

¿Cómo funcionan las plantas?

FISIOLOGÍA VEGETAL



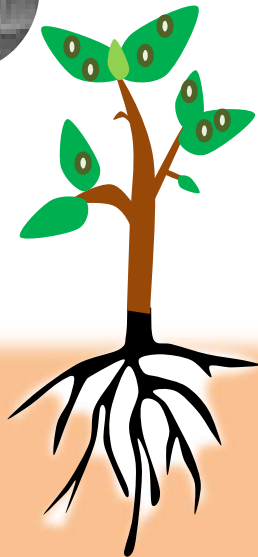
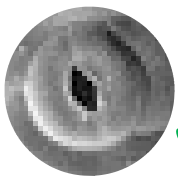
Teaching Tools
in Plant Biology™
ideas to grow on

AN INNOVATION FROM *THE PLANT CELL*

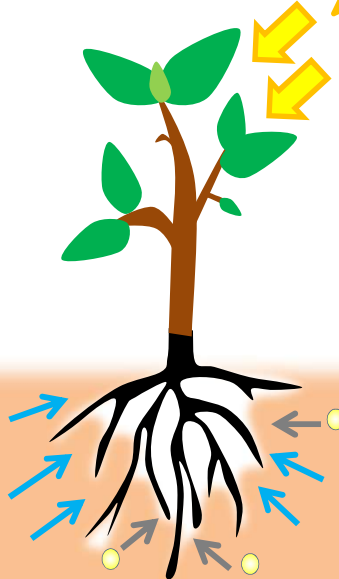
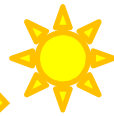
© 2013 American Society of Plant Biologists

Funciones de las plantas

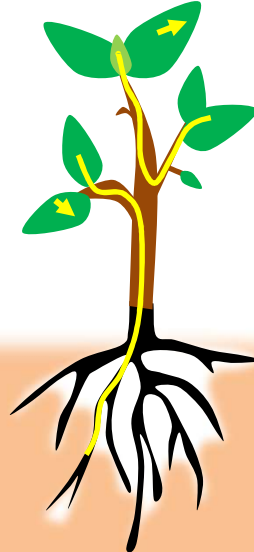
Intercambio gaseoso
a través de estomas



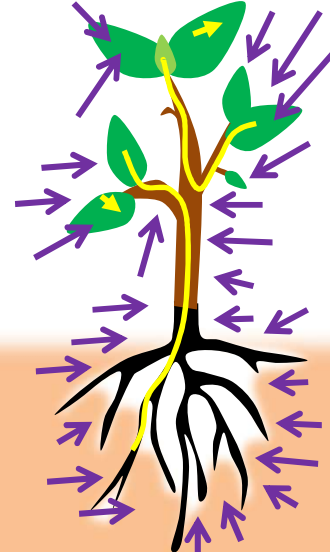
Asimilación de energía lumínica
en tejidos fotosintéticos



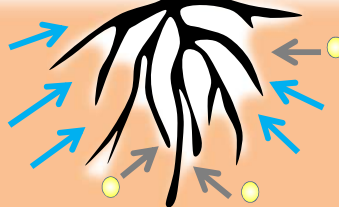
Transporte de nutrientes
de célula a célula a través de tejidos vasculares



Percepción (luz, gravedad, patógenos, etc.)
a través de receptores y otros sensores ubicados en la mayoría de las células

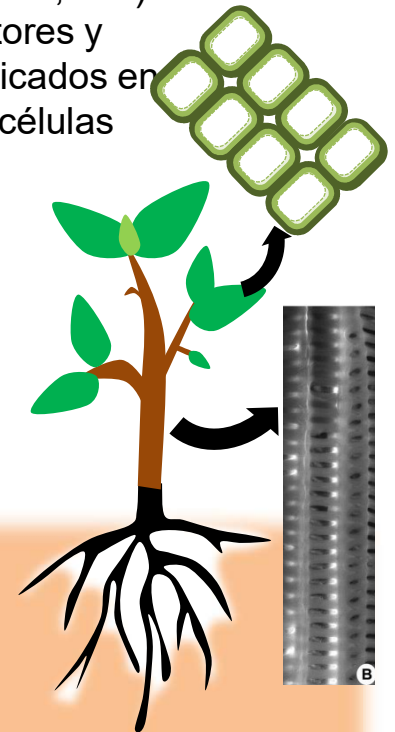


Absorción de agua y minerales
a través de las raíces

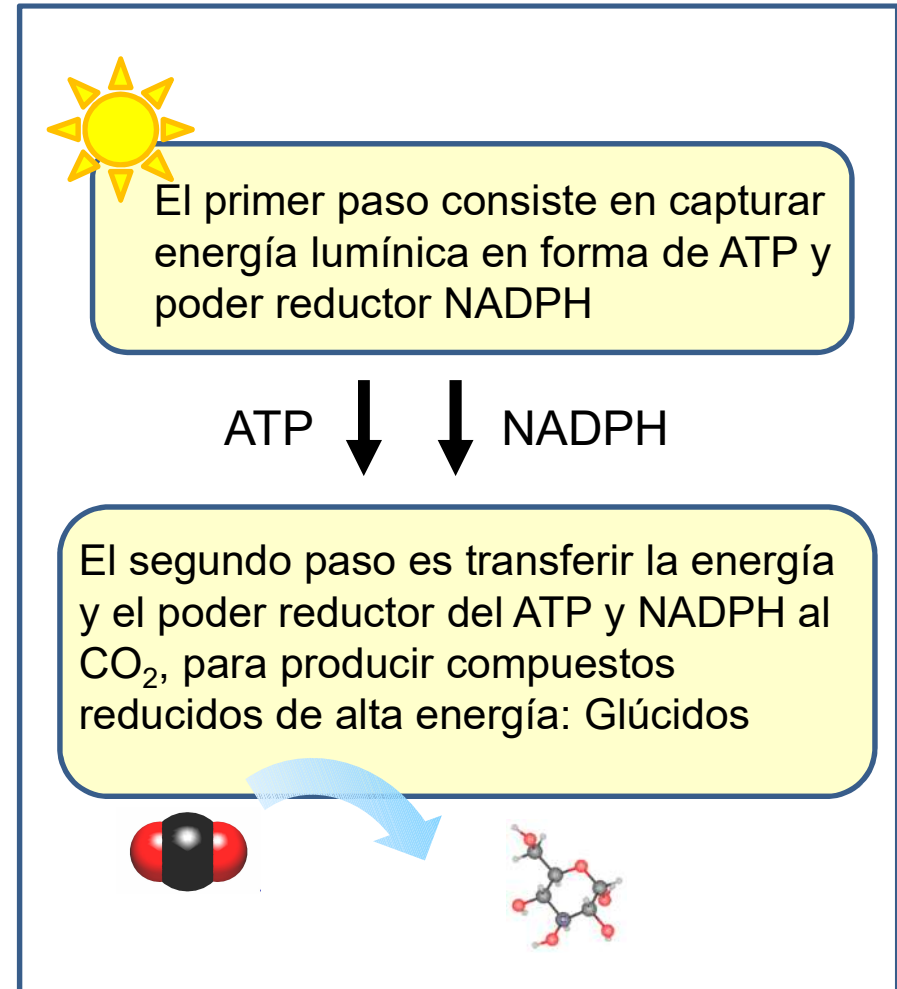
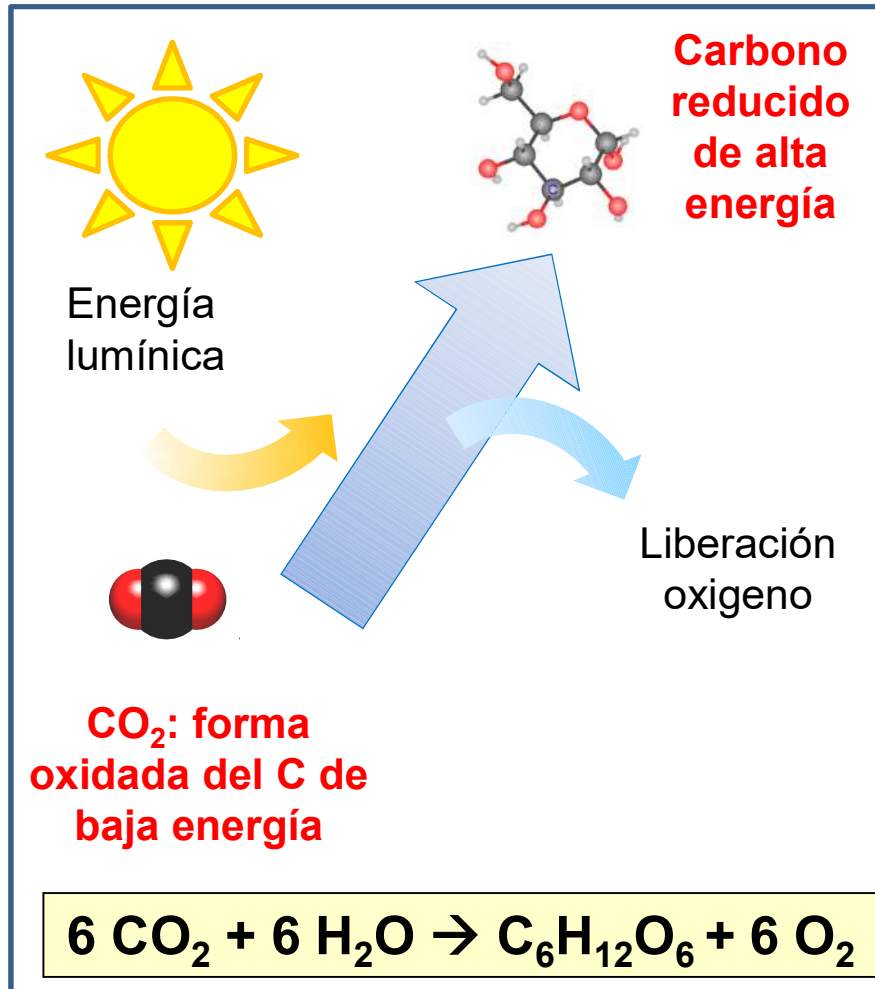


Señales que controlan y coordinan las funciones de las plantas se mueven de célula a célula y a través de tejidos vasculares

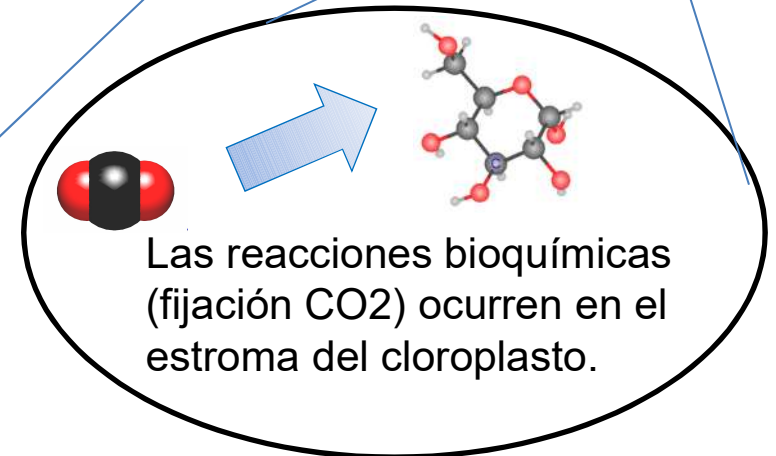
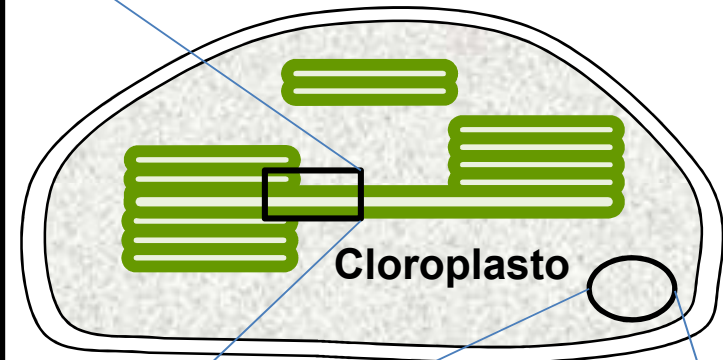
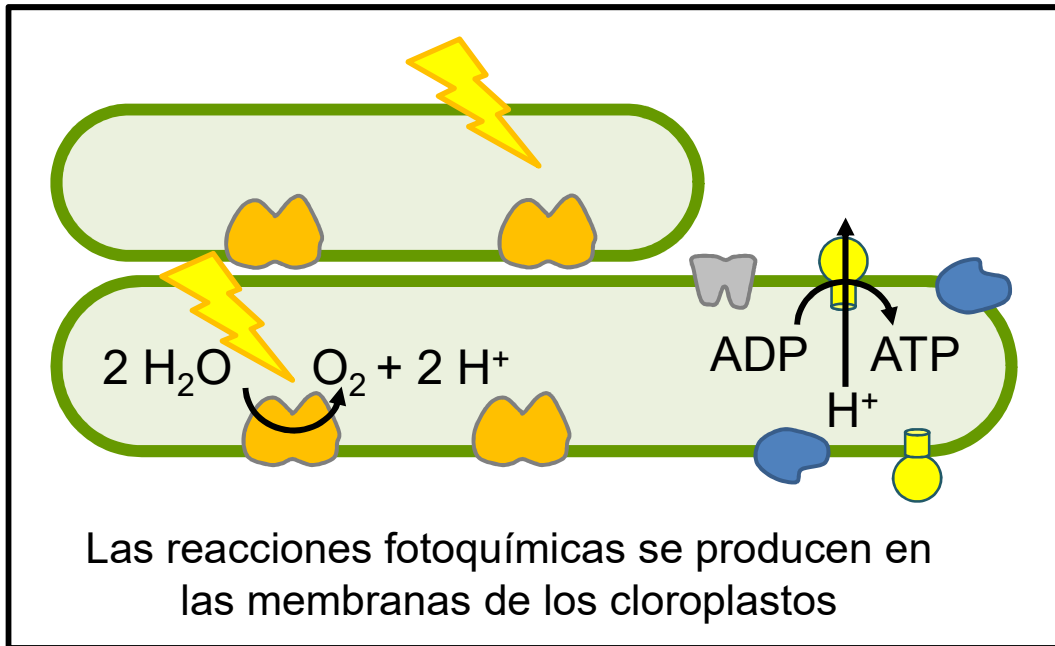
Soporte
(PC y presión hidrostática)



FOTOSINTESIS



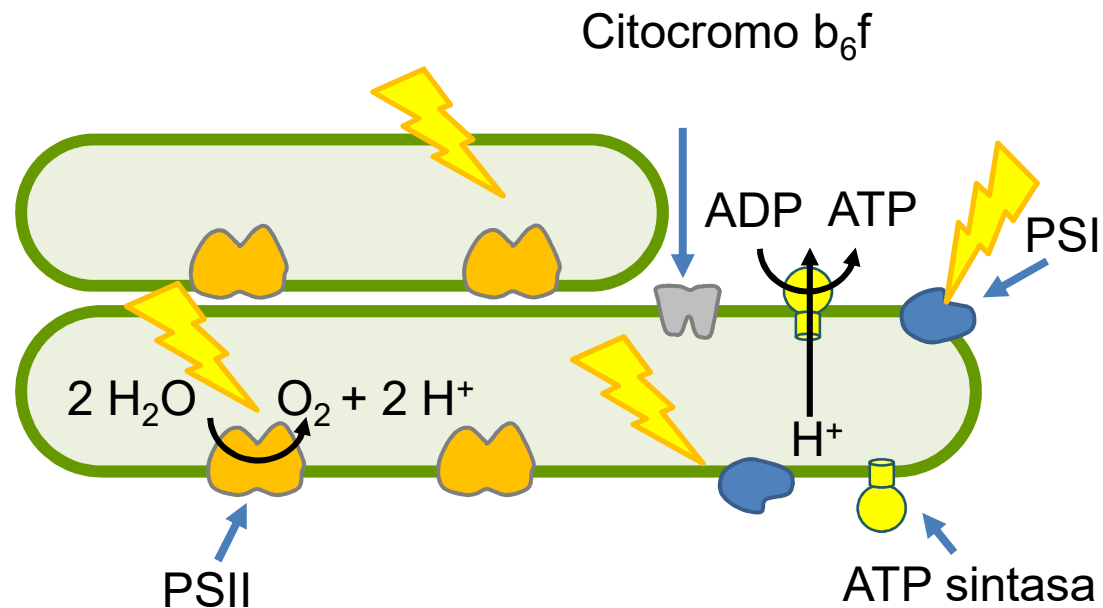
FOTOSINTESIS



Adapted from Kramer, D.M., and Evans, J. R. (2010). The importance of energy balance in improving photosynthetic productivity. *Plant Physiol.* 155: [70–78](#).

