



## CÓMO ENTRAN Y SALEN SUSTANCIAS DE LA CÉLULA

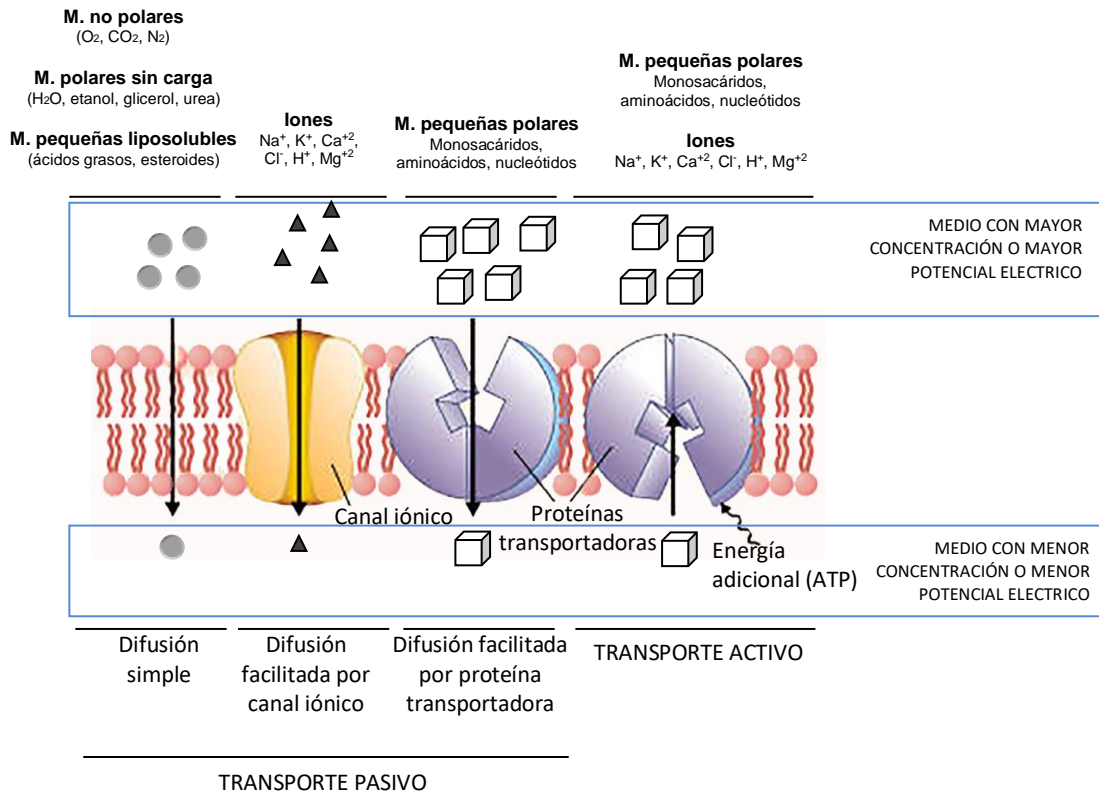
Las células vivas mantienen una composición interna particular que les permite llevar a cabo sus funciones. Para ello intercambian iones y moléculas con el medio circundante y la membrana citoplasmática actúa como una barrera que controla el tránsito hacia el interior y el exterior de la célula.

Los iones inorgánicos,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$  (protones),  $\text{Mg}^{+2}$ , son los más abundantes en el entorno celular y sus desplazamientos a través de las membranas celulares desempeñan una función central en numerosos procesos biológicos. Algunas moléculas también son fundamentales en los diversos procesos biológicos. Éstas pueden ser pequeñas o las denominadas macromoléculas. Entre las moléculas pequeñas se puede mencionar a:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , glicerol, etanol, monosacáridos (glucosa), aminoácidos, ácidos grasos, nucleósido, esteroides, entre otras. Las macromoléculas involucran a: polisacáridos, ácidos nucleicos, proteínas y algunos lípidos.

Tanto los iones como las moléculas pequeñas presentan ciertas propiedades (serán analizadas en cada tipo de transporte) que determinan el mecanismo por el cual atraviesan la membrana citoplasmática.

