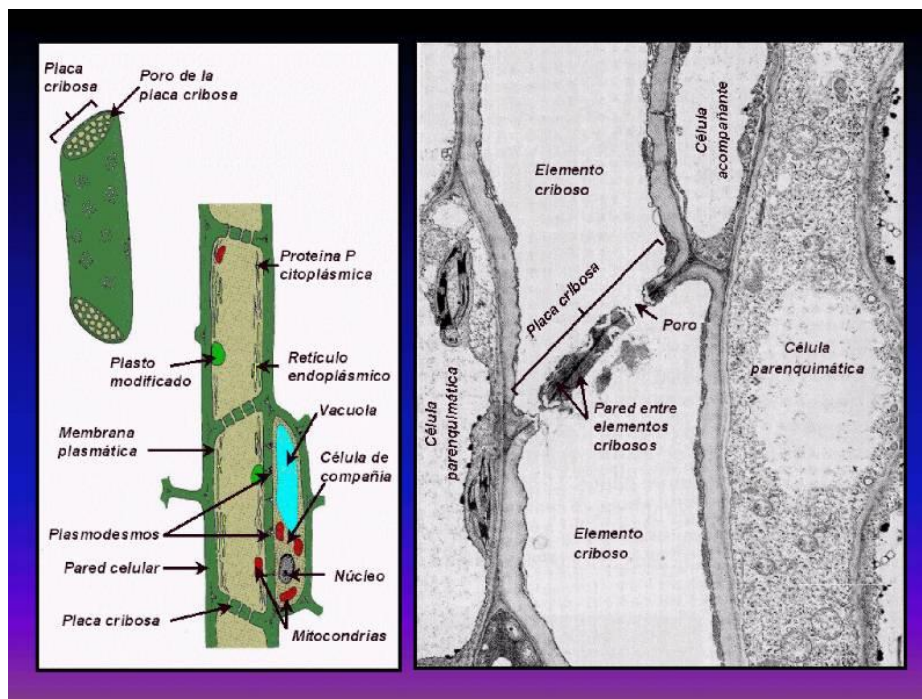


### **ANEXO - Trabajo Práctico Nº 4** **Traslación de azúcares**

Las células conductoras del floema de las Angiospermas son los elementos cribosos, que carecen de núcleo y de la mayoría de los orgánulos, pero son ricos en una proteína filamentososa específica del floema, llamada proteína P. Los elementos cribosos forman series longitudinales llamadas tubos cribosos. Los elementos cribosos presentan poros, que forman áreas cribosas en las paredes laterales, y placas cribosas en las paredes transversales. Las placas cribosas posibilitan la comunicación y amplia continuidad citoplasmática entre elementos cribosos de un mismo tubo criboso (Figura 1).



**Figura 1:** Estructura interna de los tubos cribosos. A) esquema de los elementos de los tubos cribosos. B) Micrografía electrónica de transmisión de una placa cribosa en sección longitudinal

#### **Naturaleza de las sustancias transportadas por el floema.**

La savia elaborada es una solución muy concentrada con un contenido de materia seca de 50 a 300 g/l. El 90% de la materia seca de la savia elaborada corresponde a azúcares, particularmente sacarosa. En algunas plantas también se encuentran otros oligosacáridos, por ejemplo, rafinosa y estaquiosa, así como alditos. Los monosacáridos (por ejemplo glucosa, fructosa) no se transportan. En cambio, la savia elaborada contiene también aminoácidos, amidas, nucleótidos, ácidos orgánicos e iones inorgánicos (aunque no  $Ca^{2+}$ ). Estas sustancias, no obstante, aparecen en concentraciones mucho más pequeñas, comparadas con las de azúcares.

Como se mencionó arriba, tubos cribosos contienen una proteína especial, la proteína P. Ésta tiende a acumularse en la cercanía de las placas cribosas y no se transporta. Se supone que tapa los tubos cribosos en caso de ocurrir una lesión, impidiendo el derrame de la savia elaborada que está bajo presión.

