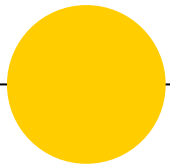




Control del crecimiento y desarrollo en plantas: rol de las auxinas





Contenido

Características generales de las plantas y sus adaptaciones a la vida terrestre.

Las hormonas y el control del crecimiento y desarrollo.

Descubrimiento de las auxinas y función.

Auxinas: síntesis, transporte y señalización.

Visualización de la acumulación o percepción de las auxinas.

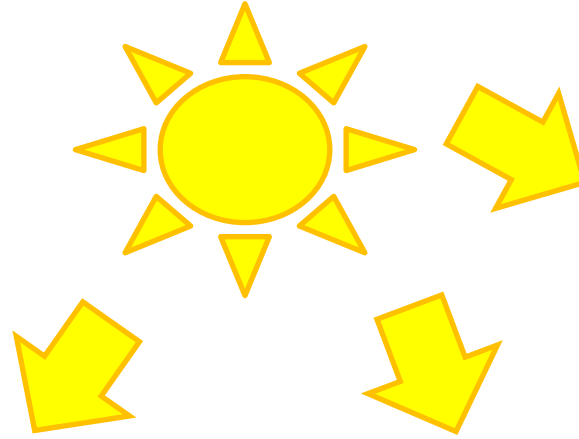


Evolución de las plantas: adaptaciones al hábitat terrestre.

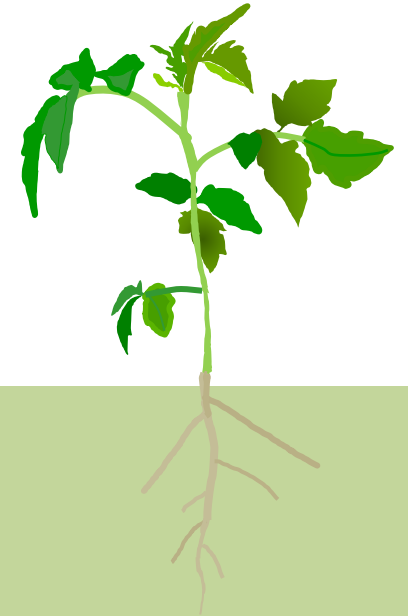
Terrestres:
con adaptaciones a la vida terrestre
pero con ancestros acuáticos.

Multicelulares:
células con
diferentes funciones
y roles integrados

Fotosintéticos:
Pueden convertir
energía solar en
energía química



300-350 ma de evolución

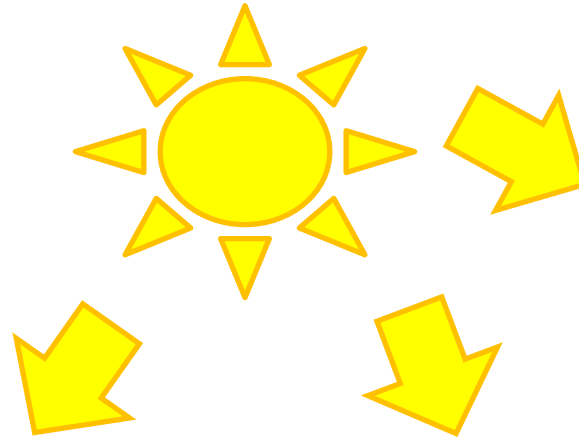




Desafíos del hábitat terrestre.

Ambiente acuático:

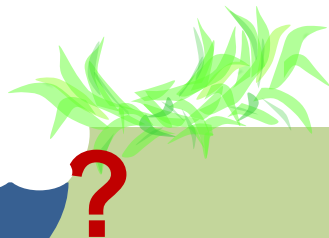
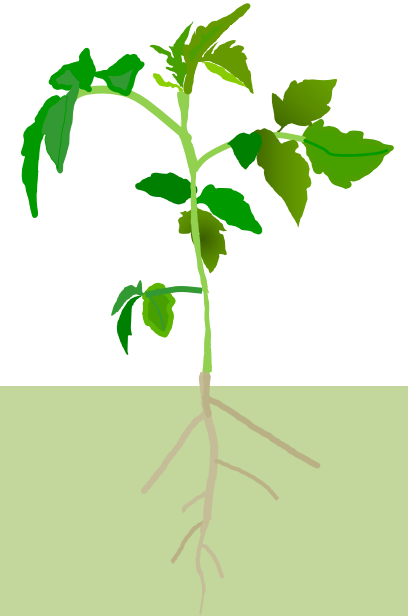
agua ilimitada,
temperaturas moderadas,
luz filtrada,
flotabilidad