REACCIONES FOTOQUÍMICAS

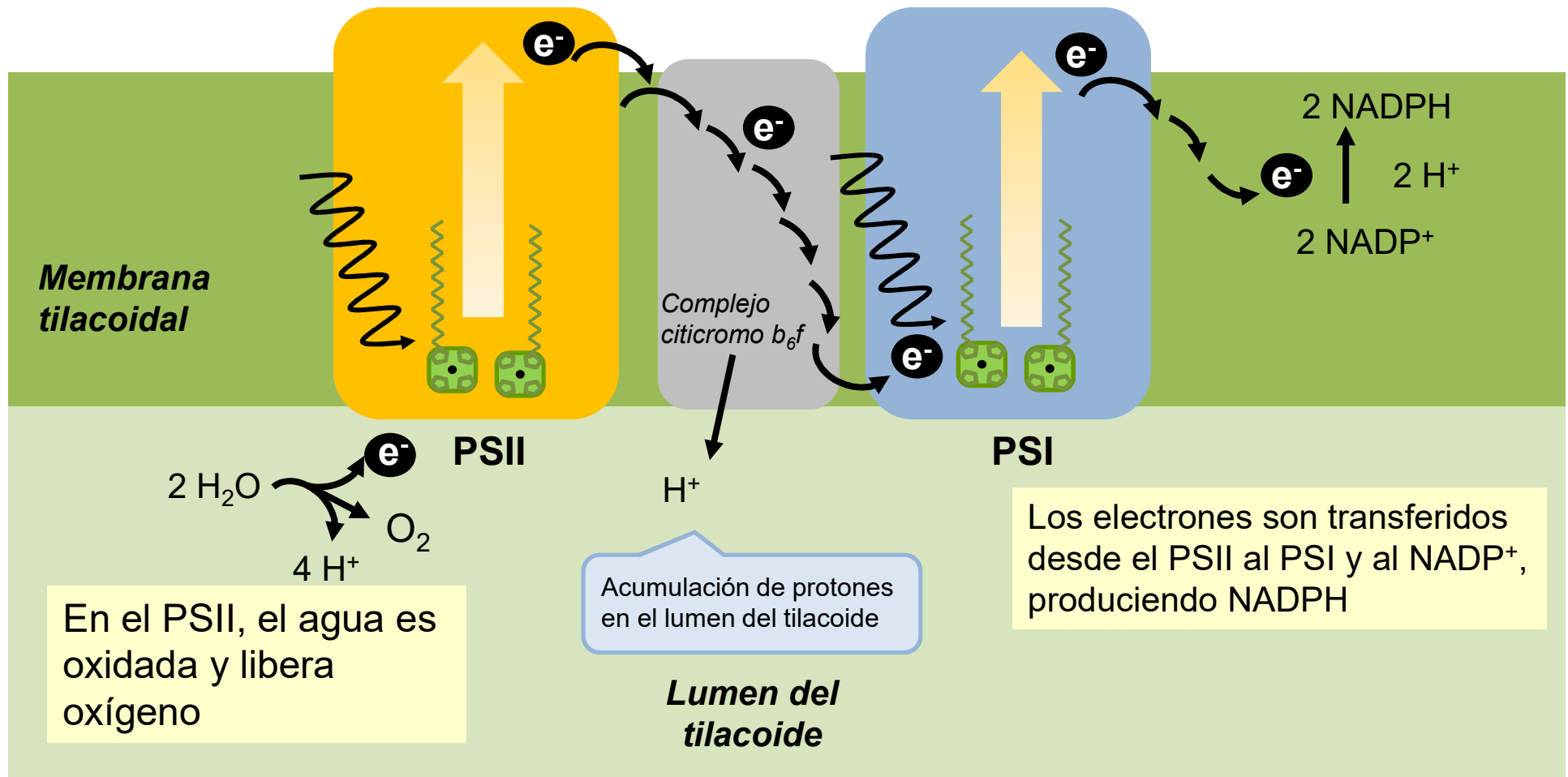
Requieren la participación de varios complejos multi-proteicos: dos complejos antena y sus fotosistemas, el complejo citocromo b_6f y la ATP sintasa



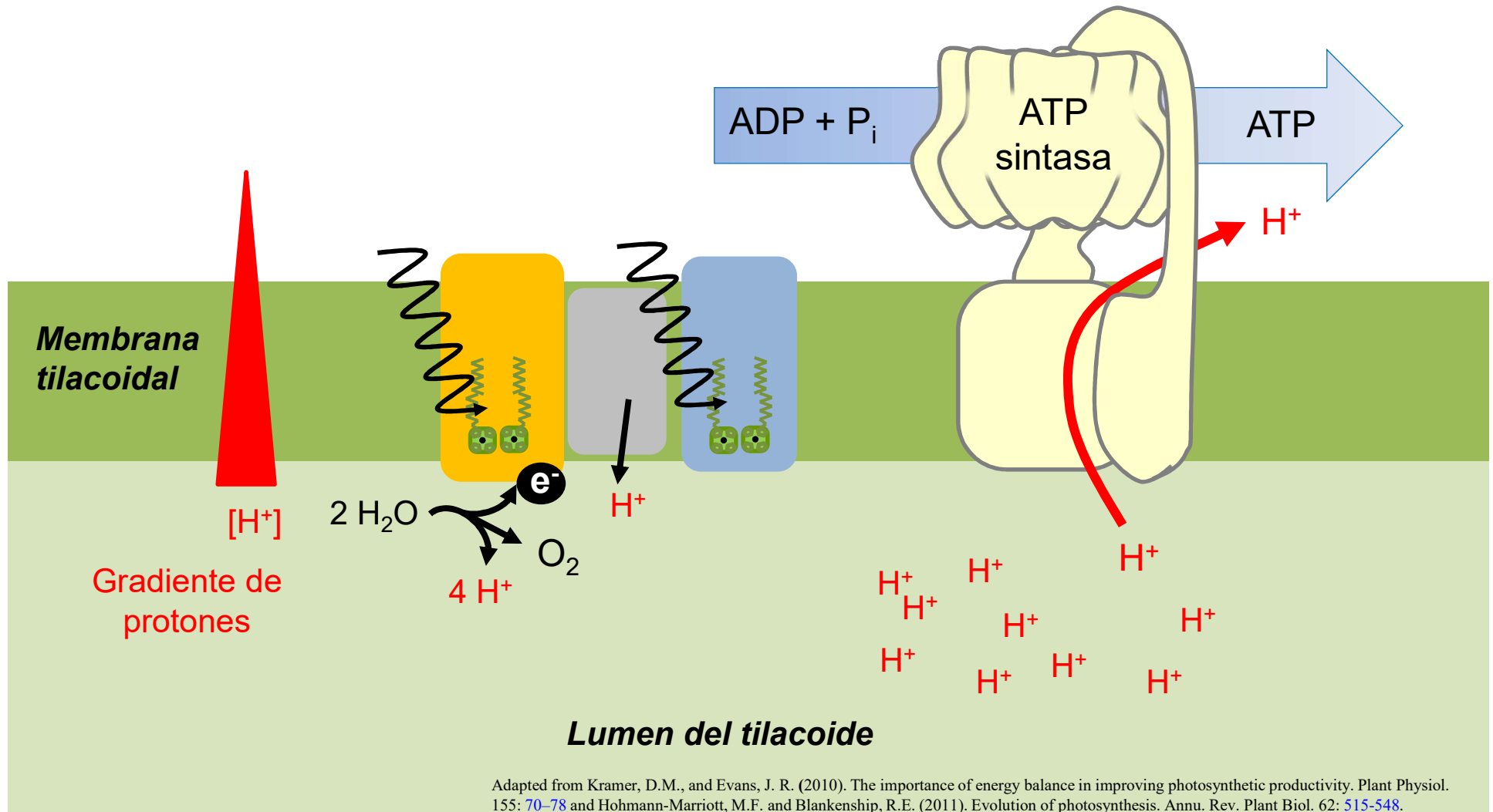
Productos: O_2 , ATP y NADPH

Adapted from Kramer, D.M., and Evans, J. R. (2010). The importance of energy balance in improving photosynthetic productivity. *Plant Physiol.* 155: [70–78](#).

Los dos fotosistemas que trabajan en serie

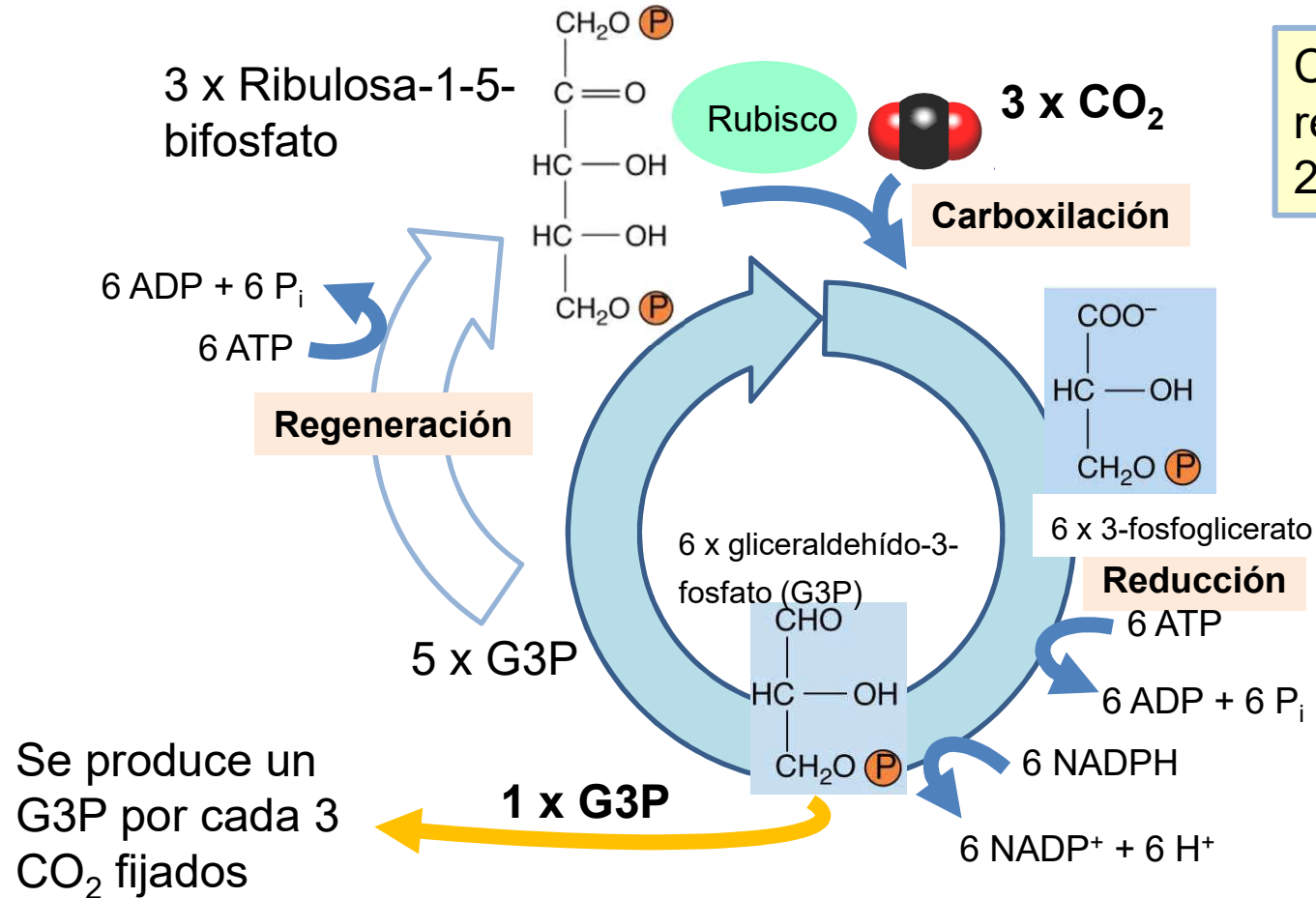


El gradiente de protones permite la síntesis de ATP



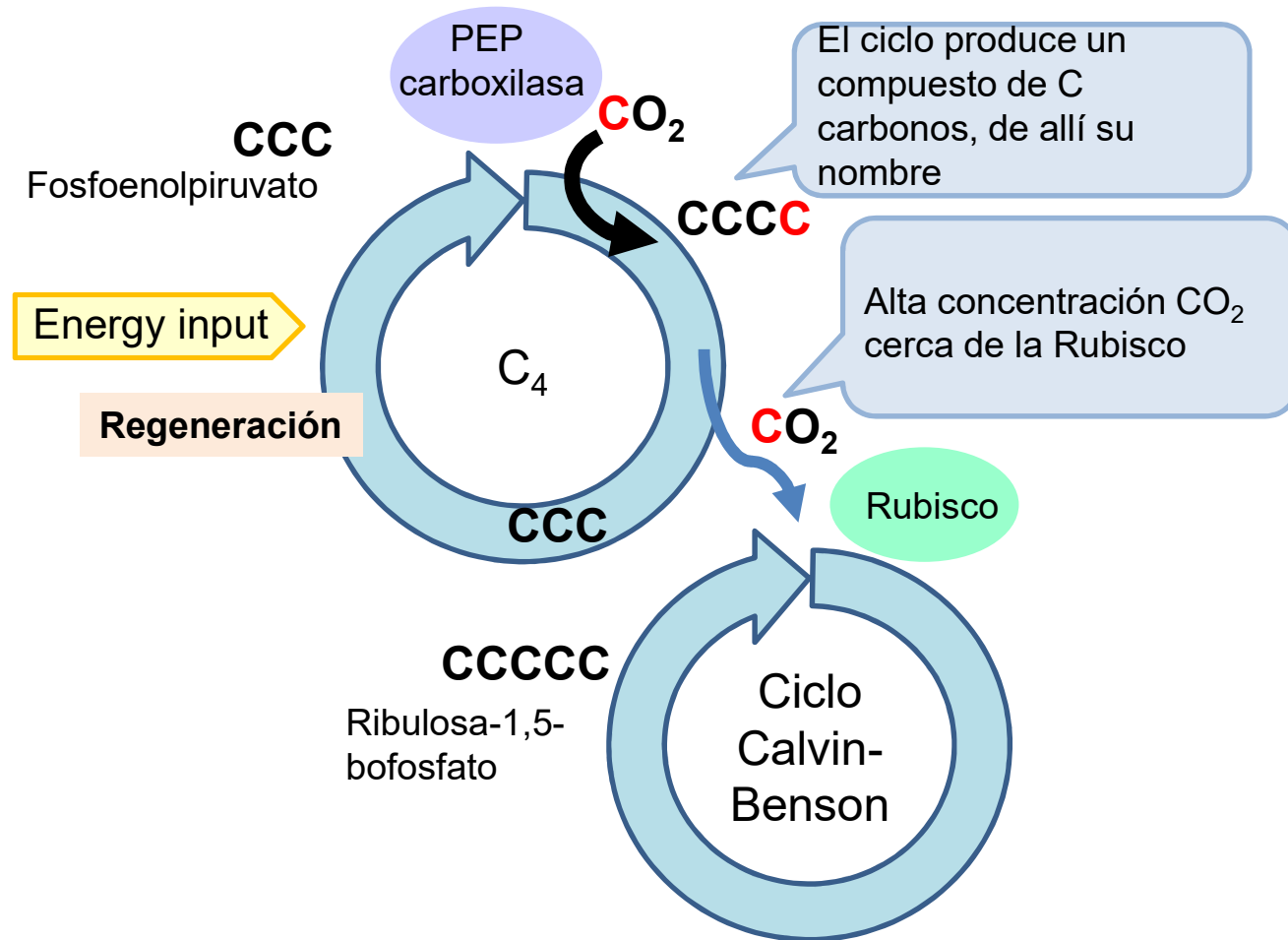
Adapted from Kramer, D.M., and Evans, J. R. (2010). The importance of energy balance in improving photosynthetic productivity. *Plant Physiol.* 155: [70–78](#) and Hohmann-Marriott, M.F. and Blankenship, R.E. (2011). Evolution of photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 62: [515–548](#).