### 1. TRANSPORTE DE IONES Y MOLÉCULAS PEQUEÑAS

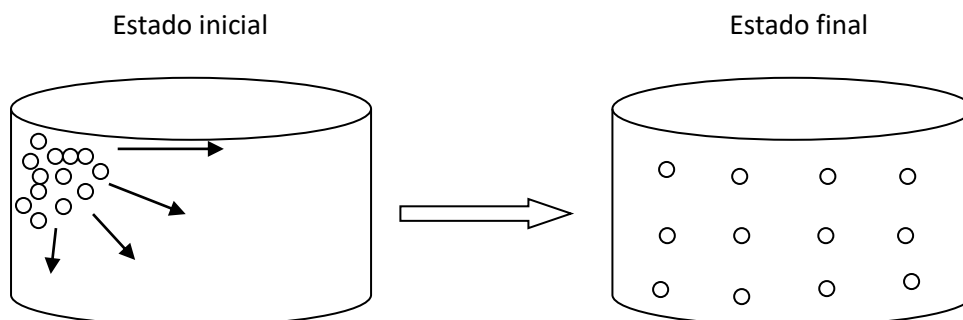
Según el tipo de ion o molécula el pasaje a través de la membrana biológica se produce sin gasto de energía extra (la energía proviene de la propia sustancia y de su concentración) o por mecanismos que requieren de ella. Cuando el proceso no consume energía adicional el proceso se denomina transporte pasivo, mientras que el proceso dependiente de energía adicional (consume ATP) transporte activo. El transporte pasivo puede tener lugar a través de la bicapa lipídica o a través de proteínas de la membrana. En cambio, el transporte activo solo puede darse a través de las proteínas (Figura 1).



**Figura 1.** Tipos de transporte de iones y moléculas pequeñas por las membranas biológicas. M: Moléculas.

### 1.1. TRANSPORTE PASIVO

Cuando las moléculas sin carga entran en contacto con un solvente tienden a dispersarse en forma progresiva por todo el solvente hasta quedar uniformemente distribuidas. El movimiento del soluto, llamado difusión, se realiza desde el sitio de mayor concentración hasta los sitios de menor concentración, con una velocidad proporcional a la diferencia entre las concentraciones. Esta diferencia se denomina gradiente de concentración.



**Figura 2.** Difusión de partículas (iones/moléculas) en un solvente (acuoso u oleoso).

Por otra parte, los iones o las moléculas que poseen carga eléctrica que entran en contacto con un solvente se distribuyen homogéneamente en éste según el gradiente de concentración y el gradiente de voltaje o el potencial eléctrico. La suma de los gradientes de concentración y de voltaje se conoce como gradiente electroquímico.

En las células estos procesos ocurren con la intervención de las membranas biológicas (bicapa lipídica con proteínas). Cuando el transporte tiene lugar a través de la bicapa lipídica de la membrana se denomina **difusión simple** y cuando tiene lugar a través de proteínas de la membrana se denomina **difusión facilitada** (Figura 1).

Ambos procesos de difusión son más eficientes cuando el área superficial es mayor con relación al volumen, cuando la distancia implicada es corta y cuando el gradiente de concentración o electroquímico es pronunciado.

### **1.1.1. DIFUSIÓN SIMPLE**

Este tipo de transporte involucra moléculas que atraviesan la bicapa fosfolipídica de la membrana a favor del gradiente de concentración. Las moléculas que pueden atravesar la membrana a través de su región lipídica son aquellas hidrófobas o liposolubles como se detalla a continuación:

- **moléculas no polares pequeñas** como el oxígeno molecular ( $O_2$ , 32 daltons) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ , 44 daltons), se disuelven con rapidez en la bicapa fosfolipídica y difunden con facilidad a través de ella.
- **moléculas polares sin carga** (con una distribución irregular de la carga eléctrica) también difunden con rapidez si su tamaño es lo suficientemente pequeño como por ejemplo el agua (18 daltons), el etanol (46 daltons), el glicerol y la urea.
- **moléculas lipídicas pequeñas** como los ácidos grasos y los esteroides.