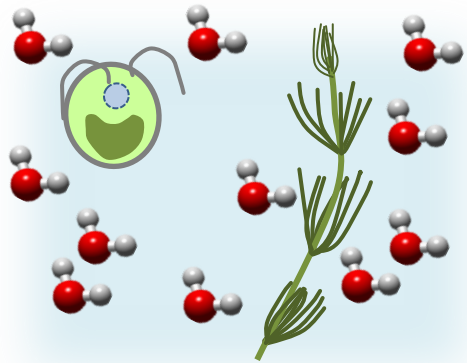
Ambiente terrestre

escasa disponibilidad de agua
temperaturas extremas
luz extrema, incluyendo UV
sesilidad

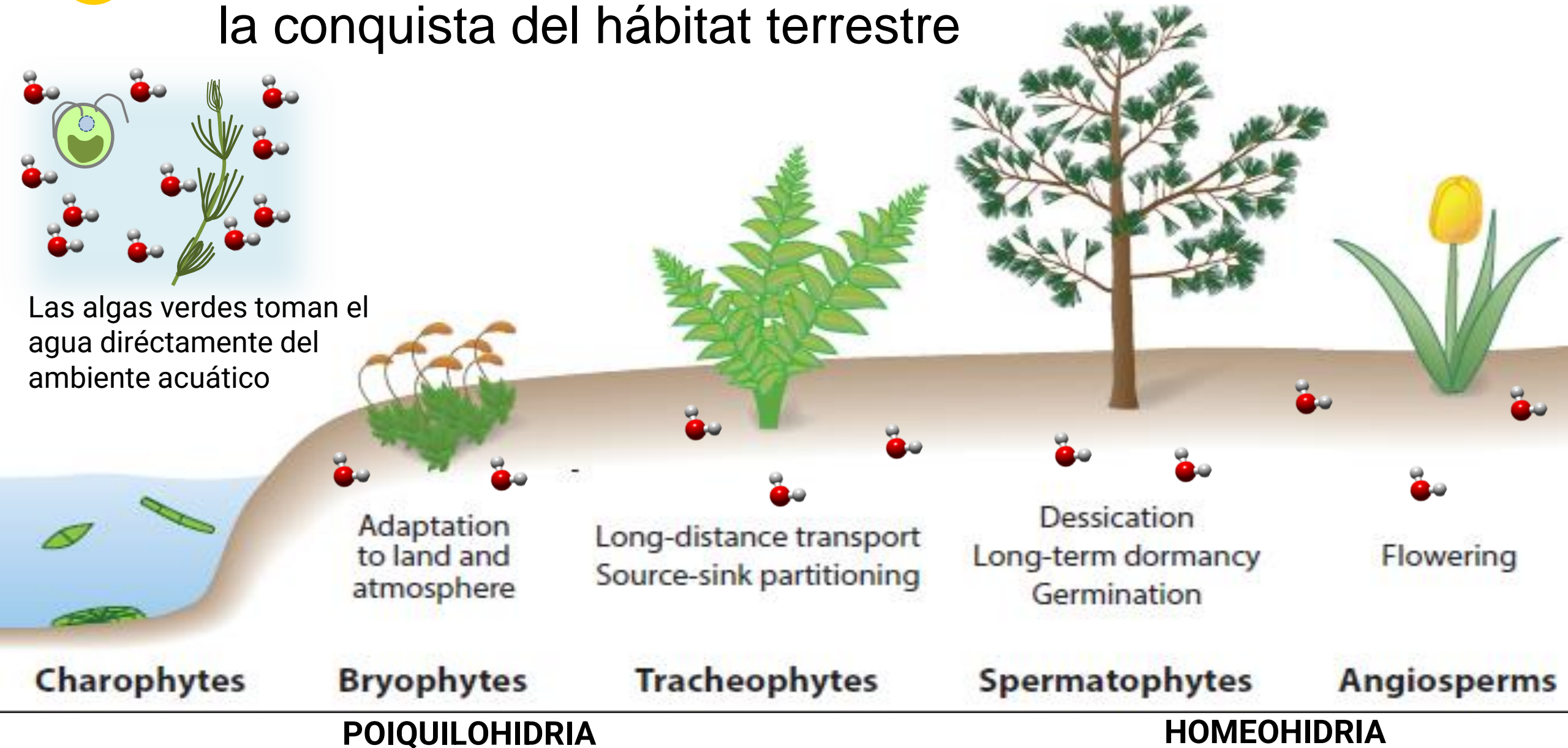
300-350 ma de evolución



Principales transiciones evolutivas y la conquista del hábitat terrestre



Las algas verdes toman el agua directamente del ambiente acuático



Charophytes

Bryophytes

Tracheophytes

Spermatophytes

Angiosperms

POIQUILOHIDRIA

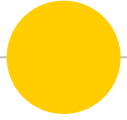
HOMEOHIDRIA

Adaptation to land and atmosphere

Long-distance transport