El ATP y NADPH son usados en el Ciclo de Clavin para fijar CO₂

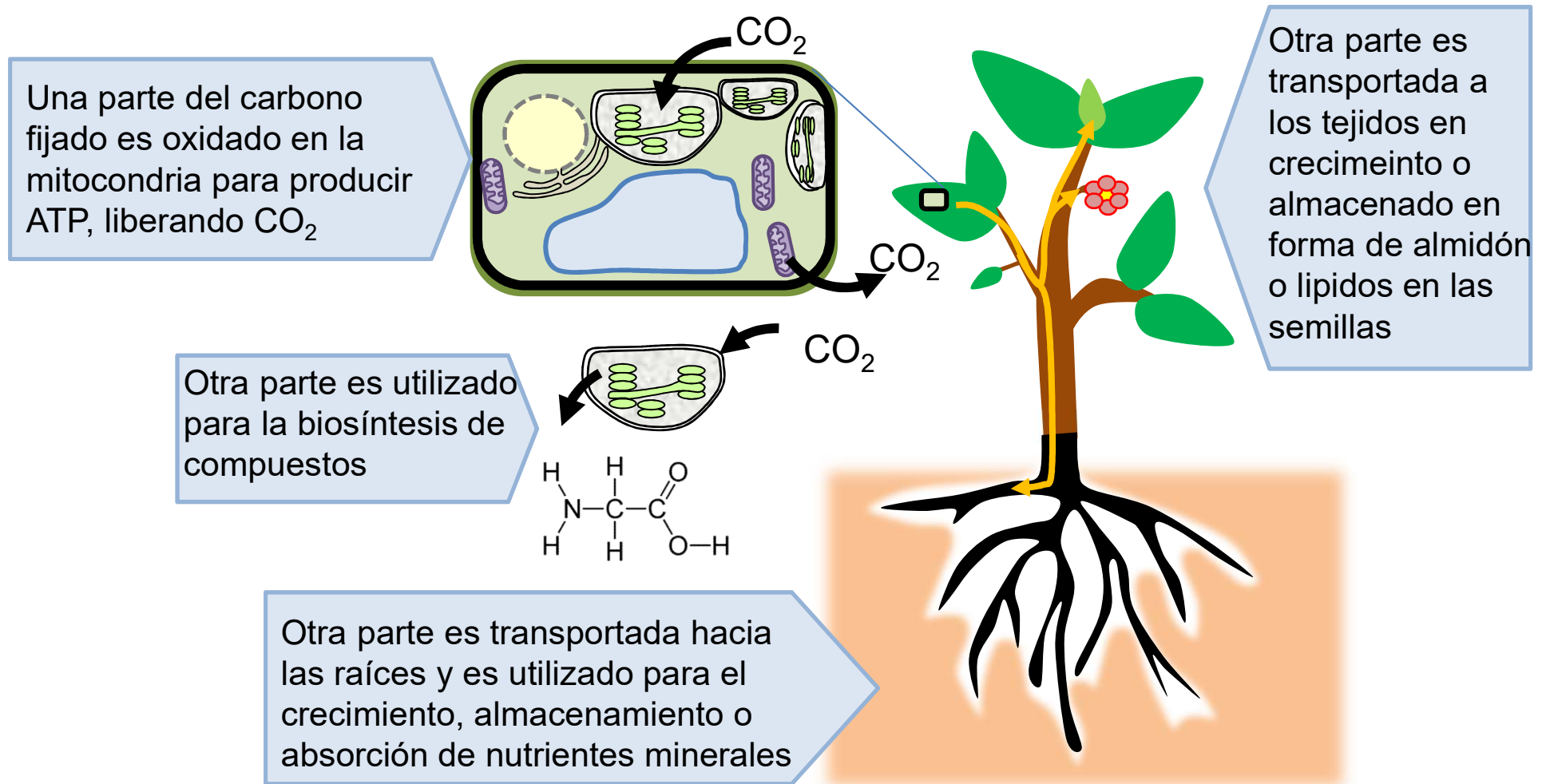


Adapted from: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

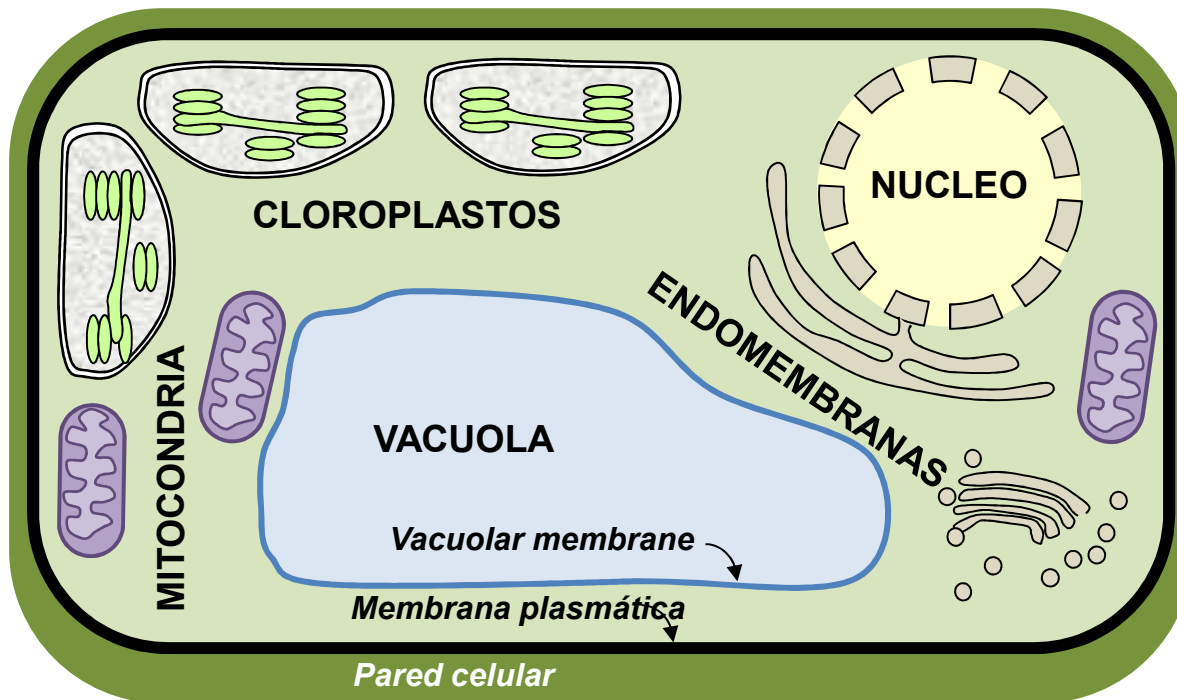
Mecanismos de concentración del CO₂



El Carbono fijado puede tener distintos destinos



Células vegetales



Membrana plasmática

La membrana plasmática es una barrera que permite a las células mantener un ambiente interno diferente al de su entorno.

Las células gastan energía para mantener un ambiente interno que es distinto del ambiente externo

La membrana plasmática es semi-permeable

La MP es permeable al agua y los gases, pero es impermeable a los iones y a las moléculas grandes

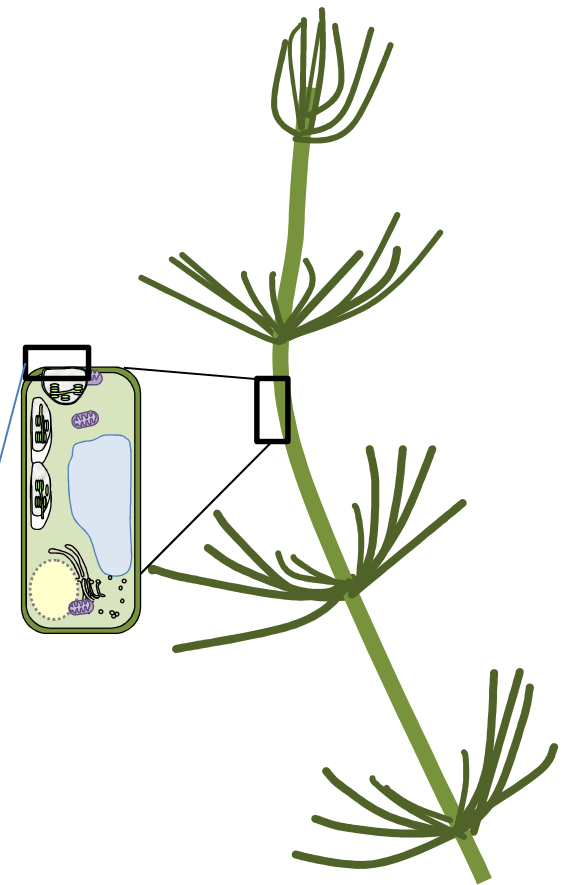
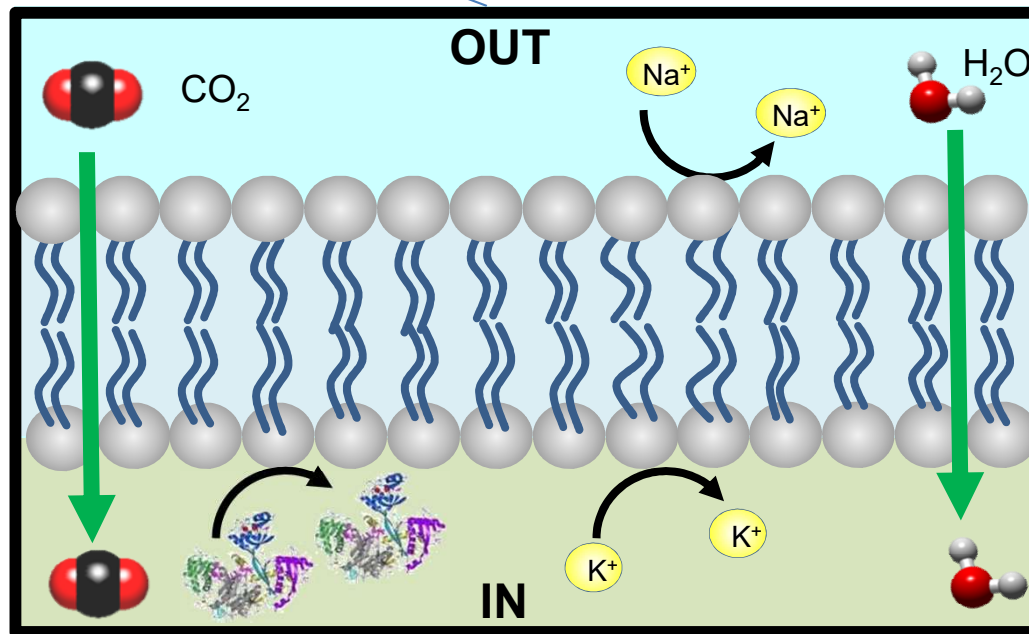
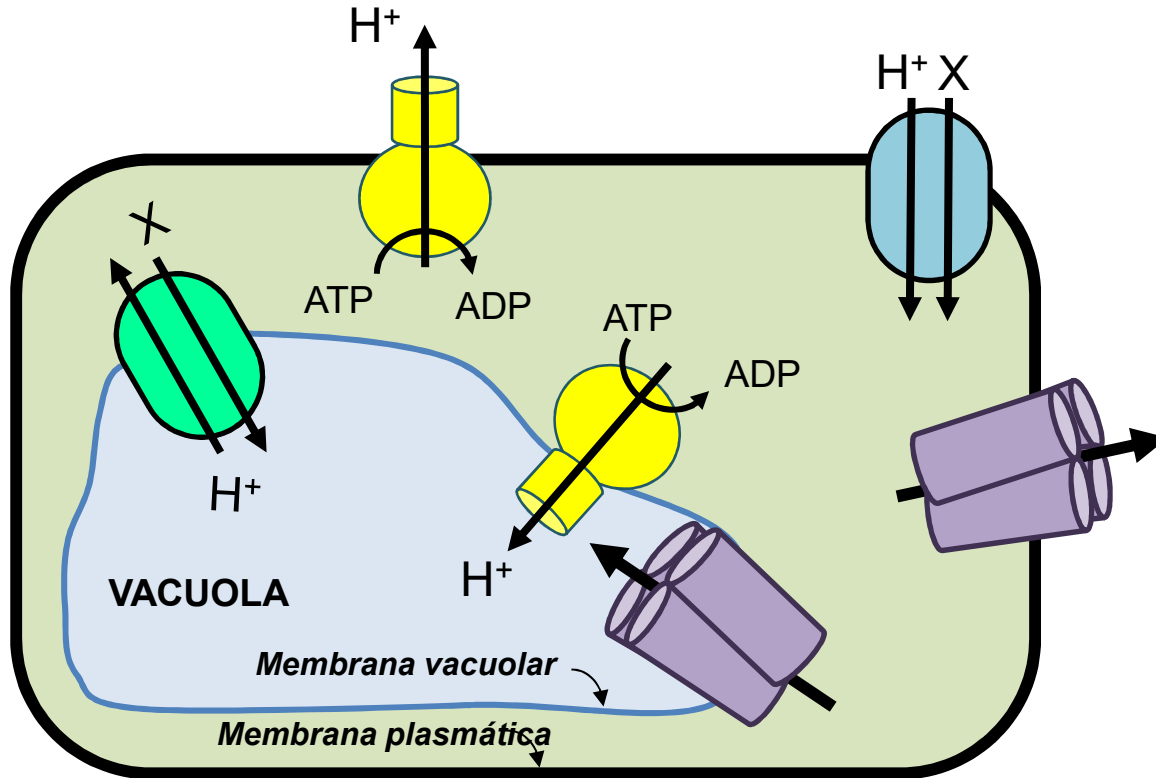


Photo credit: [Wenche Eikrem and Jahn Throndsen](#), University of Oslo

Transportadores de membrana



Los transportadores de membrana permiten el ingreso de iones y otros compuestos necesarios, y la salida de moléculas no deseadas. Los transportadores también son necesarios para regular el potencial osmótico de la célula

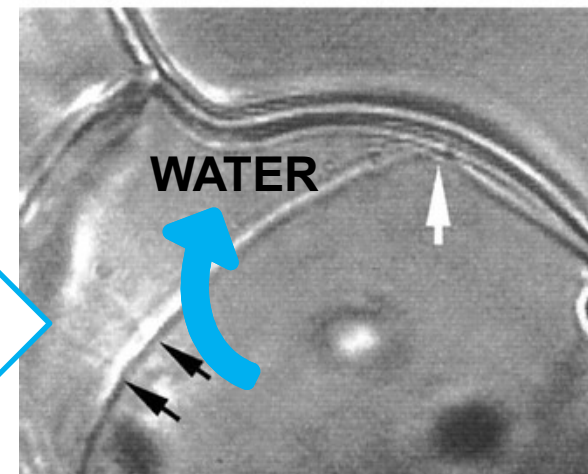
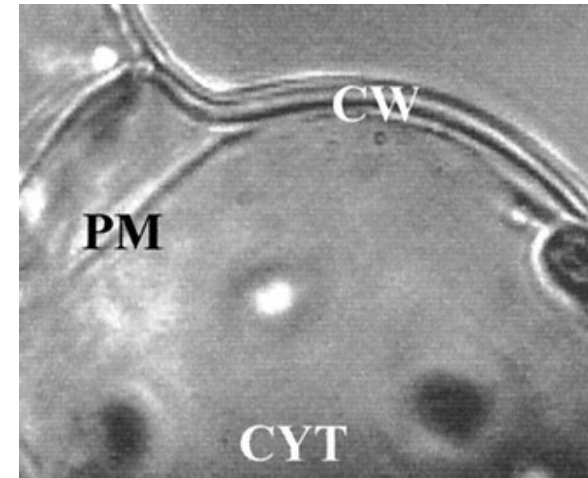
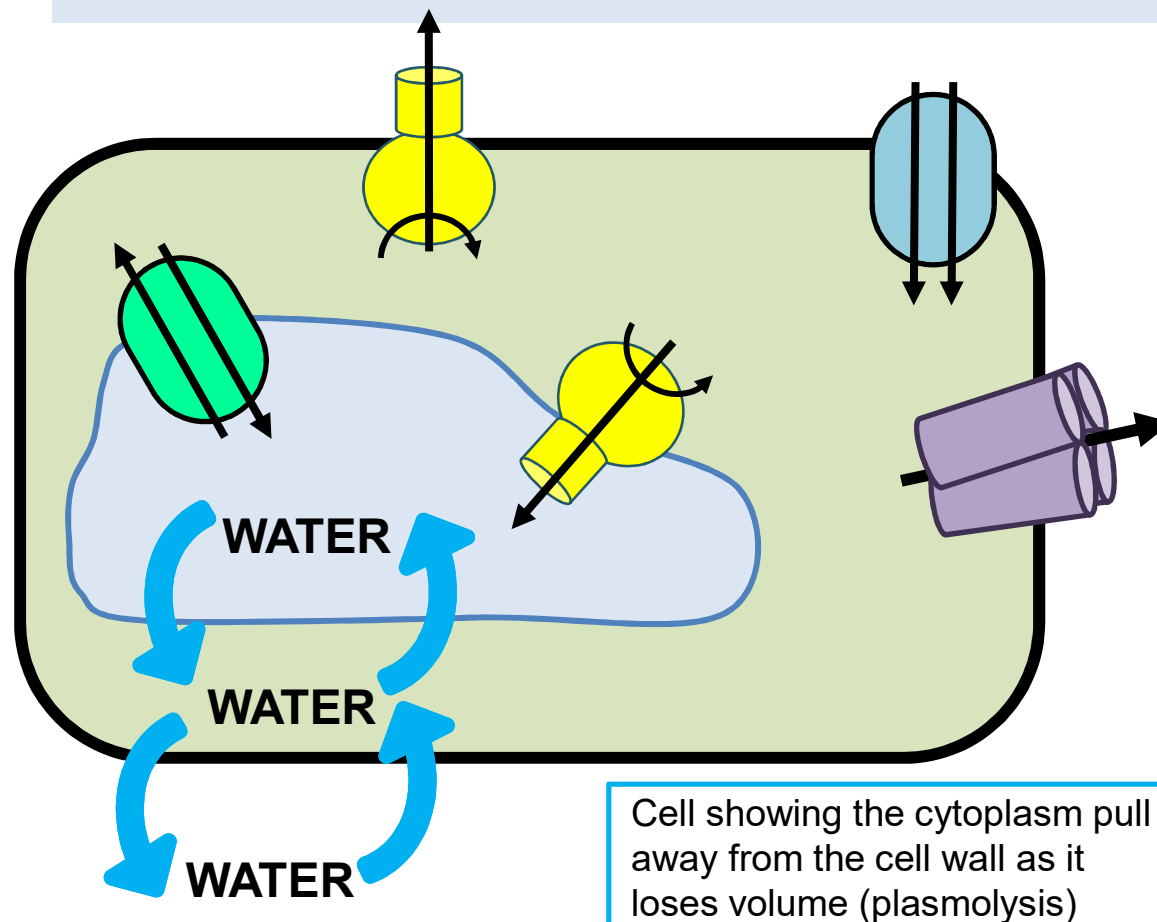
Adapted from Hedrich, R. (2012). Ion channels in plants. *Physiol. Rev.* 92: [1777-1811](#).

Movimiento del agua en la planta

Osmosis o presión

Buer, C.S., Weathers, P.J. and Swartzlander, G.A. (2000). Changes in Hechtian strands in cold-hardened cells measured by optical microsurgery. *Plant Physiol.* 122: [1365-1378](#).

Movimiento del agua en la célula

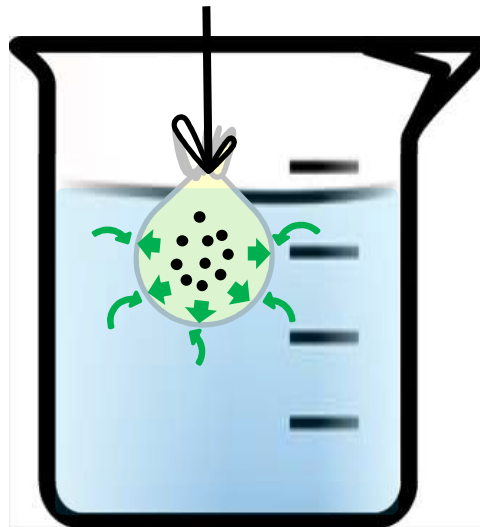


Buer, C.S., Weathers, P.J. and Swartzlander, G.A. (2000). Changes in Hechtian strands in cold-hardened cells measured by optical microsurgery. *Plant Physiol.* 122: [1365-1378](#).