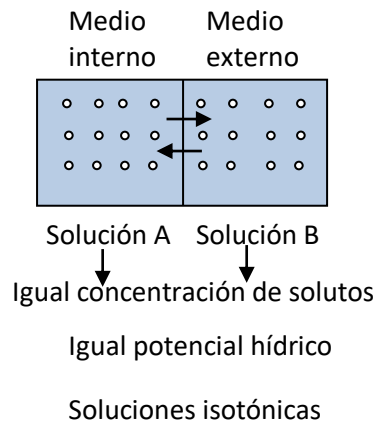
La velocidad de difusión varía según el tamaño y la liposolubilidad de la molécula. En general, cuanto menor sea el tamaño de la molécula y mayor su liposolubilidad, más hidrófoba o no polar, mayor será su velocidad de difusión a través de la membrana.

### **OSMOSIS -UN TIPO ESPECIAL DE DIFUSIÓN SIMPLE-**

La ósmosis es la difusión del agua (molécula polar pequeña) a través de la bicapa lipídica. Se produce la transferencia neta de agua de una solución que tiene un potencial hídrico mayor a una solución que tiene un potencial hídrico menor. De acuerdo a ello existen tres tipos de soluciones:

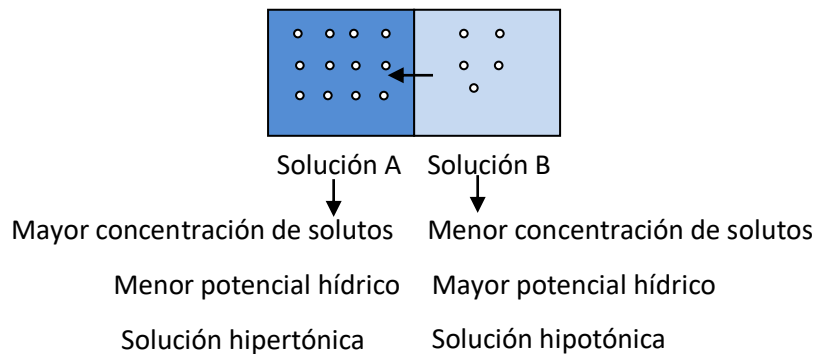
- **Isotónicas:** soluciones que tienen el mismo número de partículas disueltas por unidad de volumen y, por lo tanto, el mismo potencial hídrico. No hay movimiento neto de agua

a través de una membrana que separe dos soluciones isotónicas, a menos, que se ejerza presión sobre uno de sus lados (Figura 3).



**Figura 3.** Soluciones isotónicas.

- **Hipotónicas:** soluciones con menor concentración de soluto y, por lo tanto, mayor potencial hídrico con respecto al medio externo. Por lo tanto, el agua tiende a salir desde una solución hipotónica (Figura 4).
- **Hipertónicas:** soluciones con mayor concentración de soluto y, por consiguiente, menor potencial hídrico respecto al medio externo. El agua tiende a ingresar desde el medio circundante (Figura 4).

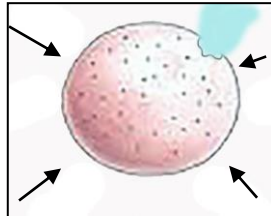


**Figura 4.** Soluciones hipertónica e hipotónica.

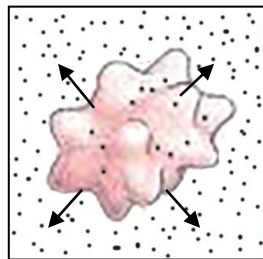
Como puede observarse, la difusión del agua depende solamente de la concentración de solutos (moléculas o iones) y no del tipo de solutos disueltos en la solución.

El proceso de ósmosis es común tanto en las células animales como vegetales, las que se encuentran rodeadas por un medio acuoso que puede tener diferentes concentraciones de solutos disueltos. A continuación analizaremos que le sucede a las células animales y vegetales en las diferentes soluciones.