Source-sink partitioning

Dessication
Long-term dormancy
Germination

Flowering



Crecimiento a partir de meristemas.

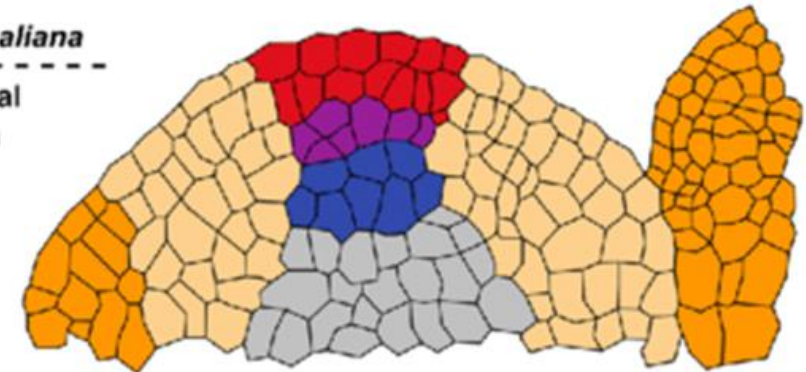
A diferencia de los animales, la identidad de las células vegetales no depende de linajes celulares, depende de su posición e interacción con otras.

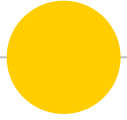
En las condiciones apropiadas, la mayoría de las células vegetales son totipotentes.



Arabidopsis thaliana

shoot apical meristem (SAM)





Las plantas no tienen células móviles.

Migración celular durante el desarrollo?