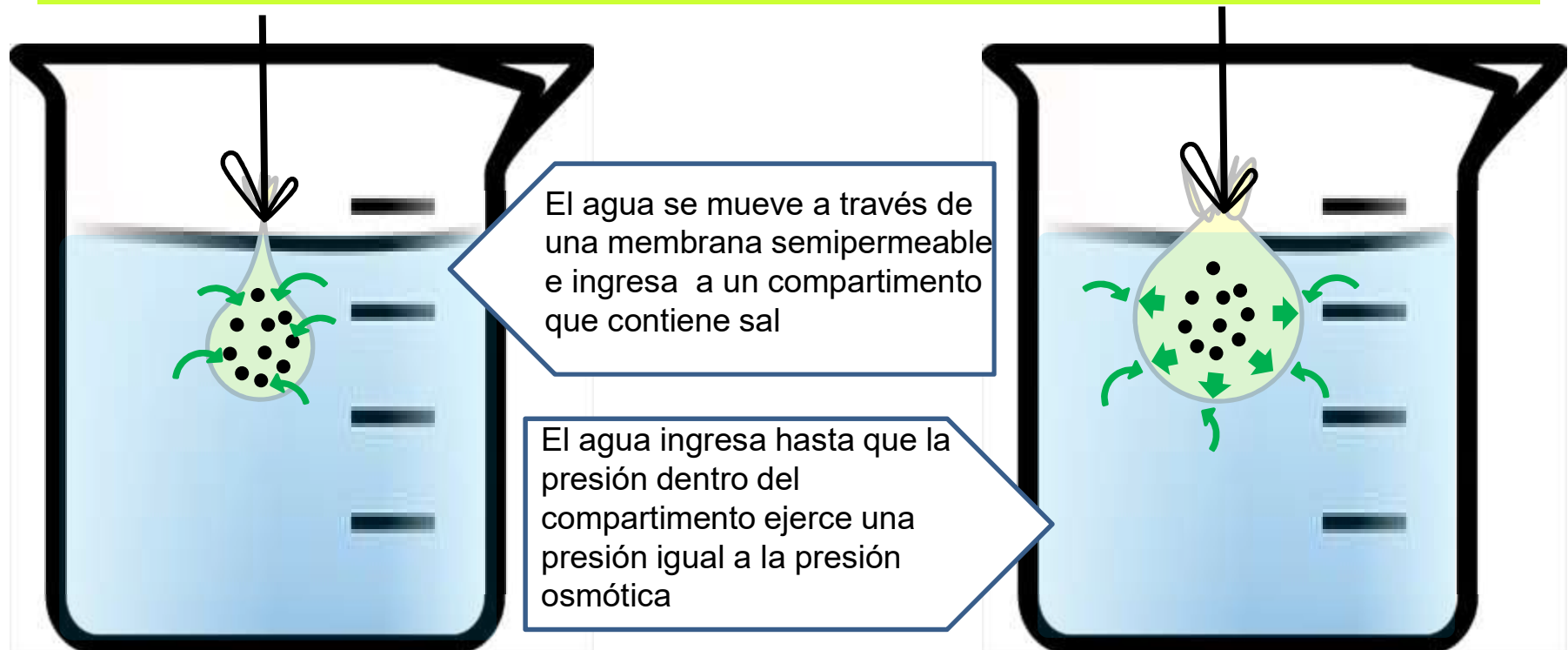
Ecuación del potencial agua

$$\Psi_a = \Psi_o + \Psi_p$$

El agua de mueve de altos a bajos valores de Ψ_a

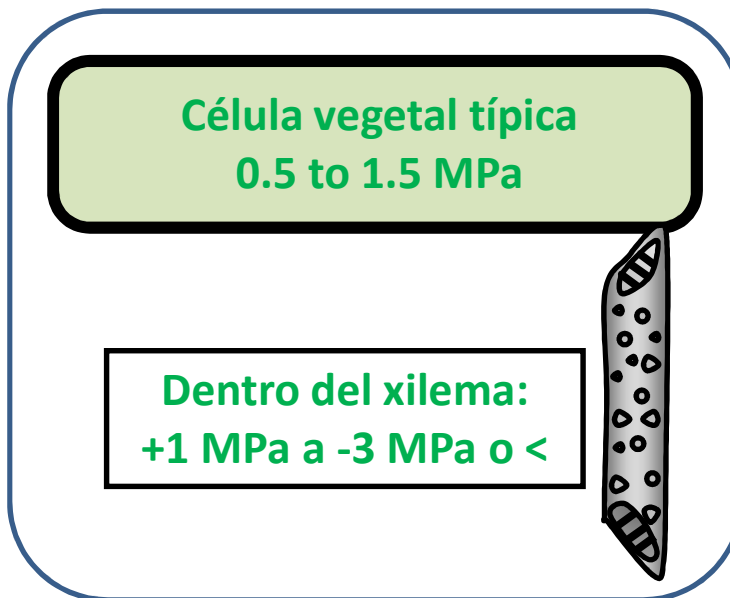
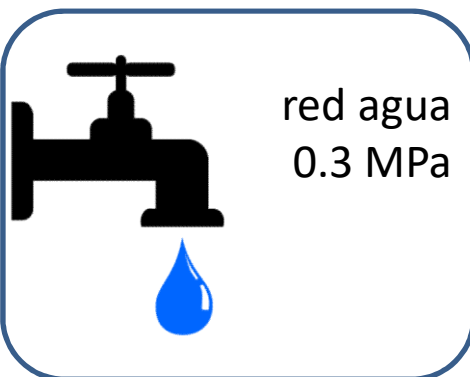


Potencial osmótico Ψ_o



El Ψ_o del agua pura es igual a 0. Los solutos disueltos en el agua disminuyen el Ψ_o . El agua se mueve hacia regiones con menor Ψ_o .

Potencial de presión Ψ_p

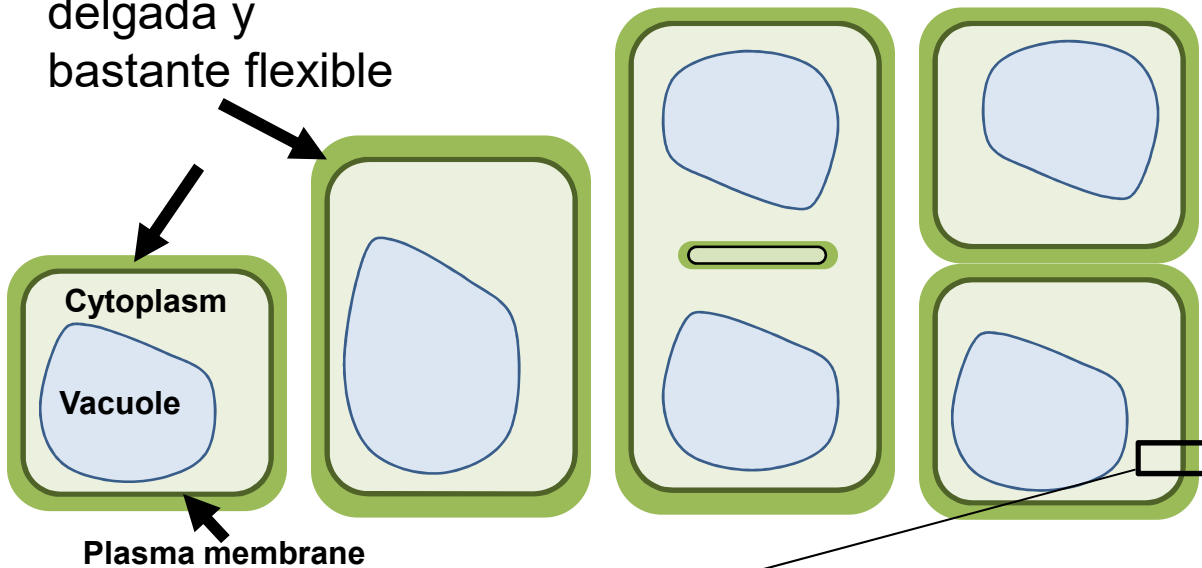


** Estos valores son relativos a la presión atmosférica (0.1 MPa)*

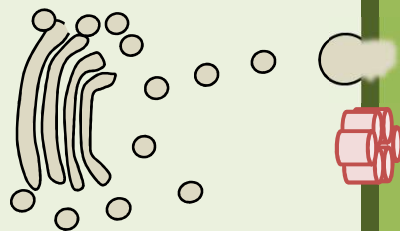
[Mschel](#); Image 14869 CDC/ [Nasheka Powell](#)

Las PC son flexibles, fuertes y complejas

La PC 1° es delgada y bastante flexible

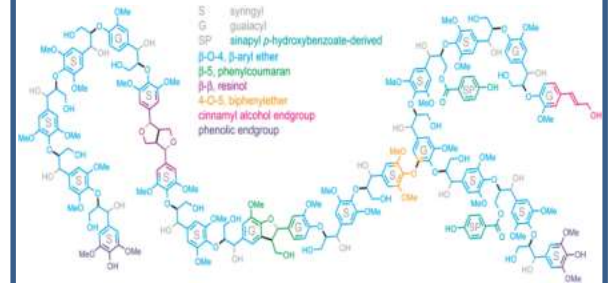
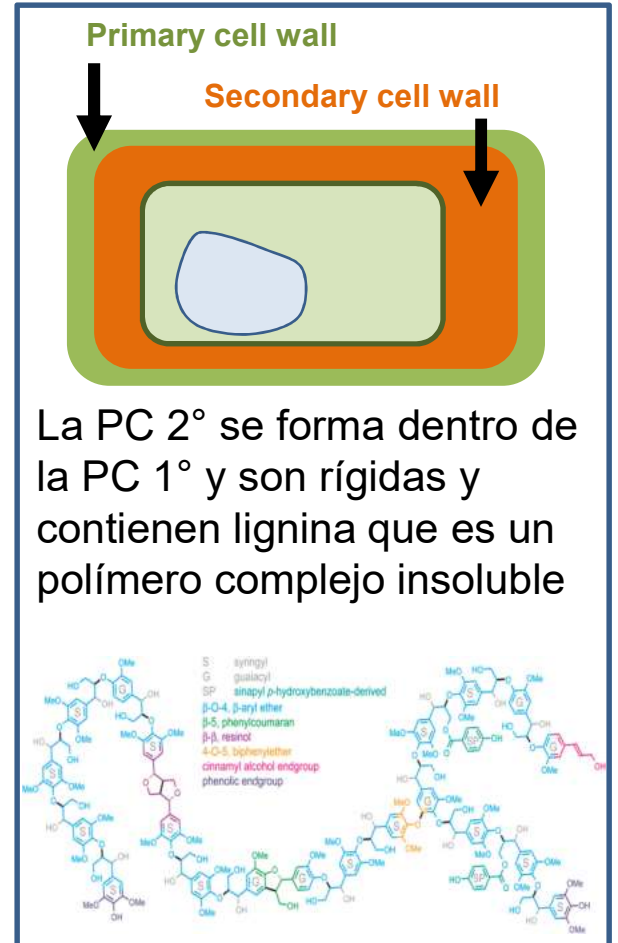


La pared celular se sintetiza fuera de la membrana plasmática a partir de materiales transportados hacia el exterior a través de la membrana plasmática.



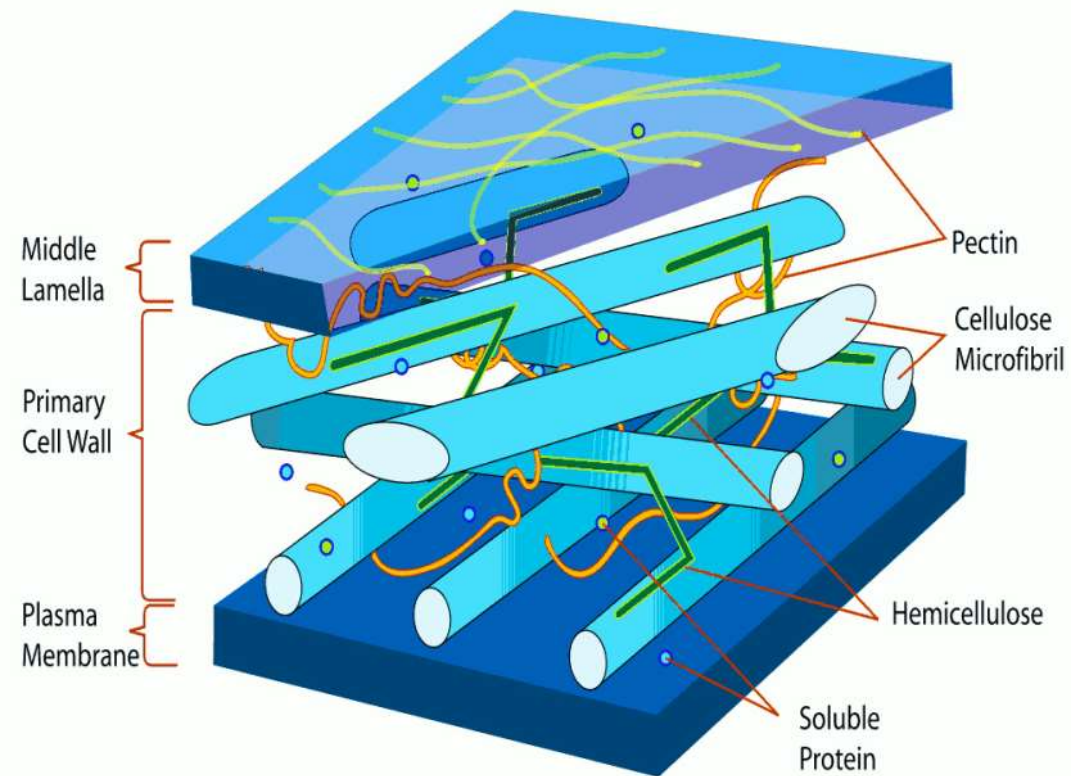
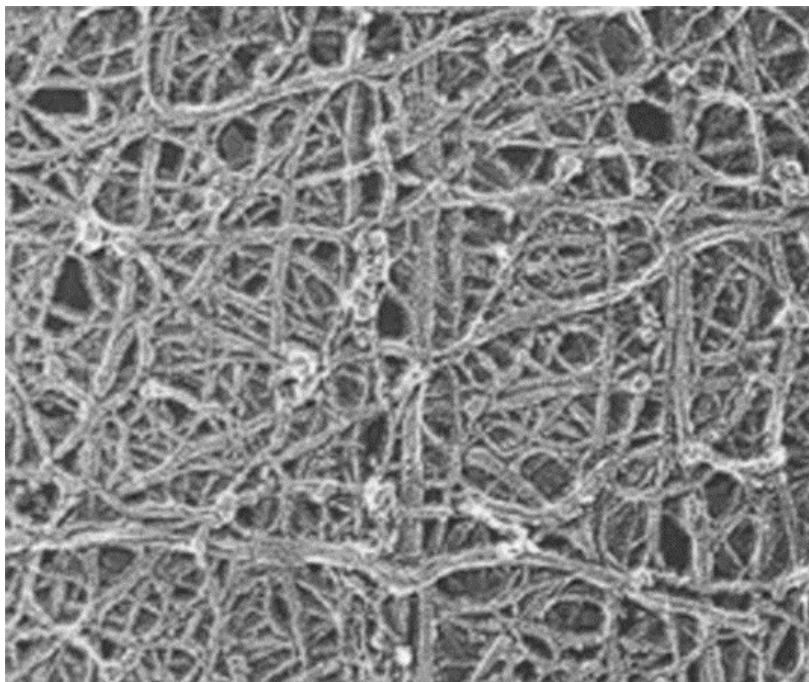
Primary cell wall

Secondary cell wall



Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J. and Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiol.* 153: [895-905](https://doi.org/10.1093/plphys/kp195).

PC primarias: celulosa, proteínas y otros componentes



Reprinted from McCann, M.C., Bush, M., Milioni, D., Sado, P., Stacey, N.J., Catchpole, G., Defernez, M., Carpita, N.C., Hofte, H., Ulvskov, P., Wilson, R.H. and Roberts, K. (2001). Approaches to understanding the functional architecture of the plant cell wall. *Phytochemistry*. 57: [811-821](#), with permission from Elsevier; Drawing credit [LadyofHats](#).

Las plantas son organismos multicelulares



VENTAJAS:

- Son organismos más grandes capaces de competir por luz y nutrientes
- Especialización celular

DESVENTAJAS:

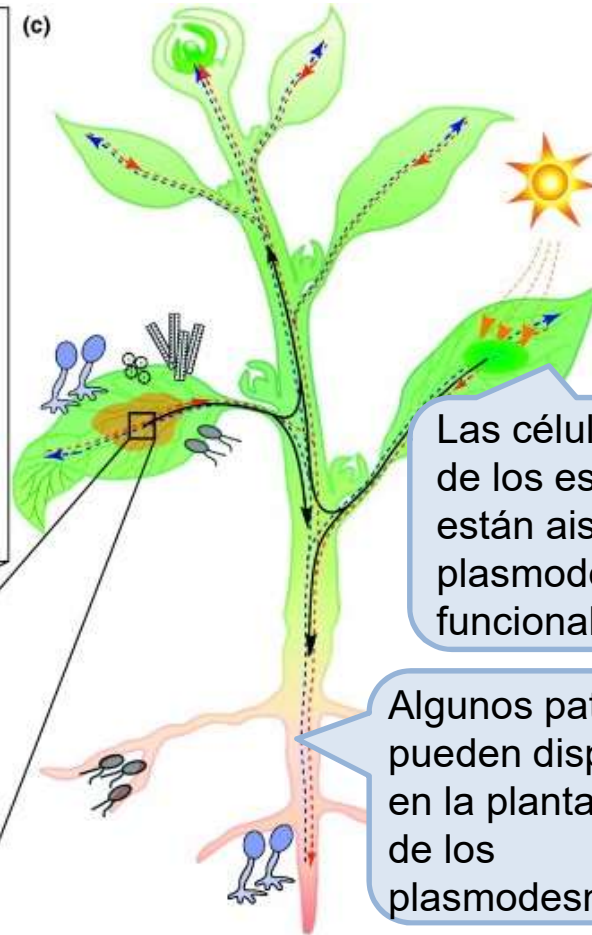
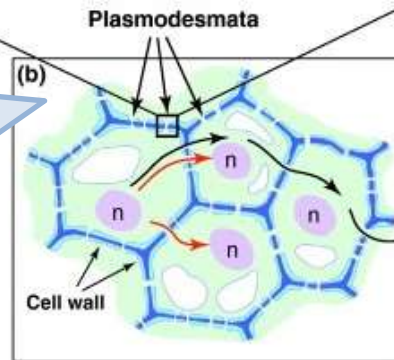
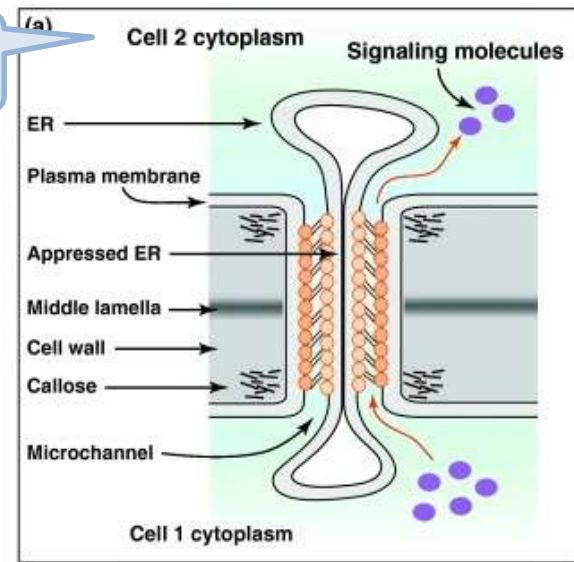
- Necesidad de mover recursos e información, coordinar acciones

Photo credit: [Tom Donald](#)

La mayoría de las células vegetales se conectan por plasmodesmos

Plasmodesmos

Moléculas señal, nutrientes, iones y agua se pueden mover de célula en célula o distancias más largas a través del floema



Las células anexas de los estomas están aisladas sin plasmodesmos funcionales.