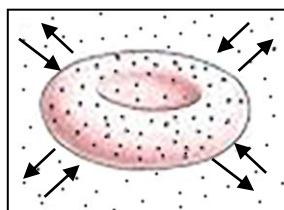
**Células animales en una solución hipotónica:** el contenido celular es hipertónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua ingresa desde el medio al interior celular. Como la célula animal no posee pared celular, el ingreso de agua adicional causa la ruptura de la célula.



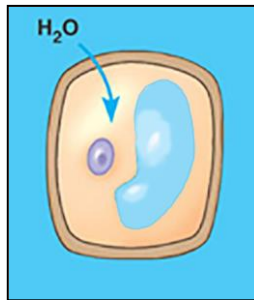
**Células animales en una solución hipertónica:** el contenido celular es hipotónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua egresa desde el interior celular al medio externo. La célula pierde agua y se pliega y se contrae.



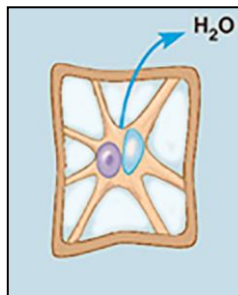
**Células animales en una solución isotónica:** el ingreso y egreso de agua en la célula se equilibra. Estado ideal para mantener su forma y sus características constantes.



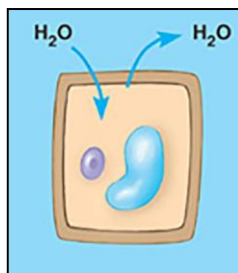
**Células vegetales en una solución hipotónica:** el contenido celular es hipertónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua ingresa desde el medio al interior celular, principalmente a la vacuola. Esto produce una presión interna contra la pared celular que evita el ingreso adicional de agua. Esta presión intracelular se denomina presión de turgencia que mantiene erguidas a las plantas y es la fuerza que impulsa el agrandamiento de las células vegetales.



**Células vegetales en una solución hipertónica:** el contenido celular es hipotónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua egresa desde el interior celular al medio externo. El cuerpo celular se contrae y se separa la membrana citoplasmática de la pared celular (plasmolisis).



**Células vegetales en una solución isotónica:** el ingreso y egreso de agua en la célula se equilibra (equilibrio dinámico). La célula estará poco turgente.



### **1.1.2. DIFUSIÓN FACILITADA: TRANSPORTE MEDIADO POR PROTEINAS**

Como vimos anteriormente las membranas celulares permiten el paso del agua y de algunas moléculas mediante difusión simple. Para que las células puedan incorporar nutrientes y eliminar desechos es necesario que las membranas permitan el paso de muchas otras moléculas, como iones, monosacáridos (glucosa), aminoácidos, nucleótidos y diversos metabolitos celulares. Estos iones y moléculas polares (hidrofílicas), por más pequeñas que sean, difunden por la bicapa con excesiva lentitud y por ese motivo requieren

proteínas de transporte especializadas para poder atravesarla en forma eficaz, proceso denominado **difusión facilitada**.

La difusión facilitada es el transporte de **moléculas pequeñas polares** (de mayor tamaño de aquellas transportadas por difusión simple: monosacáridos, nucleótidos y aminoácidos), o los pequeños **iones** ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$  (protones),  $\text{Mg}^{+2}$ ) a través de las proteínas de la membrana (proteínas de transporte) y a favor del gradiente electroquímico. Se pueden distinguir dos tipos principales de proteínas de transporte: las proteínas formadoras de canales (canales iónicos) y las proteínas transportadoras o "carrier" o permeasas.

Las **proteínas formadoras de canales** son proteínas que atraviesan la membrana biológica (transmembrana) y forman poros hidrofílicos (el poro se reviste de aminoácidos polares y agua). A través de estos poros (canales) se produce el pasaje exclusivo de iones (canales iónicos). El tipo de ión que pasa por cada proteína depende de su tamaño y de su carga. Los canales iónicos se encuentran generalmente cerrados e impiden el pasaje de iones por el poro. Los canales pueden abrirse por un intervalo de tiempo breve como respuesta a distintos tipos de estímulos, permitiendo el pasaje de solo un ión específico a través de la membrana. Durante el intervalo de tiempo en que el canal se encuentra abierto, los iones difunden rápidamente a favor de su gradiente electroquímico. Esta característica de los canales iónicos es fundamental en la transmisión de señales eléctricas –impulso nervioso- en el sistema nervioso.