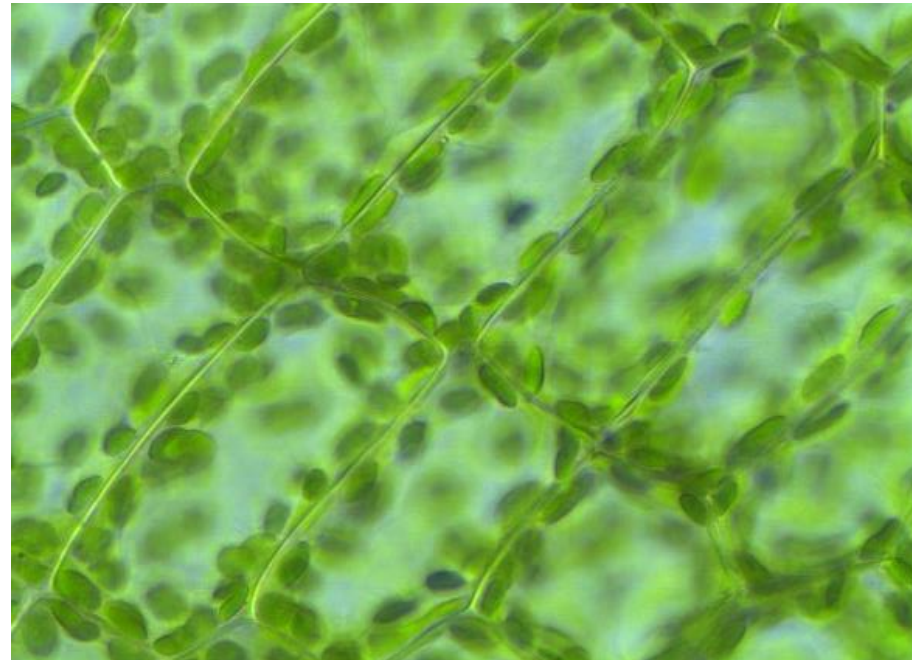
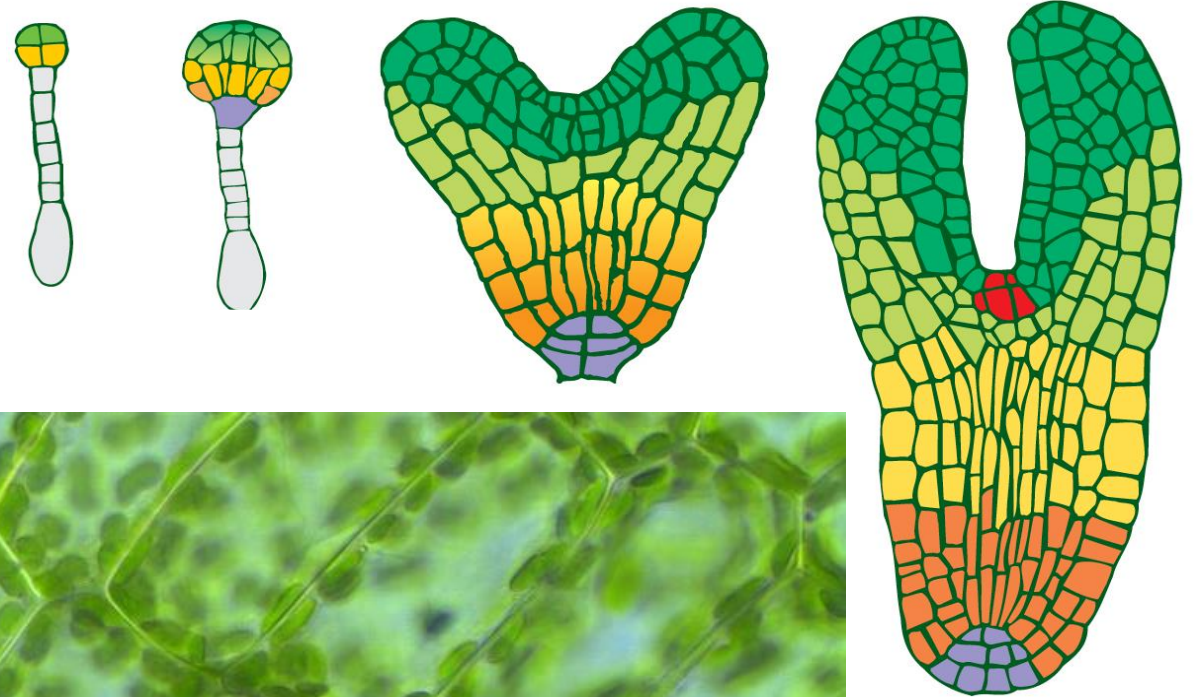


(La diferenciación de las células depende del contexto en el cual se encuentra un tipo celular, no de linajes celulares)

Sistema circulatorio con células?