Algunos patógenos pueden dispersarse en la planta a través de los plasmodesmos

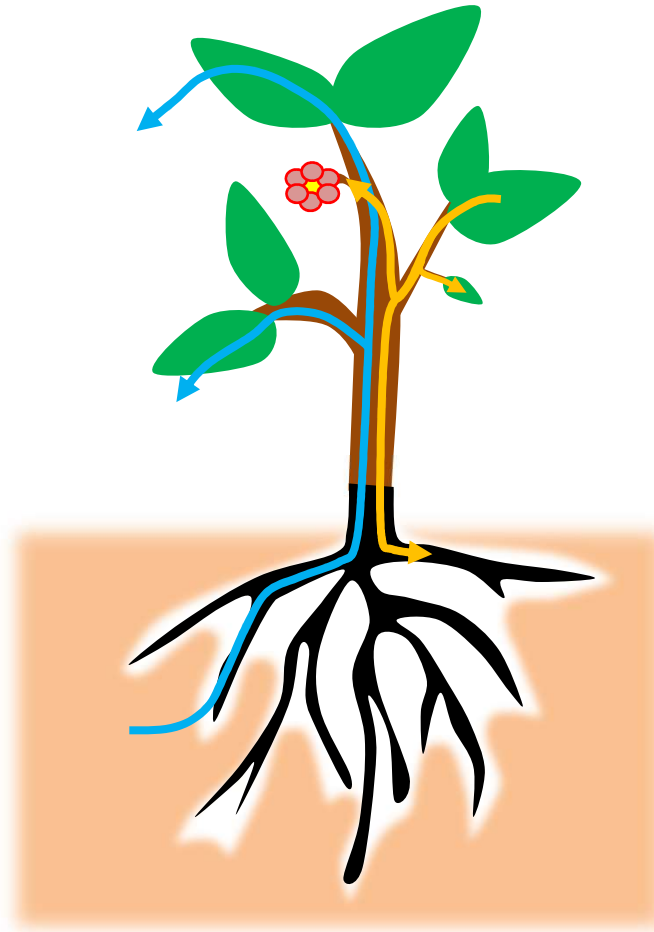
TRENDS in Plant Science

Reprinted from Lee, J.-Y. and Lu, H. (2011). Plasmodesmata: the battleground against intruders. Trends Plant Sci. 16: [201-210](#) with permission from Elsevier.

Las plantas vasculares poseen sistema de transporte de larga distancia

XILEMA

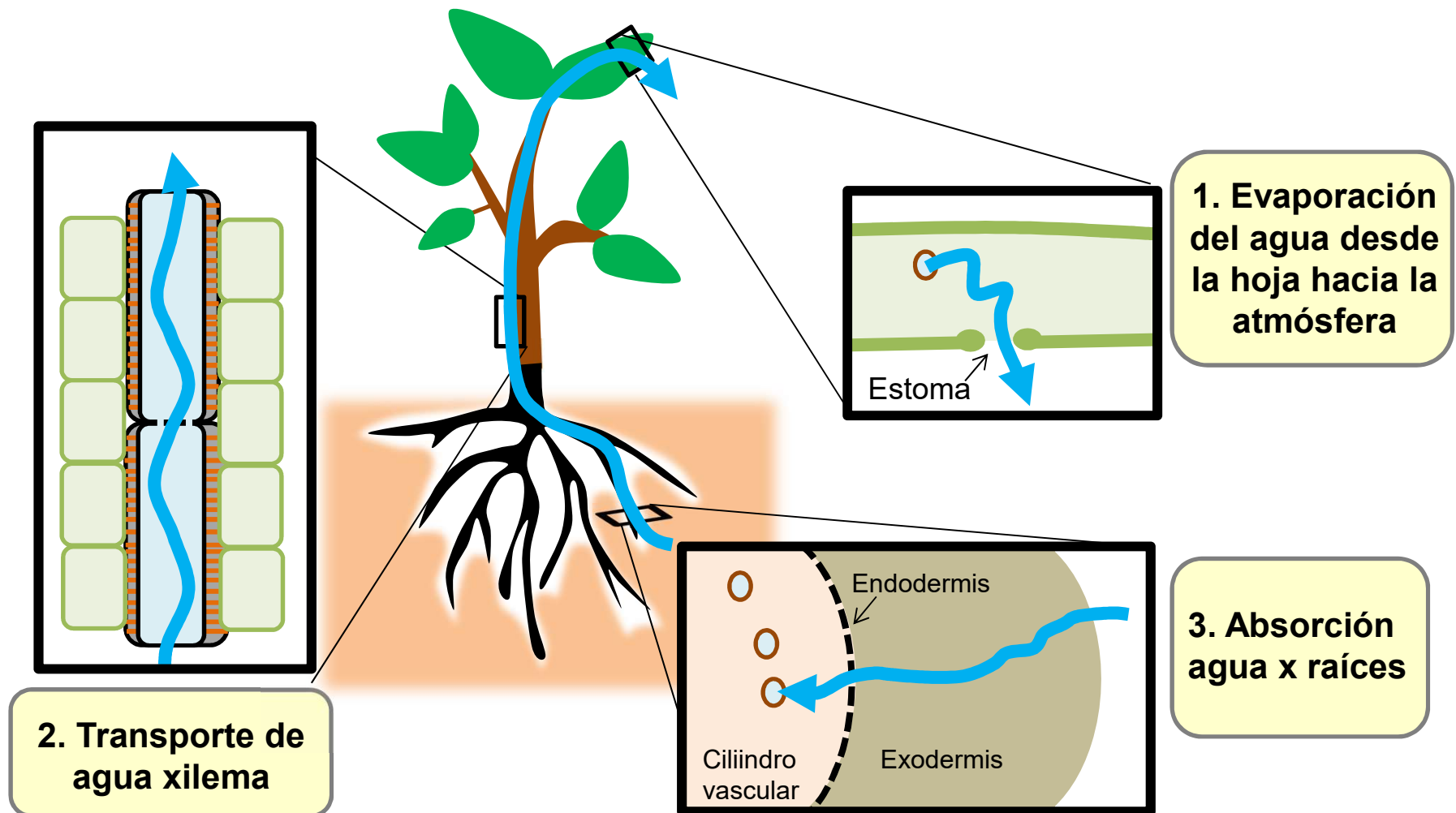
El agua se mueve del suelo a la atmósfera a través de las células muertas huecas del xilema



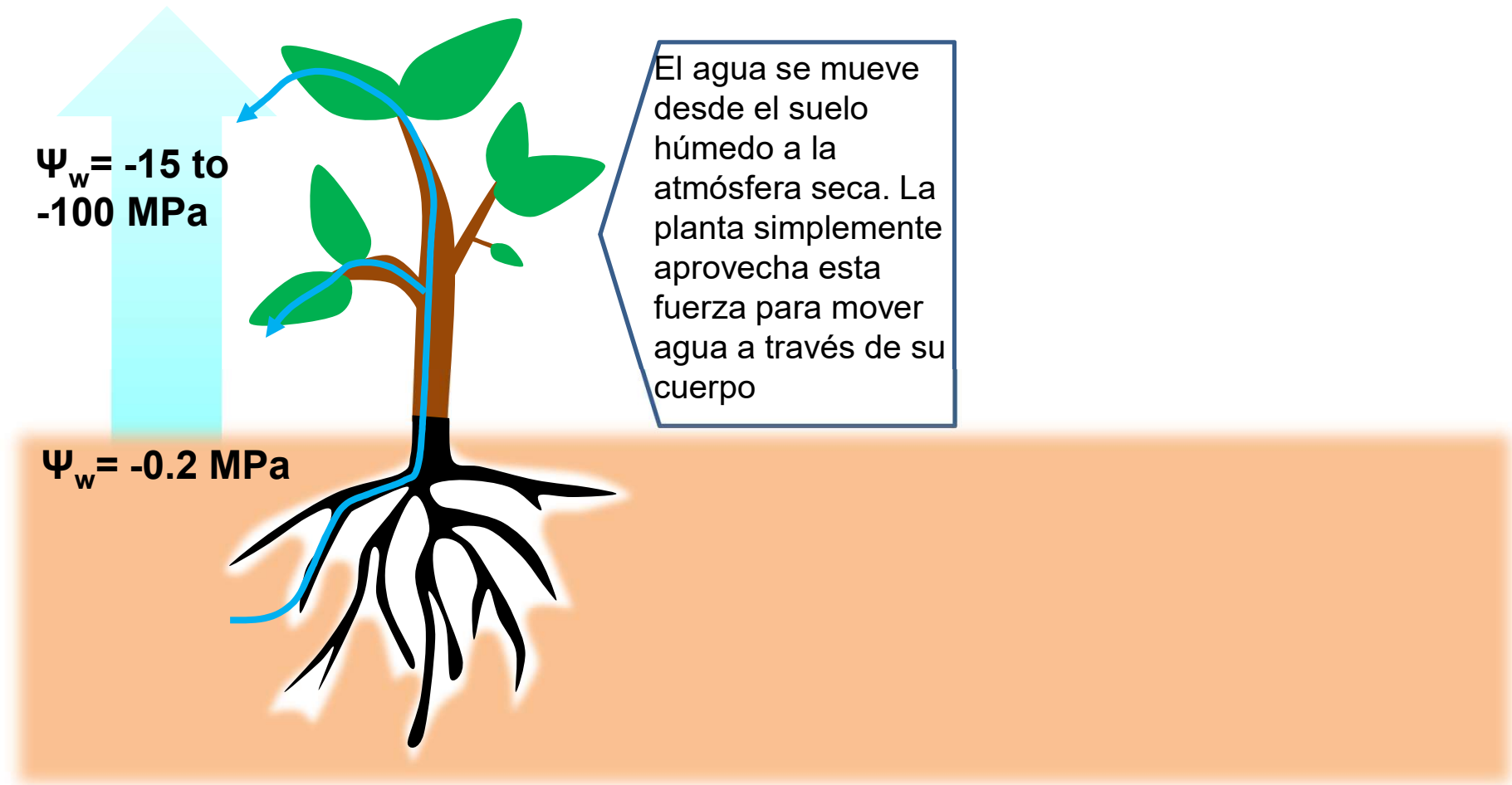
FLOEMA

Los azúcares producidos fotosintéticamente (y otras moléculas) se mueven desde las fuentes a sus destinos a través del floema

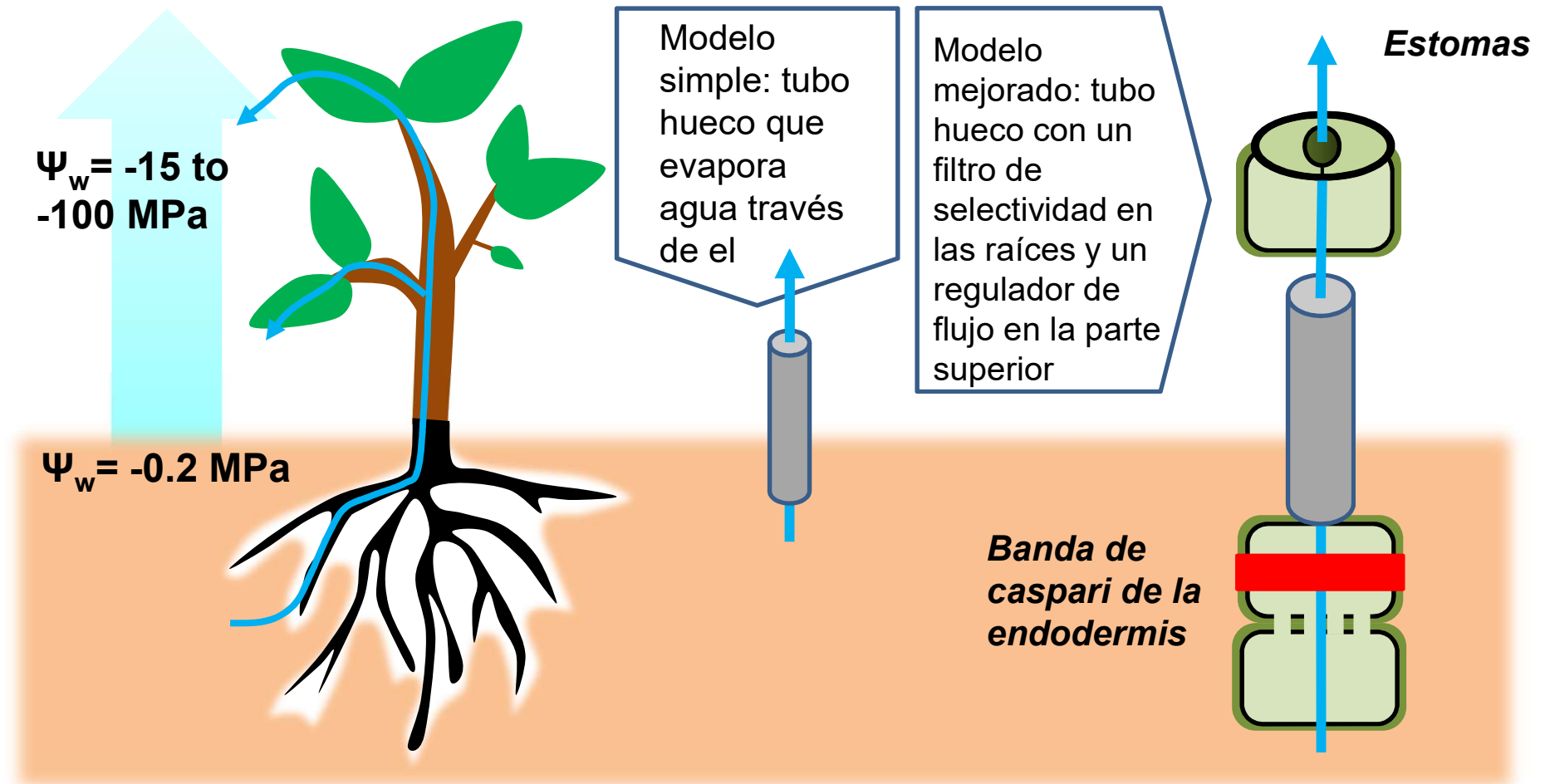
El agua se mueve en el Continuum Suelo – Planta – Atmósfera (SPAC)



El movimiento del agua en el xilema es impulsado por la evaporación

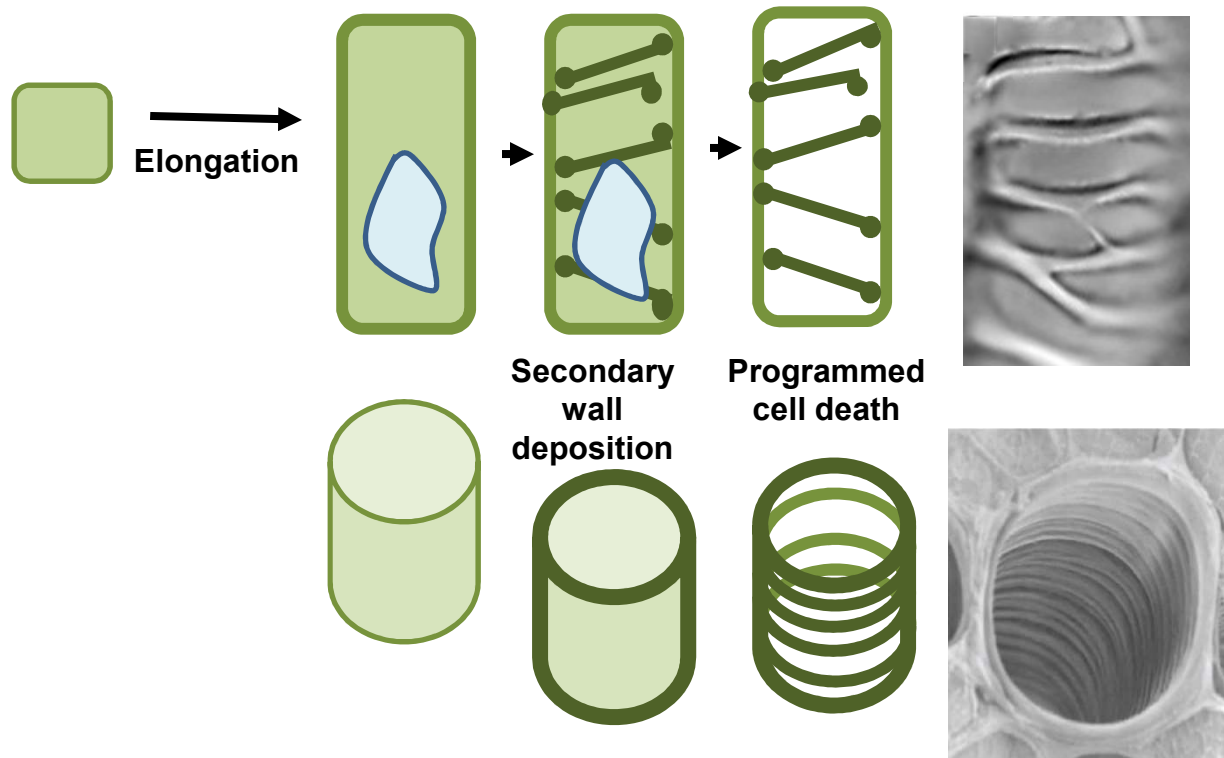


El movimiento del agua en el xilema es impulsado por la evaporación



Adapted from Lucas, W.J. et al. (2013). The plant vascular system: Evolution, development and functions. J. Integr. Plant Biol. 55: [294-388](#).