Las **proteínas transportadoras o "carrier" o permeasas**: se encuentran en todas las membranas biológicas y son altamente específicas para cada molécula que transportan. Estas proteínas modifican temporalmente su configuración (terciaria o, en algunos casos, cuaternaria) cuando entran en contacto con la molécula específica y permiten el pasaje de dicha molécula hacia el otro lado de la membrana. Las proteínas "carrier" son muy similares a las enzimas debido a que son también altamente selectivas en cuanto a las moléculas con las que interactúan y no se alteran permanentemente por esas interacciones.

Existen tres tipos de proteínas carrier: uniporte, simporte y antiporte. En el sistema de transporte más simple, conocido como **uniporte**, una molécula en particular se mueve directamente a través de la membrana en una dirección. En el tipo de co-transporte conocido como **simporte** dos solutos diferentes se mueven a través de la membrana, simultáneamente y en el mismo sentido. Frecuentemente, un gradiente de concentración, que involucra a uno de los solutos transportados, impulsa el transporte del otro. Por ejemplo, un gradiente de concentración de iones  $\text{Na}^+$  frecuentemente impulsa el co-transporte de moléculas de glucosa. En otro tipo de sistema de co-transporte, conocido como **antiporte**, dos solutos diferentes se mueven a través de la membrana, simultánea o secuencialmente en sentidos opuestos.

La glucosa, es una molécula hidrofílica que entra en la mayoría de las células por difusión facilitada a través de sistema de tipo uniporte. Dado que la glucosa se degrada rápidamente cuando entra en una célula, se mantiene un marcado gradiente de concentración entre el interior y el exterior. Sin embargo, cuando en el medio circundante hay una concentración mayor de glucosa, la velocidad de entrada no se incrementa más allá de cierto punto. Este límite de velocidad de entrada es el resultado del número limitado de moléculas de la proteína de transporte específica de la glucosa que existe en la membrana celular. Esto representa una desventaja de la difusión facilitada por proteínas.

Un tipo especial de proteínas transportadoras son las acuaporinas. Éstas son proteínas transportadoras específicas para moléculas de agua. Se encuentran en aquellas membranas biológicas de las células que necesitan un transporte de agua mayor que el logrado por ósmosis. Se pueden encontrar tanto en células animales como vegetales.

## **1.2. TRANSPORTE ACTIVO**

Este tipo de transporte involucra a proteínas transportadoras que pueden trasladar moléculas pequeñas polares e iones desde un lugar de menor concentración o potencial eléctrico hacia un lugar de mayor concentración o potencial eléctrico (contra el gradiente de concentración o eléctrico). Este proceso requiere del aporte de energía adicional que puede provenir de dos vías, clasificando al transporte activo en dos tipos: el **primario** y el **secundario**.

### **1.2.1. TRANSPORTE ACTIVO PRIMARIO**

En este tipo de transporte, la energía adicional proviene de la hidrólisis (ruptura) de la molécula de ATP, rica en energía. La energía liberada por la hidrólisis del ATP impulsa el desplazamiento de iones específicos en contra de un gradiente de concentración. El ejemplo más representativo es la **bomba de Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>** que actúa como una proteína antiporte en todas las células animales. Normalmente la concentración de iones K<sup>+</sup> en el interior de una neurona es mayor respecto al medio extracelular y la concentración de iones Na<sup>+</sup> es mayor en el medio extracelular respecto al interior de la neurona. Esto se logra gracias a la presencia de una proteína antiporte de la membrana, la bomba de Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>. Ésta hidroliza una molécula de ATP para su fosforilación que induce un cambio en su forma, lo cual permite la liberación de 3 iones Na<sup>+</sup> hacia el exterior. Luego existe una desfosforilación que permite el ingreso de dos iones K<sup>+</sup> para mantener el desbalance de ambos iones dentro y fuera de la célula.