### **Mecanismo de transporte en el floema. Hipótesis de Münch**

A lo largo de los años se han propuesto diferentes mecanismos para explicar el transporte de productos asimilables en los tubos cribosos del floema. Probablemente el primero fue el de **difusión**, seguido del de **corriente citoplasmática**. La difusión y la corriente citoplasmática normales, del tipo que se encuentra en las células de las plantas superiores, fueron en gran parte abandonados como posibles mecanismos de translocación cuando se supo que las velocidades del transporte de asimilables (típicamente 50 a 100 centímetros por hora) eran demasiado altas para que cualquiera de estos fenómenos justificara el transporte a grandes distancias vía los tubos cribosos.

Se han propuesto hipótesis alternativas para explicar el mecanismo de transporte en el floema, pero sólo una, la **hipótesis de flujo de presión**, justifica satisfactoria y prácticamente todos los datos obtenidos en estudios experimentales y estructurales del floema. Todas las otras hipótesis tienen serias deficiencias

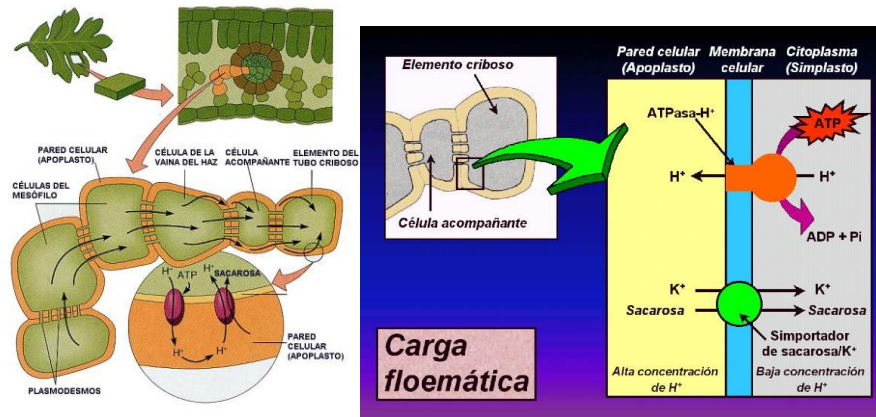
### **Carga floemática. Etapas:**

Las triosas fosfatos formadas por fotosíntesis se transportan desde el cloroplasto al citoplasma donde se convierten en sacarosa. La sacarosa se mueve desde las células del mesófilo hasta la vecindad de los elementos cribosos presentes en los pequeños vasos conductores de las hojas. Este transporte se realiza a través de dos o tres células en lo que se llama **transporte a corta distancia**. Luego, en la etapa denominada **carga floemática**, la sacarosa se incorpora en los elementos cribosos, dentro de los cuales, los fotoasimilados se exportan hacia las zonas sumideros: **transporte a larga distancia**.

La carga floemática de los fotoasimilados requiere **energía metabólica**.

En las células de los órganos fuente los fotoasimilados se encuentran en menor concentración que la encontrada en los elementos cribosos relacionados con ellas. Esta diferencia se debe fundamentalmente a la acumulación de sacarosa en los elementos cribosos. La acumulación en contra de gradiente se realiza con gasto de energía metabólica: por **transporte activo**. La vía de transporte desde las células del mesófilo hasta los elementos cribosos es parcialmente apoplástica. El camino simplástico a través de los plasmodesmos también ocurre pero en menor proporción (Figura 2).

La sacarosa, en su mayor parte, pasa al apoplasto en el mesófilo, salida que es favorecida por la **concentración de  $K^+$**  en el apoplasto. Desde allí se incorpora al simplasto en la célula acompañante o en el elemento criboso por **cotransporte activo**, facilitado por una **ATPasa** de membrana que expulsa  $H^+$  y provoca la entrada de  $K^+$  al simplasto. Otras sustancias que se encuentran en menor concentración, como las hormonas, se cargan pasivamente.