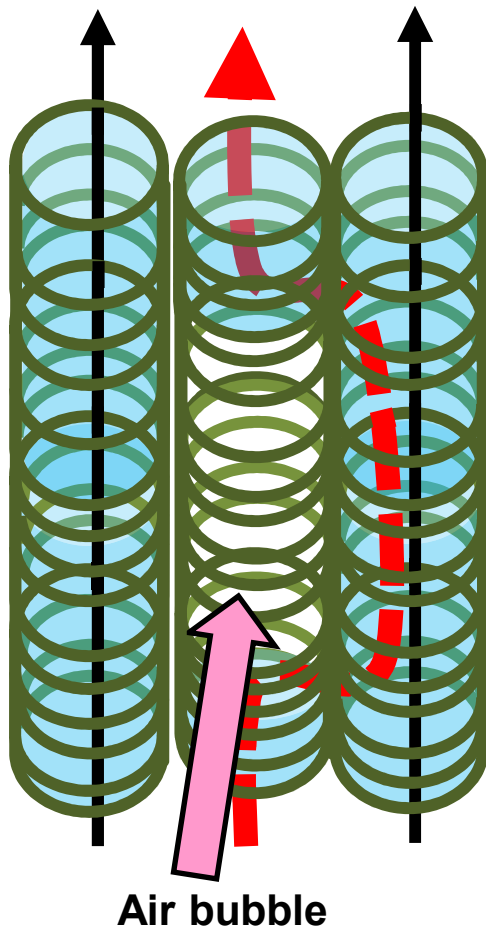
Las células del xilema son células altamente especializadas en la conducción de agua



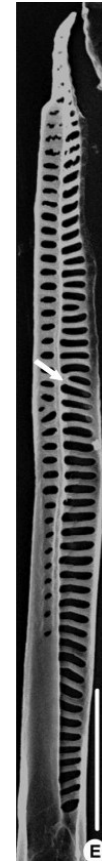
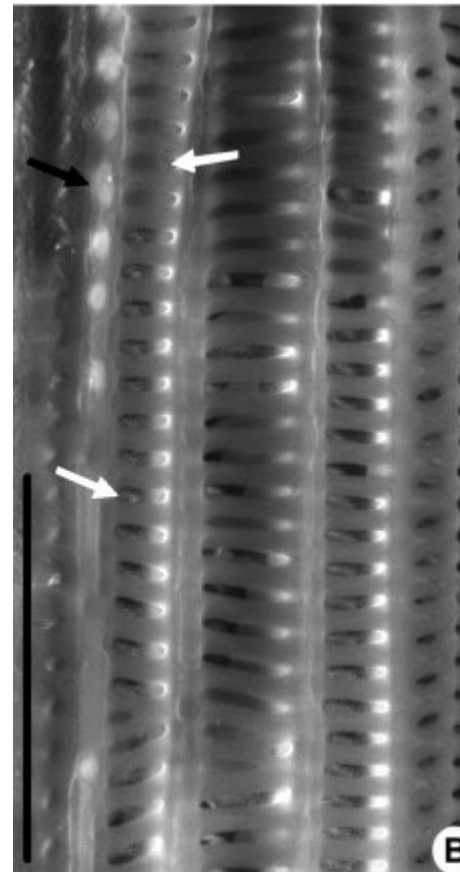
Las células forman anillos espesados de tejido de pared secundaria y luego mueren, dejando recipientes huecos reforzados

Oda, Y., Mimura, T. and Hasezawa, S. (2005). Regulation of secondary cell wall development by cortical microtubules during tracheary element differentiation in *Arabidopsis* cell suspensions. *Plant Physiol.* 137: [1027-1036](#). Reprinted from Höfte, H. (2010). Plant cell biology: How to pattern a wall. *Curr. Biol.* 20: [R450-R452](#) with permission from Elsevier.

La estructura de las paredes celulares del xilema evita que las embolias se diseminen



Debido a que el agua se mueve bajo tensión, pueden formarse burbujas de aire o embolias. Los pequeños huecos en las paredes del xilema permiten que el agua, pero no las burbujas de aire, se muevan a través de ellas



Reprinted from Li, H.-F., et al. (2011). Vessel elements present in the secondary xylem of *Trochodendron* and *Tetracentron* (Trochodendraceae). *Flora*. 206: [595-600](#) with permission from Elsevier.

La endodermis actúa como un filtro selectivo

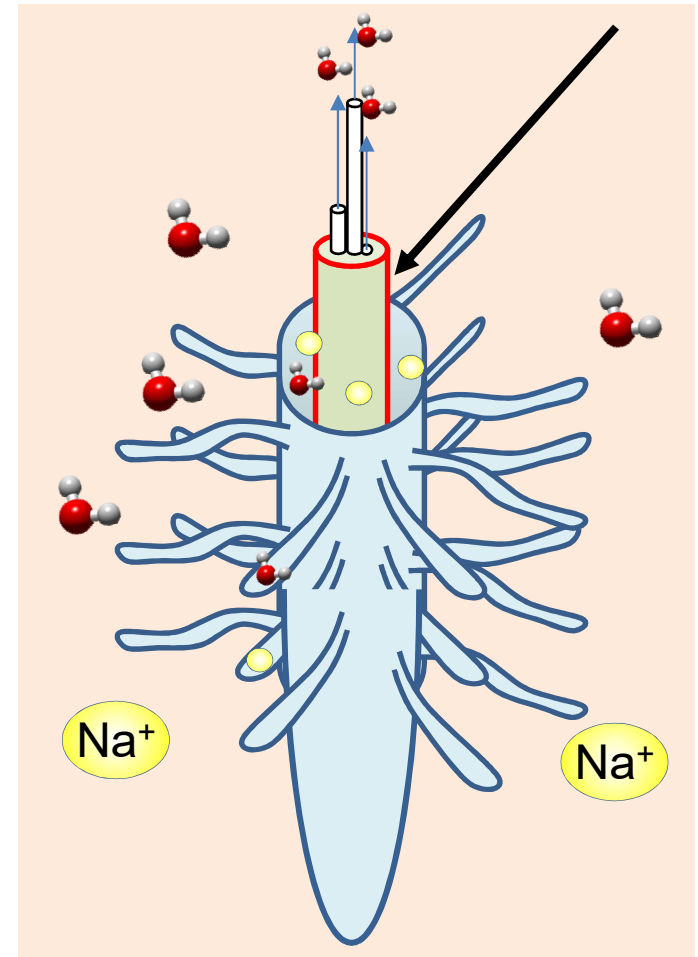
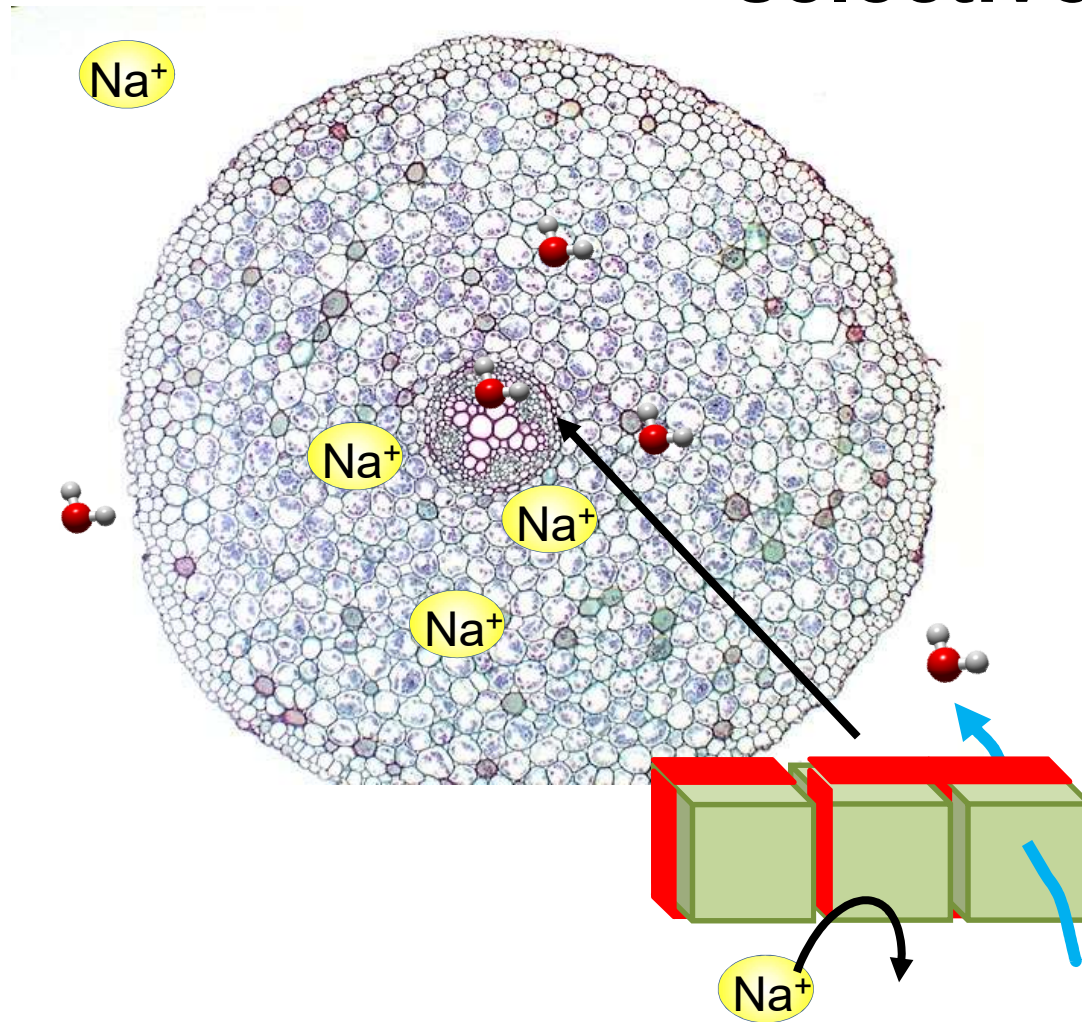
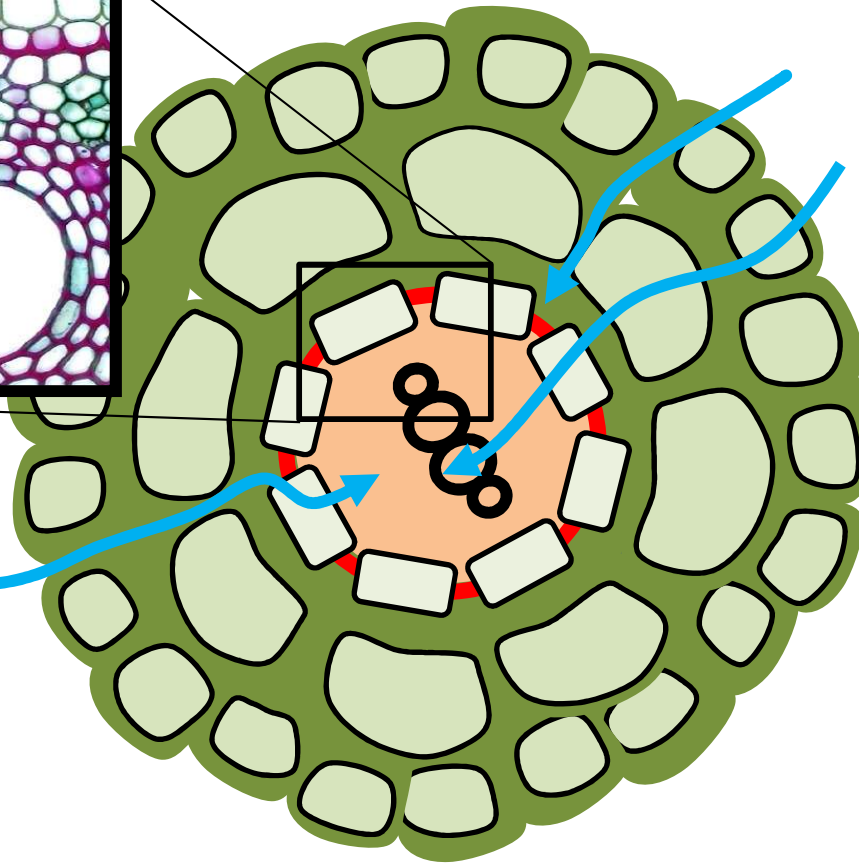
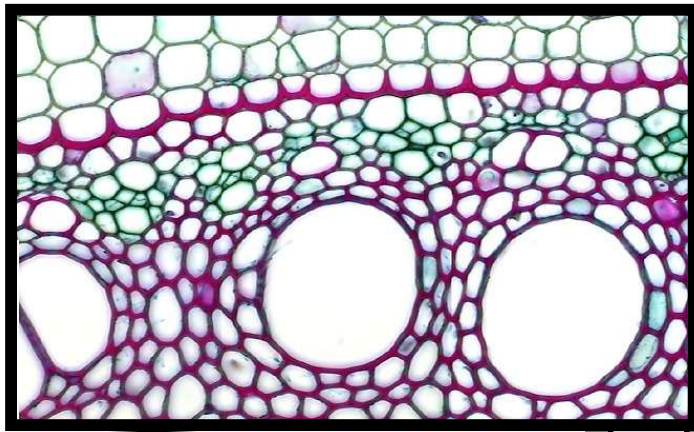


Photo credit [Michael Clayton](#)

La banda de Caspari fuerza al agua a pasar por las MP

El agua puede entrar en la raíz a través del apoplasto hasta que alcanza la banda de Caspari



El agua que es forzada a cruzar una membrana plasmática es filtrada eficazmente

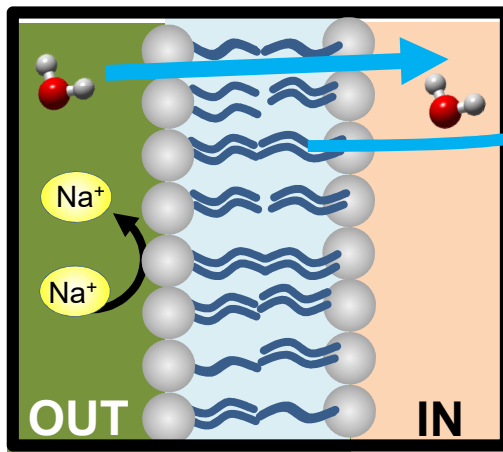
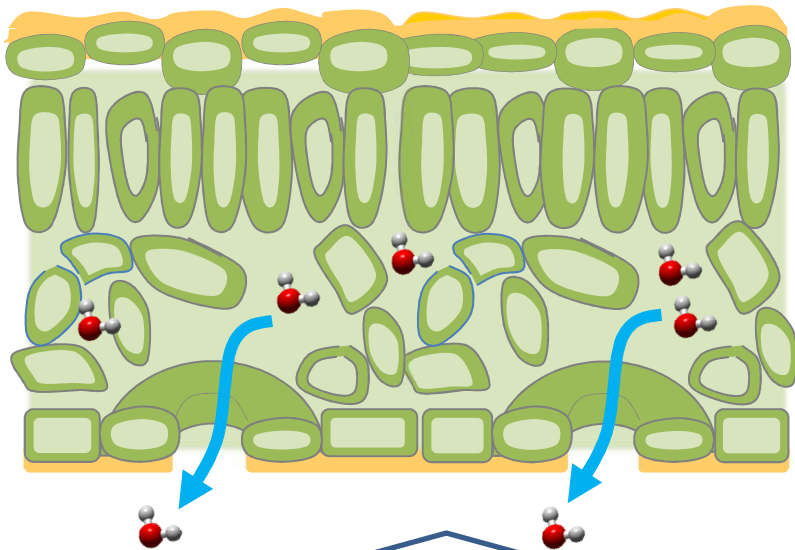


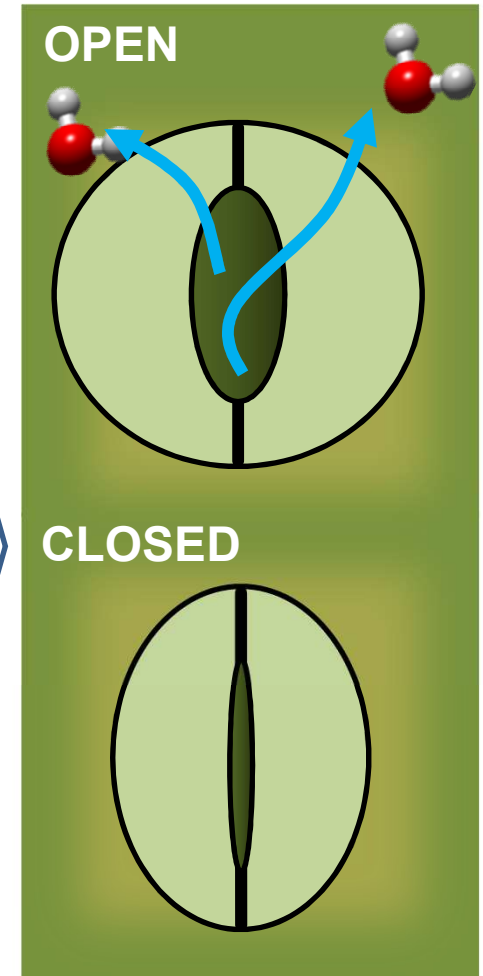
Photo credit [Michael Clayton](#); Adapted from Grebe, M. (2011). Plant biology: Unveiling the Casparian strip. Nature. 473: [294-295](#).

