATP durante el proceso de transporte. Estas ATPasas “P” transportan  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ . Ej.  $Na^+ - K^+$  ATPasas,  $Ca^{++}$  ATPasas y  $H^+ - K^+$  ATPasas.
- **ATPasas tipo “F”** translocan protones hacia el interior de las mitocondrias y células bacterianas, lo que a su vez energiza la síntesis de ATP. La principal es la que se localiza en la membrana interna de las mitocondrias. Ej. ATP sintetasa de la fosforilación oxidativa.
- **ATPasas tipo “V”** se localizan en las membranas vacuolares de las plantas y en las vesículas ácidas, como lisosomas animales, y son homólogas de las ATPasas tipo “F”, que bombean protones desde el citosol al interior de las vesículas.
- **Superfamilia “ABC”**: esta clase incluye más de cien proteínas transportadoras diferentes. Cada proteína ABC es específica para un solo sustrato o grupo de sustratos relacionados, entre los que se encuentran iones, monosacáridos, péptidos, polisacáridos, proteínas y múltiples drogas.

## II-C) TRANSPORTE ACTIVO SECUNDARIO

Este tipo de transporte no utiliza directamente la energía de reacciones exergónicas acopladas, sino la diferencia de potencial electroquímico creada por el funcionamiento de un sistema primario.

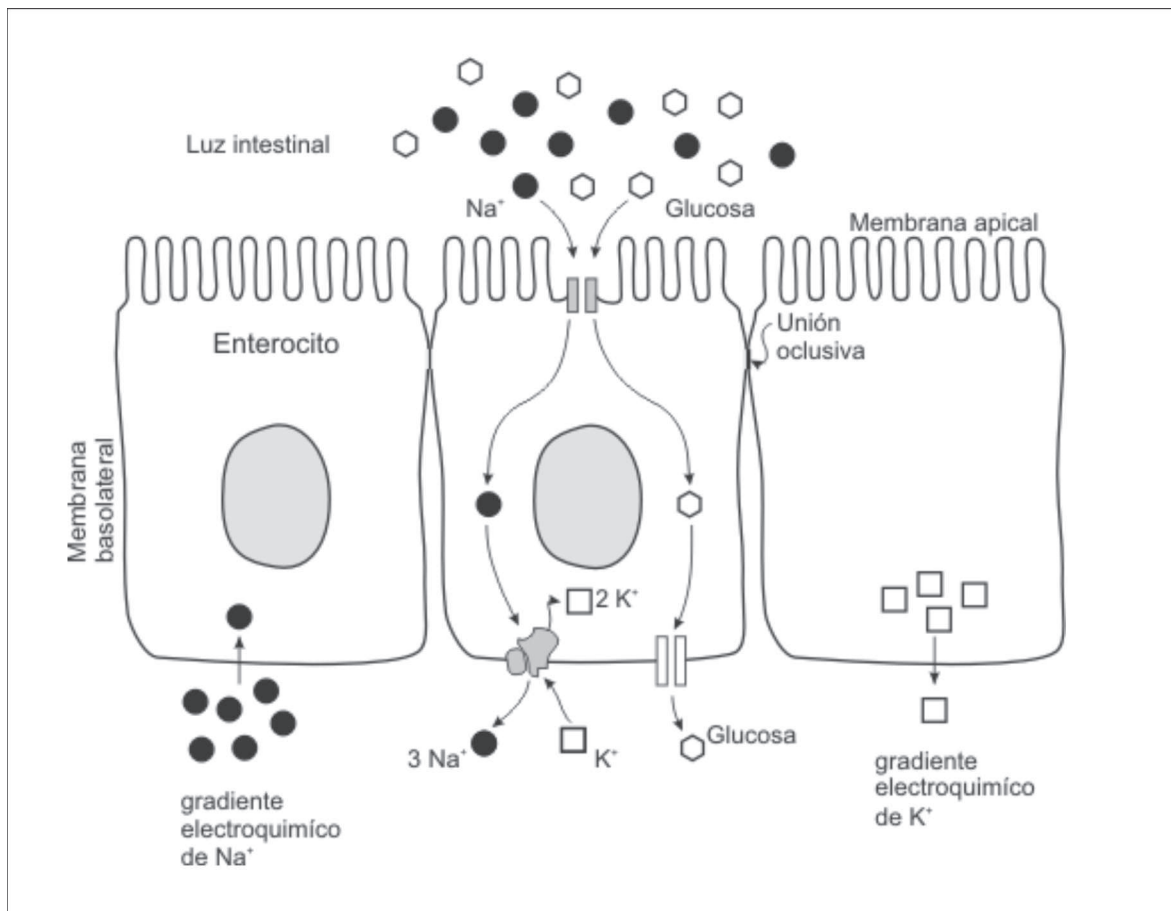
La bomba de sodio, por ejemplo, genera una notable diferencia de potencial electroquímico (el interior de la célula se hace negativo con respecto al exterior) a favor del cual los iones  $Na^+$  del espacio extracelular tienden a ingresar en el citoplasma. Este ingreso de  $Na^+$  tiene un  $\Delta G$  negativo y puede impulsar el flujo simultáneo de otros iones o sustancias.

Cuando el sentido del flujo de la otra molécula o ion “arrastrado” por el del  $Na^+$  es el mismo que este (desde afuera hacia adentro de la célula), se habla de cotransporte o symport; cuando marcha en dirección opuesta, se trata de contratransporte o antiport.

El ingreso de glucosa y de aminoácidos en células de la mucosa intestinal son ejemplos de cotransporte activo secundario dependiente de la bomba de sodio.

La glucosa es transportada contra el gradiente de concentración desde la luz intestinal hacia el citosol de las células intestinales, por un transportador de glucosa dependiente de  $\text{Na}^+$ , que tiene sitios específicos para fijar  $\text{Na}^+$  y glucosa en la faz luminal, como puede verse en la figura 12. El pasaje de  $\text{Na}^+$  a favor del gradiente electroquímico tiene un  $\Delta G$  negativo suficientemente grande como para impulsar el de glucosa contra su gradiente químico.

Por cada glucosa transportada se introducen dos iones  $\text{Na}^+$ . Una vez dentro de la célula, la glucosa es enviada hacia la sangre por transporte facilitado.



*Figura 12: Transporte de glucosa a través de las células intestinales.*

## BIBLIOGRAFÍA

Blanco, Antonio (2006)

*Química Biológica*. 8<sup>va</sup>. Edición. Buenos Aires. Editorial El Ateneo.

Orten, James M.; Neuhas, Otto W. (1984)

*Bioquímica humana*. 10<sup>ma</sup>. Edición. Editorial Medica Panamericana. Buenos Aires.

Voet, Donald; Voet,- Judith G. (2004)

*Bioquímica*. 3<sup>ra</sup>. Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.

Matheus, Cristopher K.; van Holde, K. E.; Ahern, Kevin G. (2002)

*Bioquímica*. 3<sup>ra</sup>. Edición. Editorial Pearson Educación, S. A. Madrid.

Koolman, Jan; Rhöm, Klaus-Heinrich.

*Bioquímica, Texto y Atlas*. 3<sup>ra</sup>. Edición. Editorial Médica Panamericana.

Lodish, Harvey; Berk, Arnold; Zipursky, S. Laurence; Matsudaira, Paul; Baltimore, David; Dornell, James. (2002)

*Biología celular y molecular*. 4<sup>ta</sup>. Edición. Editorial Médica Panamericana. España.