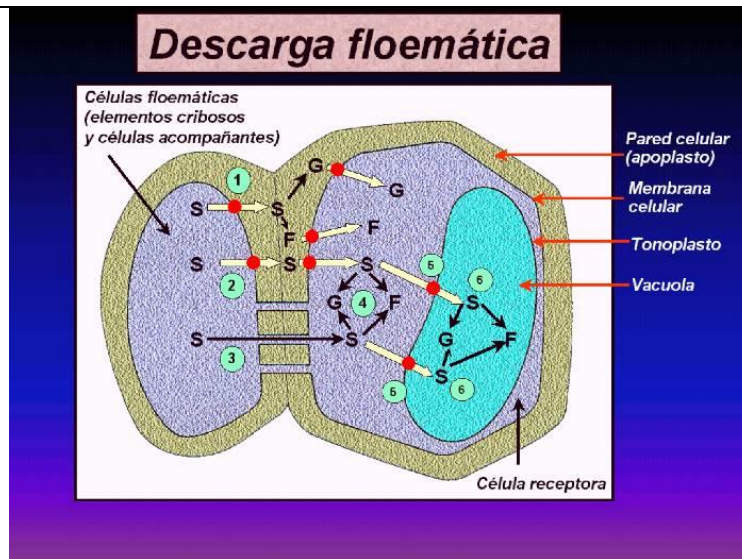


**Figura 2:** Proceso de carga floemática

### **Descarga floemática.**

Se lleva a cabo en los órganos sumidero o consumidores. El camino desde el elemento criboso hasta la célula donde el soluto se metabolizará puede ser simplástico o apoplástico; en ambos casos, la descarga dependerá de la actividad metabólica.

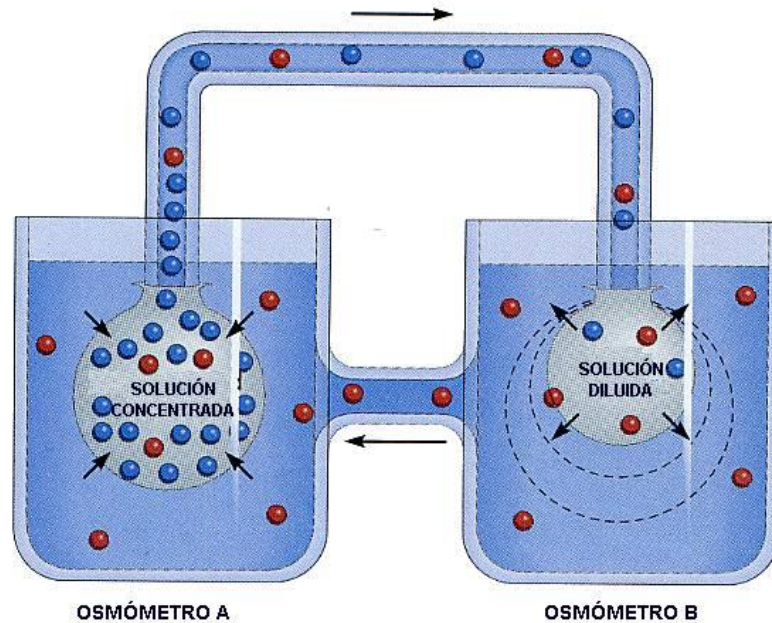
Si los *sumideros* son de *almacenamiento*, la vía preferida es la *apoplástica* y requiere *consumo de energía* en forma de ATP. En *sumideros en crecimiento*, la descarga es por vía *simplástica*, por *difusión pasiva* ya que la concentración del soluto es mayor en los elementos cribosos que en las células en crecimiento donde se consumen (Figura 3).