La cutícula previene la pérdida de agua y los estomas pueden regularla

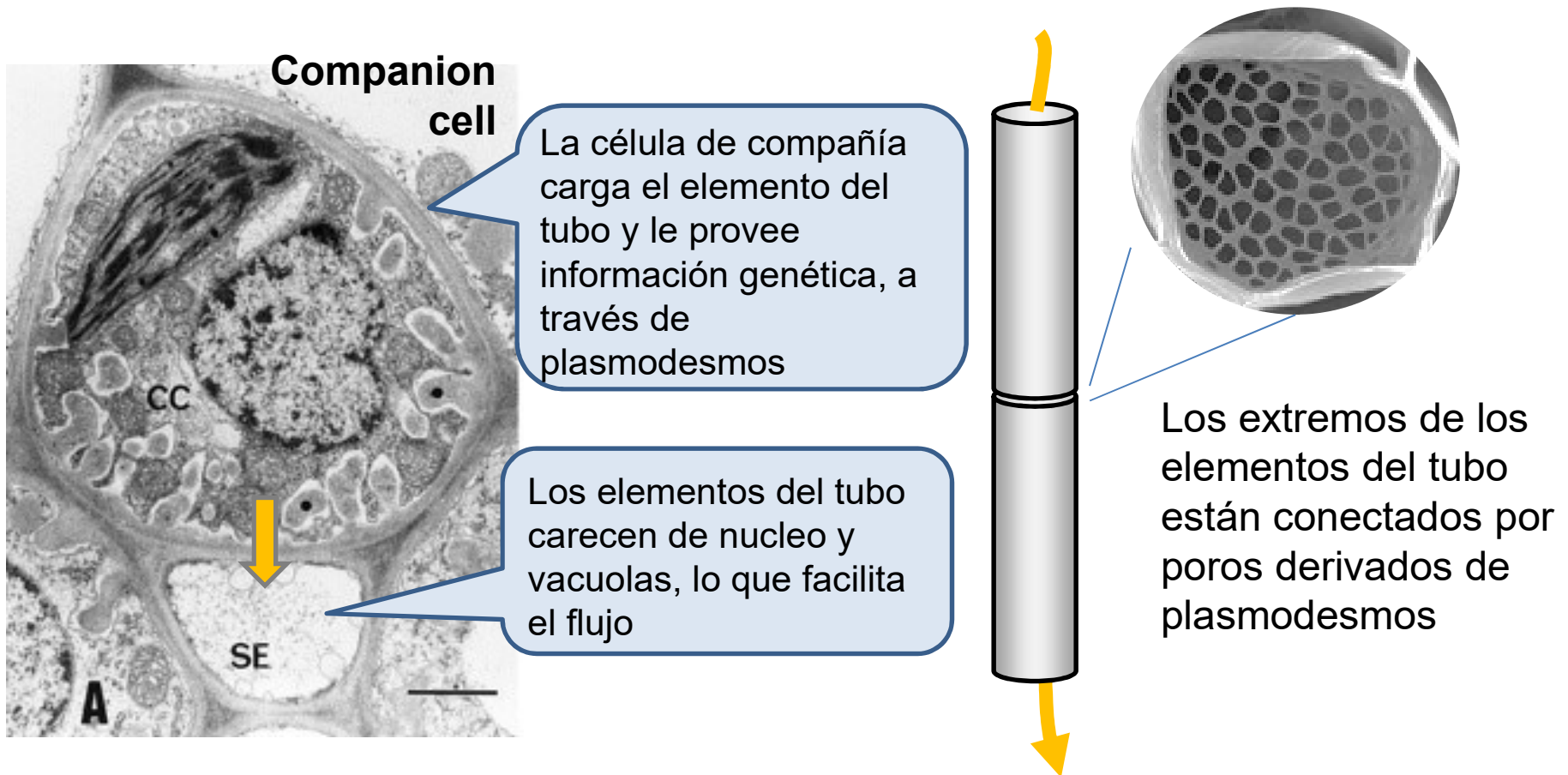


Las superficies aéreas de las plantas están cubiertas por una cutícula cerosa. Los estomas permiten la transpiración.

Las células anexas del estoma cambian su volumen para abrir o cerrar el poro. Son sensibles a las condiciones atmosféricas, y a las necesidades de la planta de intercambio gaseoso y conservación de agua.



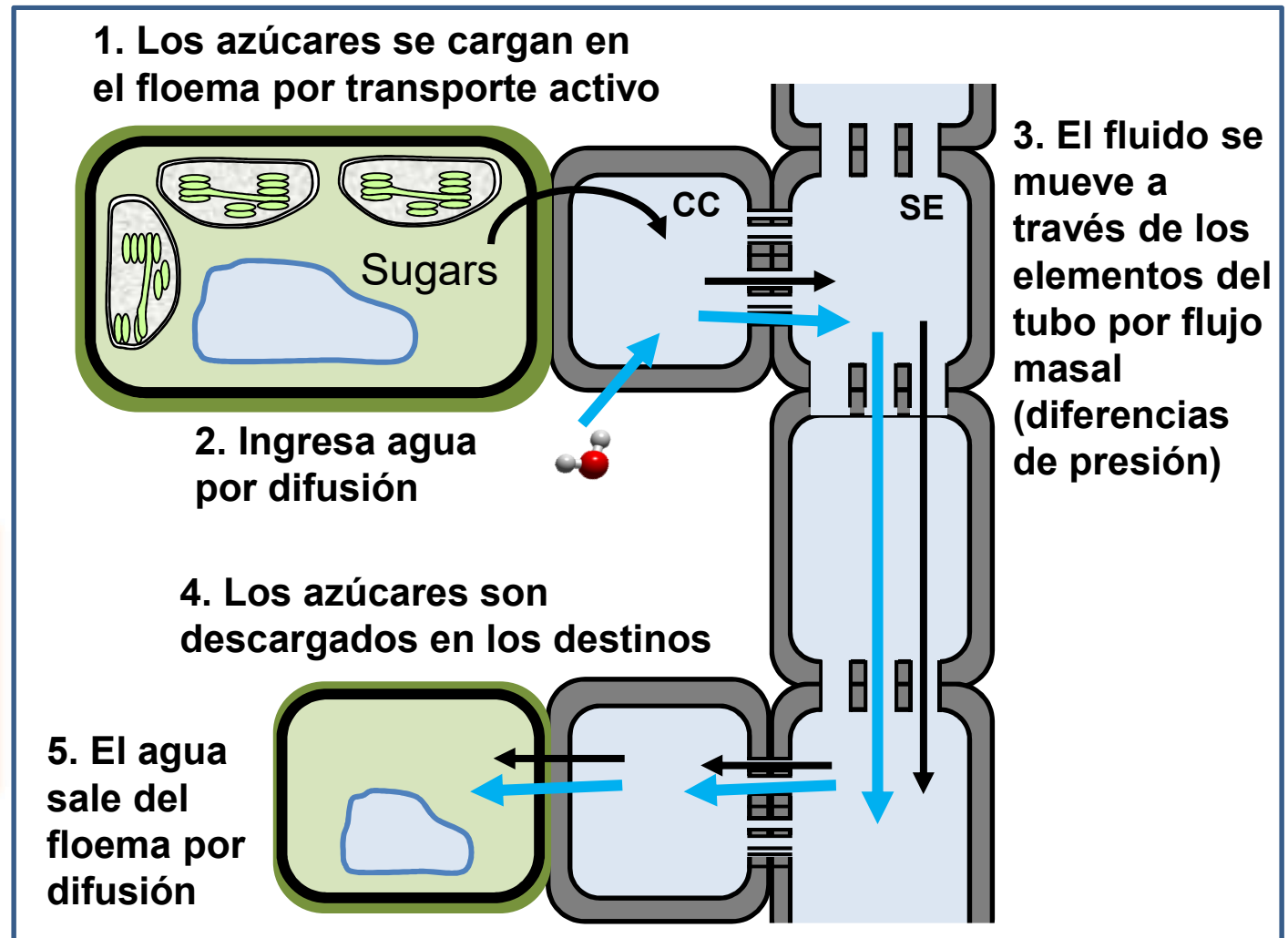
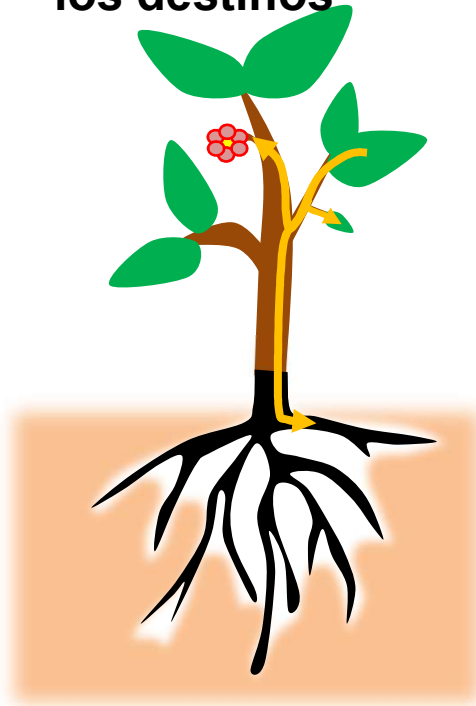
Unidad funcional del floema: elemento del tubo – célula de compañía



Oparka, K.J. and Turgeon, R. (1999). Sieve elements and companion cells—Traffic control centers of the phloem. *Plant Cell*. 11: [739-750](#);
Mullendore, D.L., Windt, C.W., Van As, H. and Knoblauch, M. (2010). Sieve tube geometry in relation to phloem flow. *Plant Cell*. 22: [579-593](#).

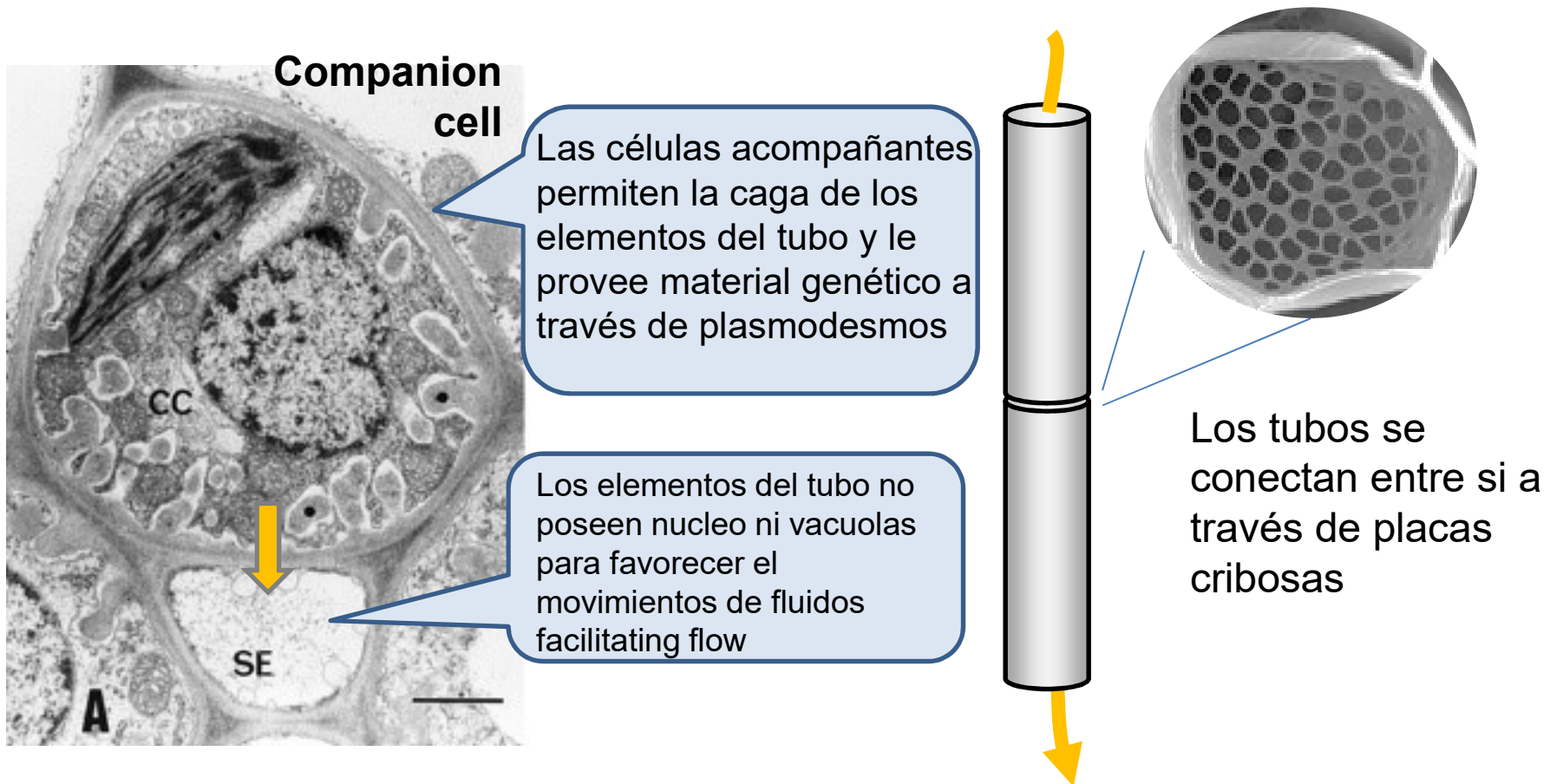
Transporte en el floema

Desde las
fuentes hacia
los destinos



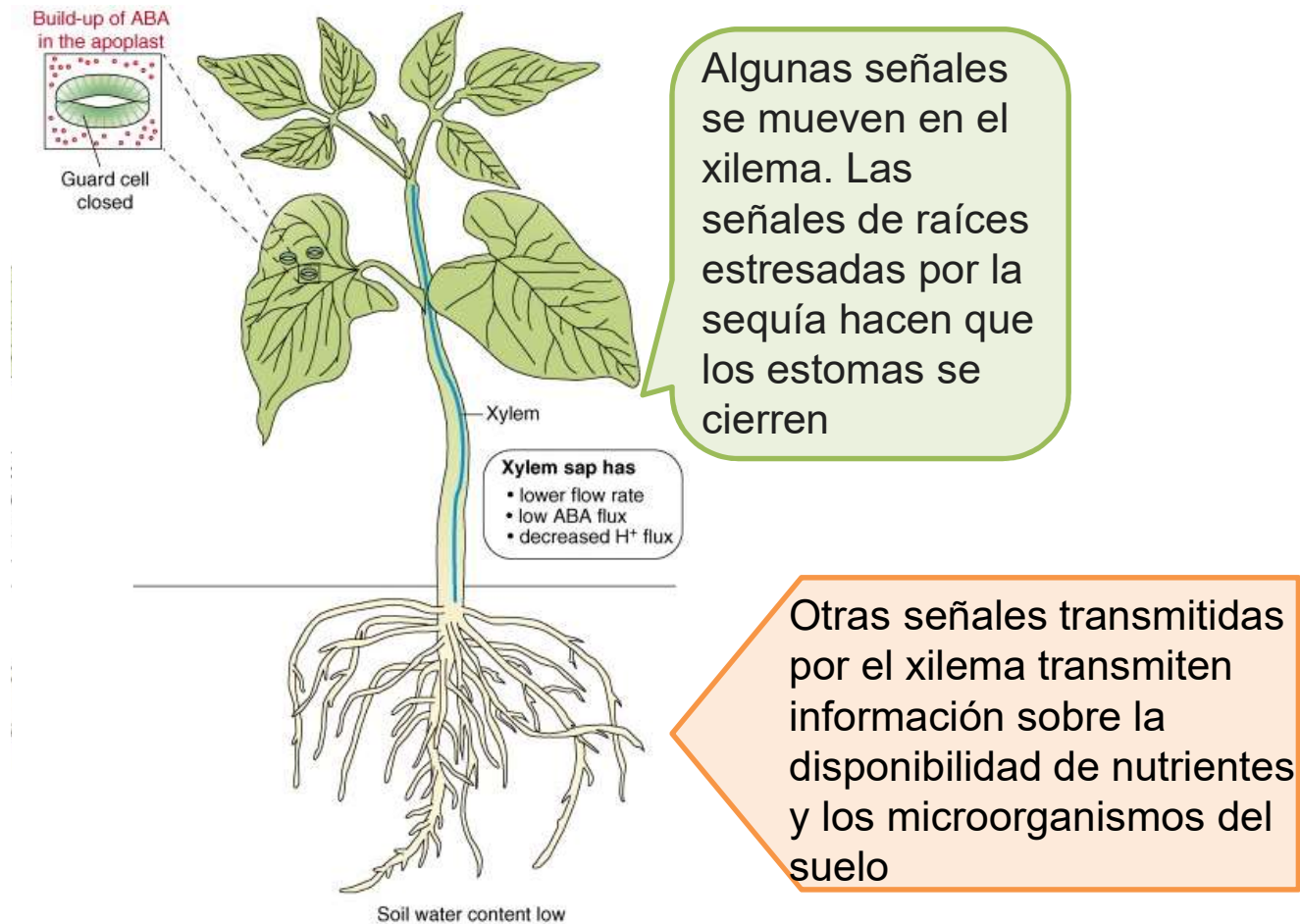
Adapted from Lucas, W.J. et al. (2013). The plant vascular system: Evolution, development and functions. J. Integr. Plant Biol. 55: [294-388](#).

Unidad funcional de floema: elementos del tubo – células acompañantes



Oparka, K.J. and Turgeon, R. (1999). Sieve elements and companion cells—Traffic control centers of the phloem. *Plant Cell*. 11: [739-750](#);
Mullendore, D.L., Windt, C.W., Van As, H. and Knoblauch, M. (2010). Sieve tube geometry in relation to phloem flow. *Plant Cell*. 22: [579-593](#).