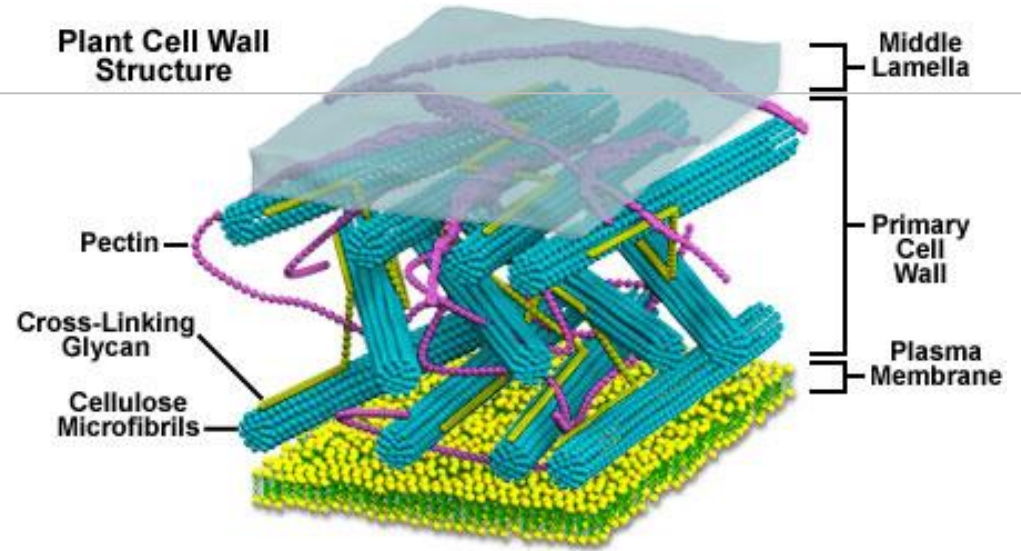


Células móviles especializadas para la defensa?





Consecuencias de tener pared celular

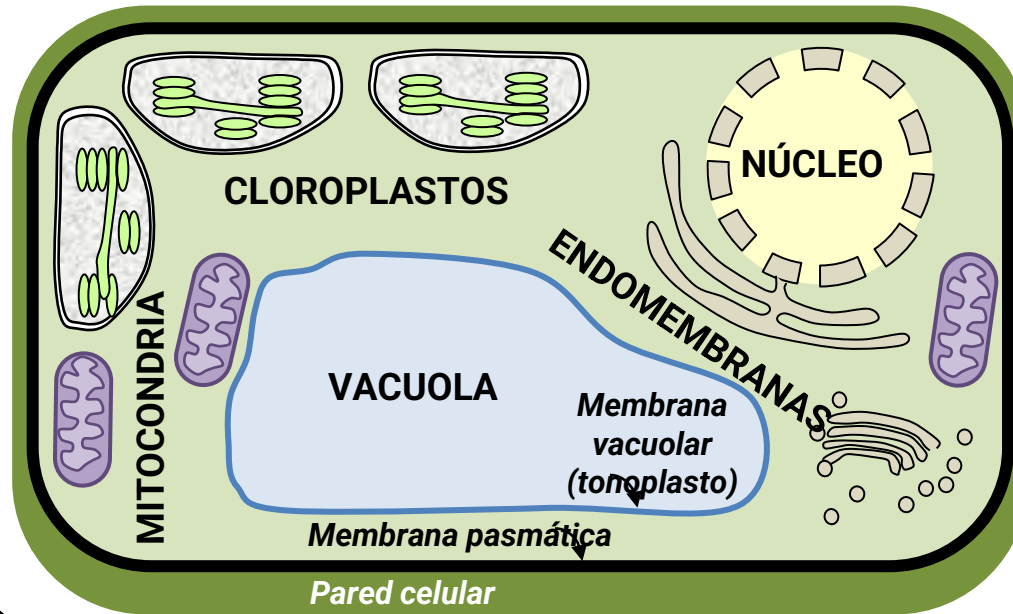


¿Cómo se diferencian las células?

¿Cómo crecen?

¿Cómo se comunican?