### **1.2.2. TRANSPORTE ACTIVO SECUNDARIO**



En este tipo la energía no proviene de la hidrólisis del ATP en forma directa, sino que la energía proviene de un gradiente de concentración iónica establecido por el transporte activo primario. El transporte se logra utilizando energía que proviene del transporte de los iones que atraviesan la membrana ahora a favor de su gradiente de concentración. Por ejemplo, una vez que la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  establece un gradiente de concentración de iones  $\text{Na}^+$ , la difusión pasiva de algunos iones  $\text{Na}^+$  hacia el interior celular aporta energía para el transporte activo secundario de glucosa hacia la célula a través de una proteína tipo simporte. Por lo tanto, el transporte activo secundario ayuda a captar aminoácidos y azúcares utilizando ambos tipos de proteínas de transporte acoplado: antiportes y simporte.

## **2. TRANSPORTE DE MACROMOLÉCULAS**

Las macromoléculas, como las proteínas, los polisacáridos, los ácidos nucleicos y algunos lípidos, son demasiado grandes y tienen demasiada carga o polaridad para atravesar las membranas biológicas. Por ello, la célula utiliza vesículas para transportar las macromoléculas hacia su interior (endocitosis) o para expulsarlas hacia el exterior (exocitosis).

### **2.1. ENDOCITOSIS**

Grupo de procesos que llevan macromoléculas, partículas grandes e, incluso, pequeñas células hacia el interior de la célula eucarionte. El material que se incorporará induce una invaginación de la membrana, produciéndose una vesícula que encierra a la sustancia. Esta vesícula es liberada en el citoplasma. Existen dos tipos de endocitosis: pinocitosis, y fagocitosis.

- A. La **pinocitosis (“bebida celular”)**, comprende el ingreso de líquidos junto con las macromoléculas y los solutos disueltos en ellos. Esto se logra mediante invaginaciones de la membrana celular que atrapan al líquido extracelular y sus contenidos, formando vesículas que son liberadas en el citosol. La pinocitosis puede ser inespecífica o regulada mediante receptores. En este último caso la célula incorpora aquellas sustancias necesarias para su funcionamiento. Las sustancias que serán transportadas al interior de la célula deben primero acoplarse a las moléculas receptoras específicas. Los receptores se encuentran concentrados en zonas particulares de la membrana citoplasmática (depresiones) o se agrupan después de haberse unido a las moléculas que serán transportadas. Cuando las depresiones están llenas de receptores con sus moléculas específicas unidas, se ahuecan y se cierran formando una vesícula. Dada su especificidad para

macromoléculas particulares, la endocitosis mediada por receptores es un proceso rápido y eficiente de captación de sustancias que pueden estar en bajas concentraciones en el exterior de la célula.

- B. En la **fagocitosis (“ingestión celular”)**, el contacto entre la membrana plasmática y una partícula sólida induce la formación de prolongaciones celulares que envuelven la partícula, englobándola en una vesícula, llamada vacuola alimenticia o fagosoma. La fagocitosis tiene lugar en unos pocos tipos de células, macrófagos y leucocitos. En las células eucariotas este tipo de endocitosis es utilizado por el organismo como medio de defensa o de limpieza, al eliminar parásitos pequeños, bacterias, células perjudiciales, dañadas o muertas, restos celulares y todo tipo de partículas extrañas al organismo.

## **2.2. EXOCITOSIS**

Es un proceso por el cual las sustancias empaquetadas en vesículas son secretadas de la célula. Vesículas con material se mueven desde los complejos de Golgi a la superficie de la célula. Cuando una vesícula alcanza la superficie celular, su membrana se fusiona con la membrana citoplasmática y expulsa su contenido al exterior. No solo se secretan materiales indigeribles, sino también se pueden secretar muchas sustancias que son esenciales para la vida del organismo, como enzimas digestivas del páncreas, neurotransmisores de las neuronas y materiales para la construcción de la pared celular vegetal.