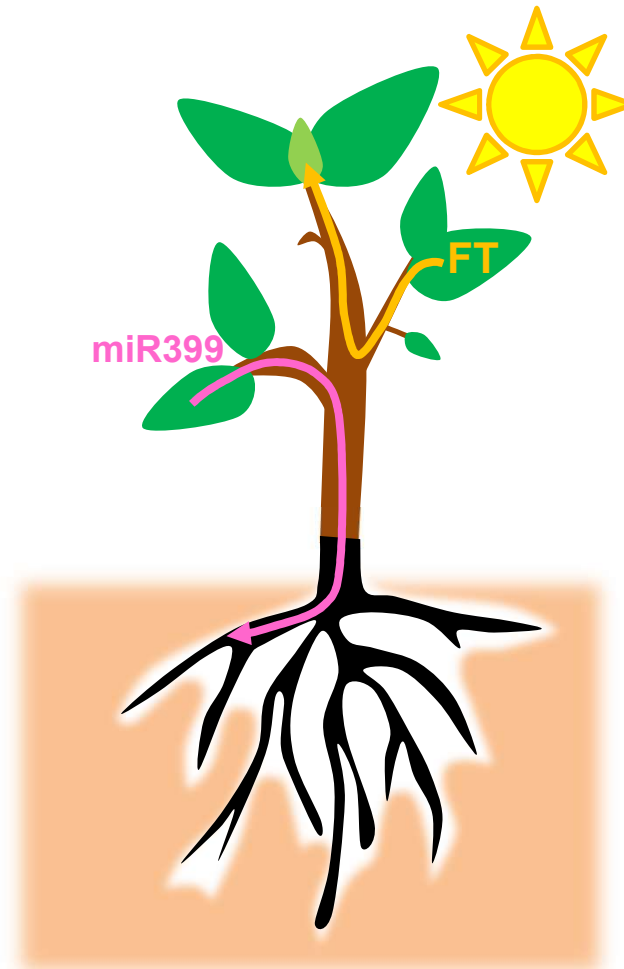
Los tejidos vasculares son esenciales en el flujo de información



Reprinted from Schachtman, D.P. and Goodger, J.Q.D. (2008). Chemical root to shoot signaling under drought. Trends Plant Sci. 13: [281-287](#) with permission from Elsevier; see also Christmann, A., Grill, E. and Huang, J. (2013). Hydraulic signals in long-distance signaling. Curr. Opin. Plant Biol. 16: [293-300](#).

El floema es responsable de la señalización a larga distancia

Corrdinación de las funciones del tallo y la raíz: cuando las hojas se encuentran limitadas por fosfato, un microRNA (miR399) se mueve por el floema hasta las raíces, promoviendo la absorción de fosfato



Floración:

Bajo condiciones apropiadas de fotoperíodo, la proteína FLOWERING LOCUS T (FT) y sus ortólogos se mueven por el floema desde las hojas hacia el ápice y promueven la floración

See for example Chiou, T.-J., et al. (2006). Regulation of phosphate homeostasis by microRNA in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. 18: [412-421](#); McGarry, R.C. and Kragler, F. (2013). Phloem-mobile signals affecting flowers: applications for crop breeding. *Trends Plant Sci.* 18: [198-206](#); Lucas, W.J. et al. (2013). The plant vascular system: Evolution, development and functions. *J. Integr. Plant Biol.* 55: [294-388](#).

Oportunidades y desafíos del ambiente terrestre

>450 millones de años atrás

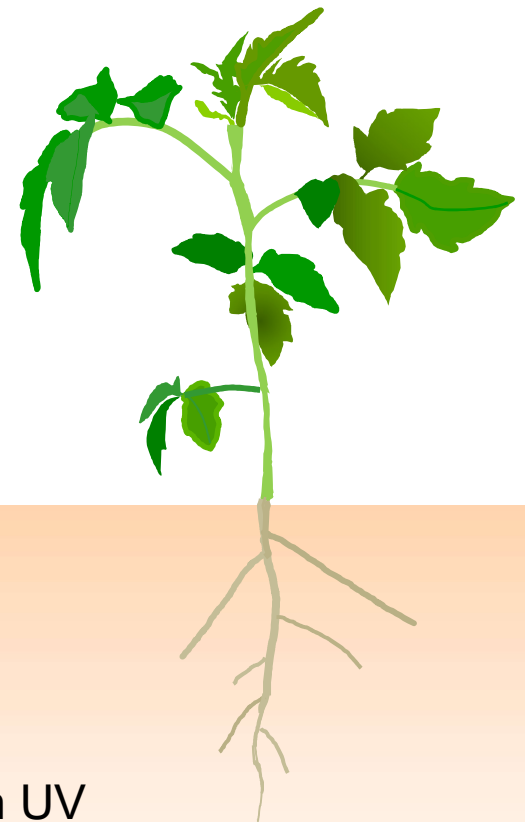
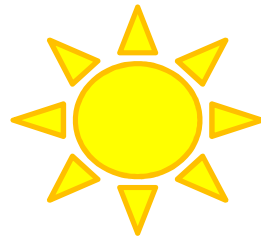
Ambiente acuático

Flotabilidad

Abundante agua

Temperaturas moderadas

Menor cantidad de luz



Ambiente terrestre

No hay flotabilidad

Escasez de agua

Temperaturas extremas

Exceso de luz y radiación UV

Tolerancia o evitación de la desecación, evasión o tolerancia a la sequía



La mayoría de las briofitas pueden tolerar la desecación

La mayoría de las traqueofitas no puede tolerar la desecación



Algunas plantas de desierto son evitadoras de la sequía, pasan la estación seca en forma de semillas. Crecen y se reproducen después de las lluvias



Otras plantas de desierto toleran la sequía a través de adaptaciones como raíces profundas, metabolismo C_4 y hojas pequeñas o ausentes.



Photo credits: Mary Williams; [Amrum](#); [Scott Bauer](#); [James Henderson](#), Golden Delight Honey, Bugwood.org

La mayoría de las traqueofitas evitan la desecación

- Cutículas gruesas
- Control estomático
- Tejidos vasculares lignificados que conducen agua
- Raíces especializadas para la absorción de agua y nutrientes

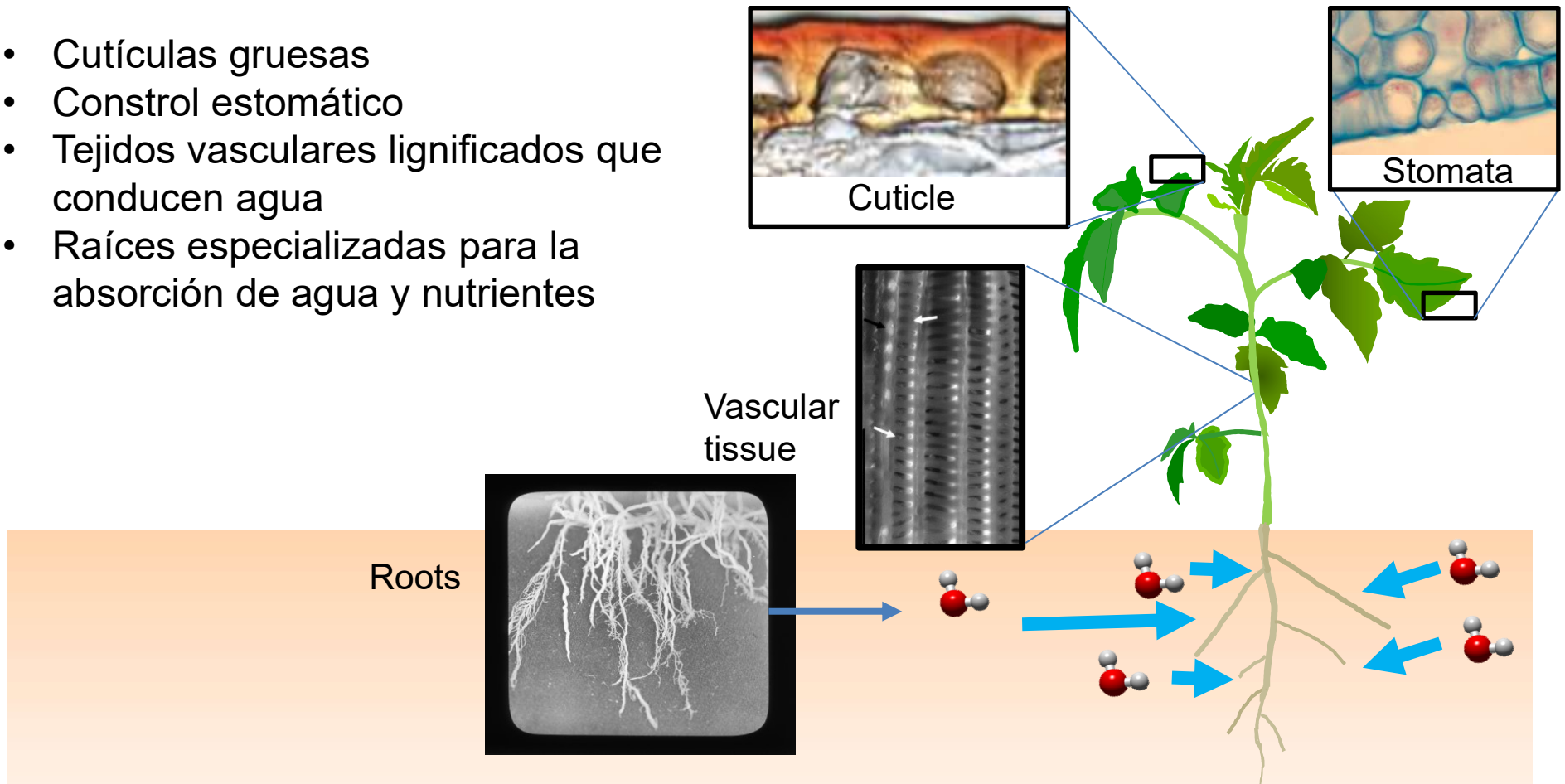


Image sources: B.W. Wells lantern slides, ([UA023.039](#)) NCSU Libraries, [Yvan Lindekens](#); Girard, A.-L., et al., (2012). Tomato GDSL1 is required for cutin deposition in the fruit cuticle. *Plant Cell*. 24: [3119-3134](#); Reprinted from Li, H.-F., et al. (2011). Vessel elements present in the secondary xylem of *Trochodendron* and *Tetracentron* (Trochodendraceae). *Flora*. 206: [595-600](#) with permission from Elsevier.

Las plantas pueden sobrevivir en la mayor parte de la tierra

Arctic



Mountain



Antarctic



Desert

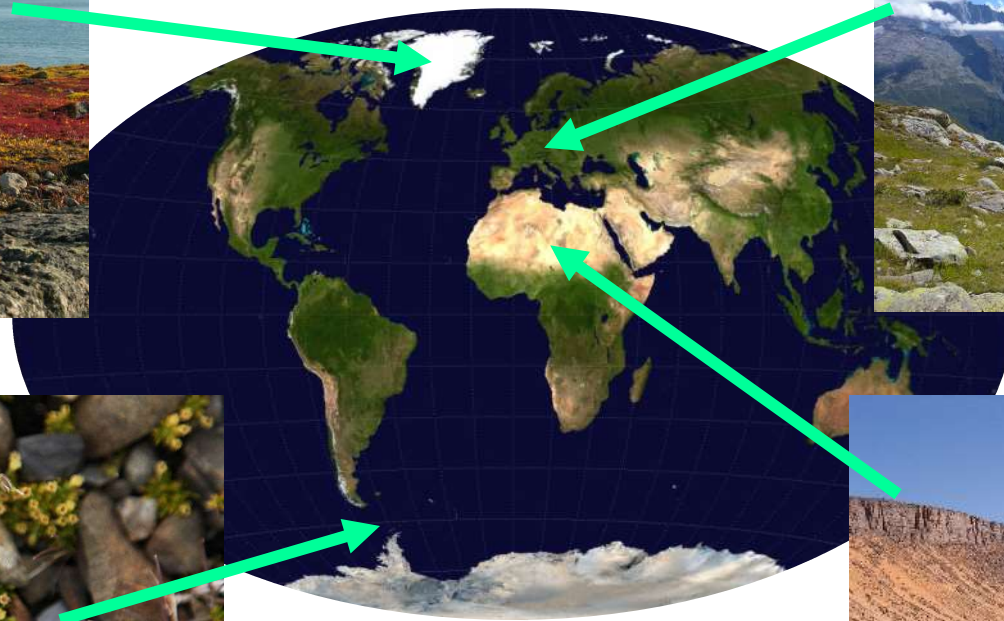
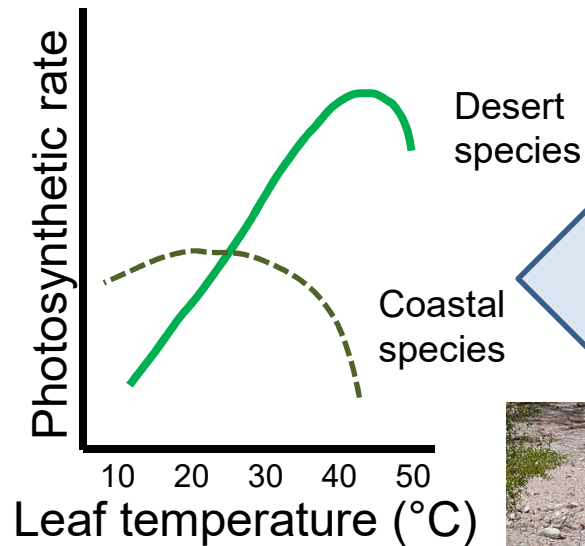


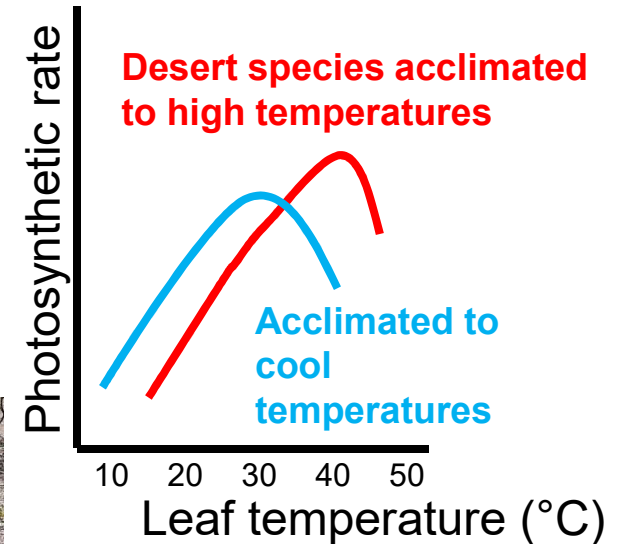
Photo credits: [Hannes Grobe](#), AWI; [Gnomefilliere](#); [Liam Quinn](#); [Florence Devouard](#)

Las plantas se pueden adaptar y aclimatar a temperaturas extremas



Algunas plantas han evolucionado para tolerar altas temperaturas

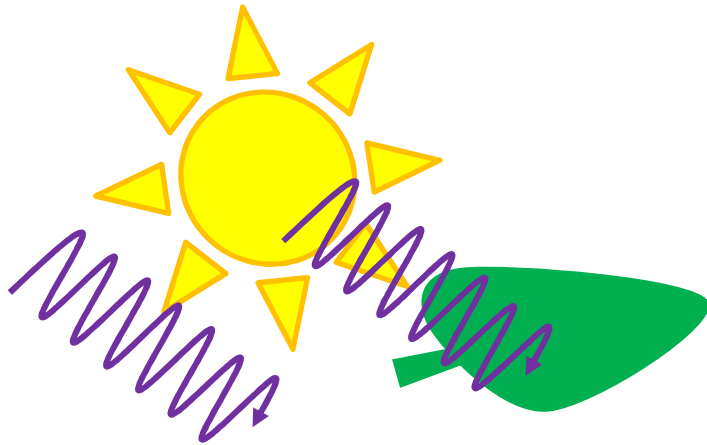
Larrea tridentata, planta del desierto termotolerante



La mayoría de las plantas pueden aclimatare a temperaturas más altas o más bajas, detectando y respondiendo a un cambios de temperatura

Adapted from Berry, J., and Björkman, O. (1980). Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 31: 491 – 543. Photo credit [Sue in Az](#)

Efectos dañinos del exceso de luz

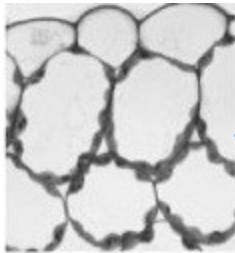


La orientación vertical minimiza la interceptación de luz al medio día



Los pigmentos fotoprotectores protegen la maquinaria fotosintética

0 h



Cuando hay demasiada luz los cloroplastos se pueden mover para evitar la captura de exceso de luz

12 h

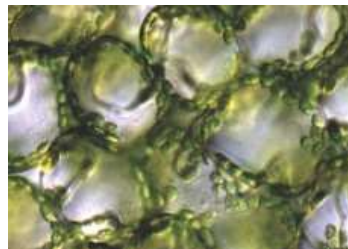
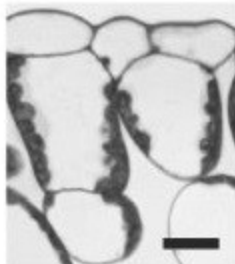


Image credits: [Dennis Haugen](#), Bugwood.org; [Tomas Sobek](#); Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd from Kasahara, M., Kagawa, T., Oikawa, K., Suetsugu, N., Miyao, M. and Wada, M. (2002). Chloroplast avoidance movement reduces photodamage in plants. *Nature*. 420: [829-832](#).



Resumen

Las plantas necesitan energía lumínica, agua, nutrientes y CO_2 .

Las plantas vasculares debieron adaptarse a condiciones de baja disponibilidad de agua, temperaturas extremas y exceso de radiación para sobrevivir.

Image credit: [Forest & Kim Starr](#), Starr Environmental, Bugwood.org