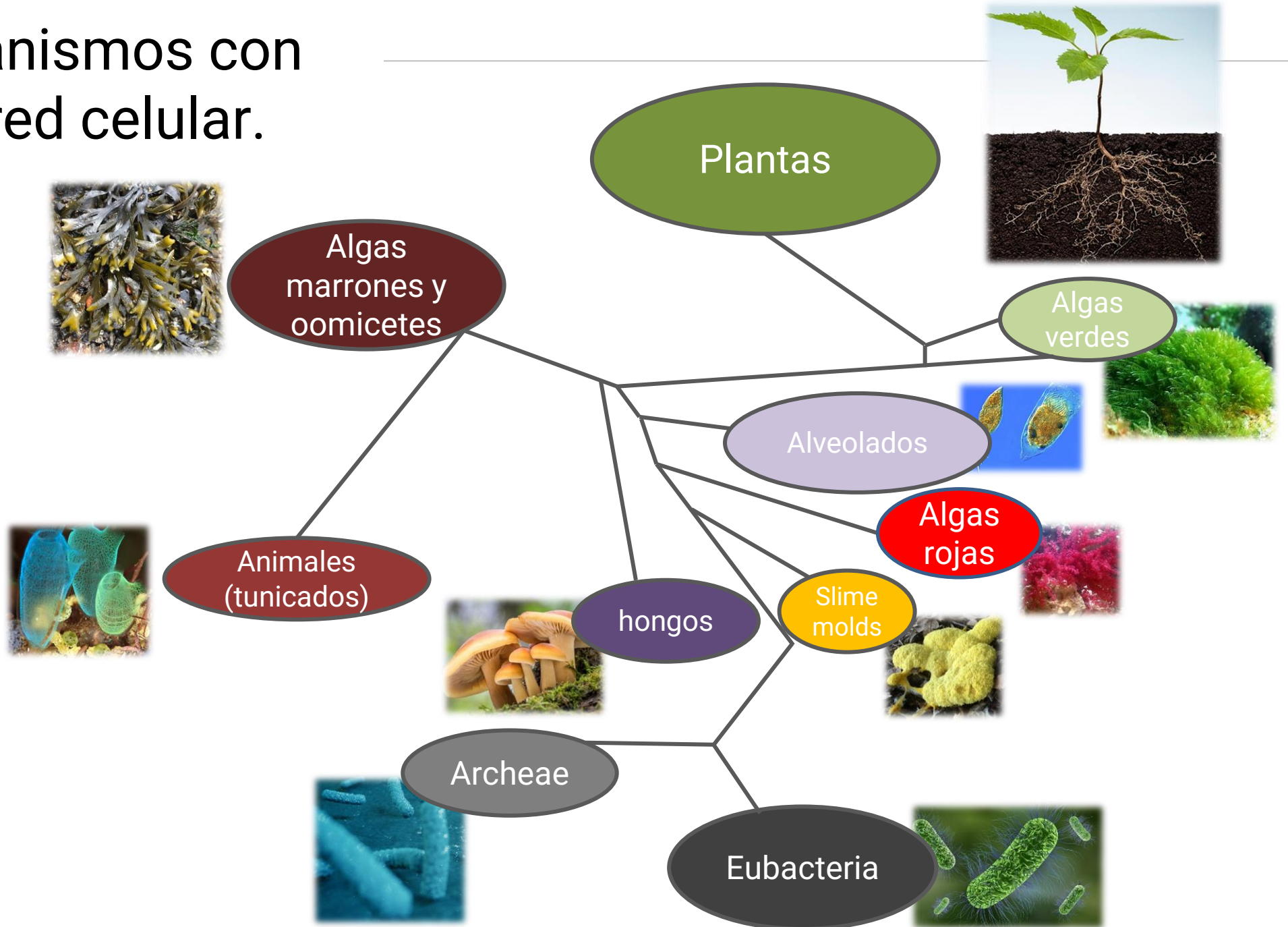
¿Cómo se defienden?