**Figura 3:** Proceso de descarga floemática

### Hipótesis del flujo de presión

Esta hipótesis fue propuesta originalmente en 1927 por el fisiólogo vegetal alemán **Ernst Münch**, y modificada desde entonces, la hipótesis de flujo de presión es claramente la más sencilla y, hoy en día, la explicación más extendida y aceptada del transporte de asimilables a grandes distancias a través de los tubos cribosos. Es la explicación más sencilla porque sólo depende de la ósmosis como fuerza que impulsa el transporte de asimilables. Dicho en pocas palabras, la *hipótesis de flujo de presión* afirma que los asimilables son transportados de fuente a sumidero a lo largo de un *gradiente de presión de turgencia desarrollado osmóticamente*. El principio fundamental de esta hipótesis se puede ilustrar con un sencillo modelo físico que consiste en ampollas, o células osmóticas, permeables sólo al agua y conectadas por tubos de vidrio (Figura 4). Inicialmente, la primera ampolla (A) contiene una solución de azúcar más concentrada que la de la segunda ampolla (B). Cuando estas ampollas interconectadas se meten en el agua, ésta entrará en la primera ampolla por ósmosis, incrementando así su presión de turgencia. Esta presión se transmitirá a través del tubo a la segunda ampolla, haciendo que la solución de azúcar se mueva en volumen, o en masa, hacia la segunda ampolla, haciendo salir el agua de ésta. Si la segunda ampolla está conectada con una tercera que contiene una concentración de sacarosa menor que la de la segunda, la solución fluirá de la segunda a la tercera por el mismo proceso, y así indefinidamente siguiendo el gradiente de presión turgente.



**Figura 4: El modelo de Münch del mecanismo básico del flujo a presión. A y B son células osmóticas. A, contiene una concentración más alta de sacarosa que B. Ambos osmómetros se encuentran sumergidos en cubetas con agua y conectados por un tubo de vidrio. El agua entra en A por ósmosis, incrementando así la presión de turgencia y empujando la solución de azúcar hacia el osmómetro B. [Figura modificada de Moore, R., Clark, W.D. & Vodopich, D.S. (1998). Botany. 2nd ed., WCB McGraw-Hill].**

Nótese que la hipótesis de flujo de presión asigna a los tubos cribosos un papel *pasivo* en el movimiento de la solución de azúcar a través de ellos. El transporte activo está también implicado en el mecanismo de flujo de presión; no obstante, no está directamente relacionado con el transporte a grandes distancias a través de los tubos cribosos, sino más bien con la carga y posible descarga de azúcares y otras sustancias dentro y fuera de los tubos cribosos en las fuentes y sumideros. Una evidencia considerable indica que la fuerza que impulsa la acumulación de sacarosa (carga del floema) en la fuente es suministrada por una bomba de protones activada por ATP y mediada por ATPasa en la membrana citoplasmática, que implica un sistema de cotransporte sacarosa-protón (simporte). La energía metabólica necesaria para la carga y descarga es consumida por las células acompañantes o las células del parénquima que bordean los tubos cribosos, más que por los tubos cribosos. Hasta hace poco se asumía que la carga se daba a través de la membrana citoplasmática de la célula acompañante que luego transfería el azúcar a su tubo criboso asociado vía las múltiples conexiones plasmodésmicas de su pared común. Ahora parece, no obstante, que algunos tubos cribosos son capaces de cargarse ellos mismos, siendo el sitio de transporte activo sus membranas citoplasmáticas. Cualquiera que sea el caso, el tubo

criboso maduro depende de su célula acompañante o de las células del parénquima vecinas para la mayoría de sus necesidades energéticas. La carga del floema es un proceso selectivo.

Como se mencionó previamente, la sacarosa es con mucho el azúcar más comúnmente transportado; además, todos los azúcares que se encuentran en la savia de los tubos cribosos son azúcares no reductores. Ciertos aminoácidos e iones son también cargados selectivamente al floema.

### ***Bibliografía***

- ✓ Castro, Handel y Rivolta. Actualizaciones de Biología. 1984. EUDEBA.
- ✓ Guía de Trabajos Prácticos de Introducción a la Botánica. UBA.
- ✓ [http://www.etsmre.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_13.htm](http://www.etsmre.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_13.htm)