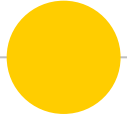


INMOVILIDAD

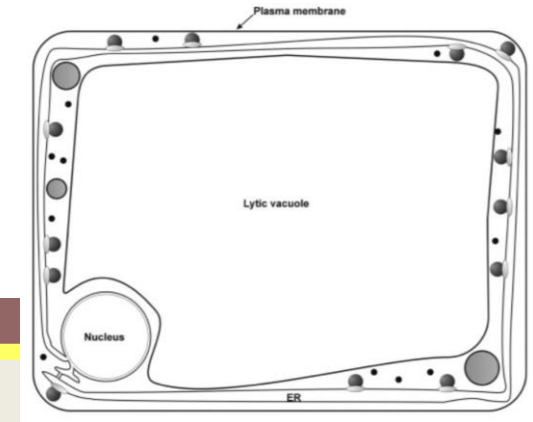
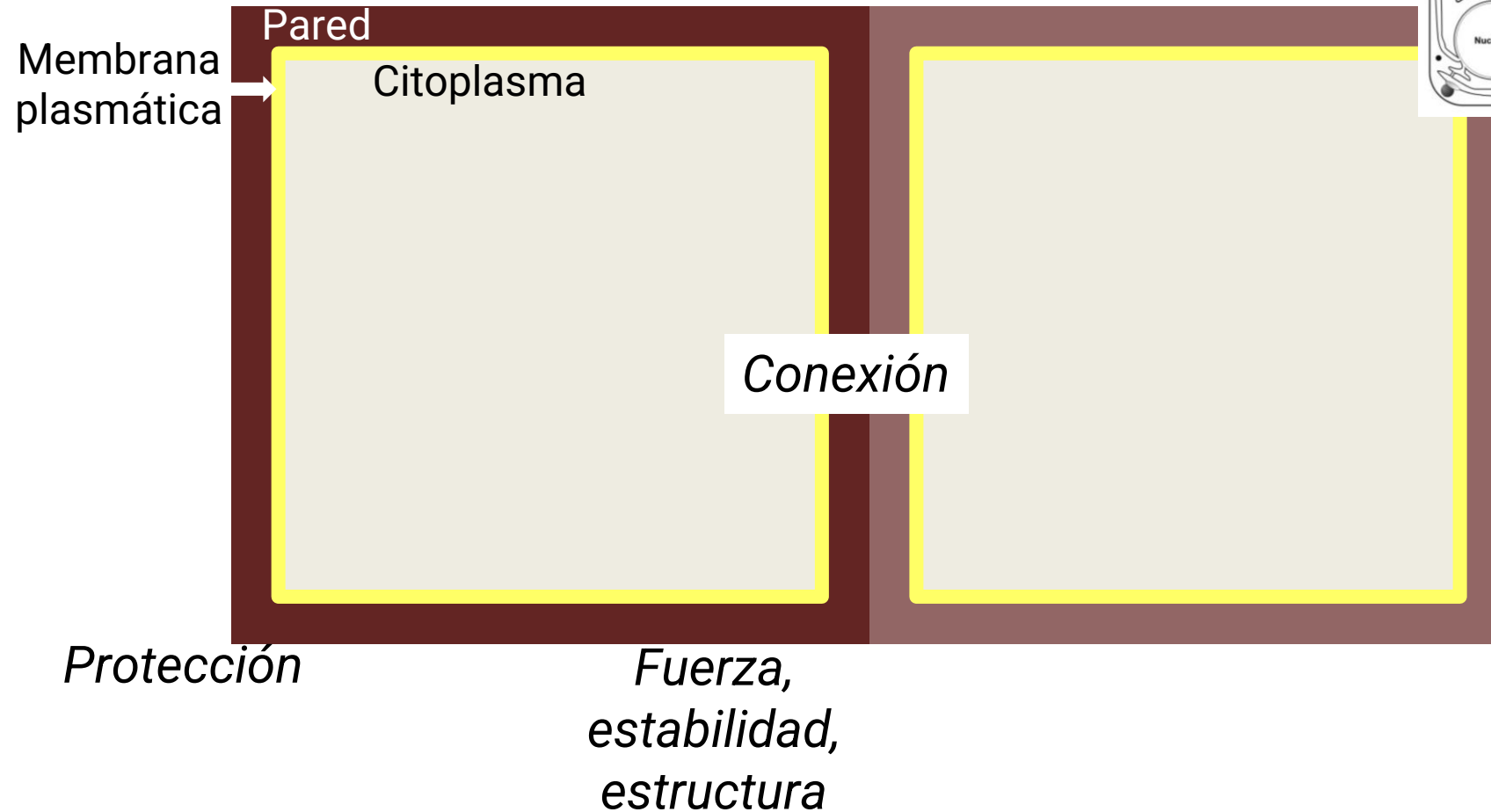


Organismos con pared celular.



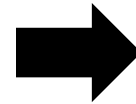
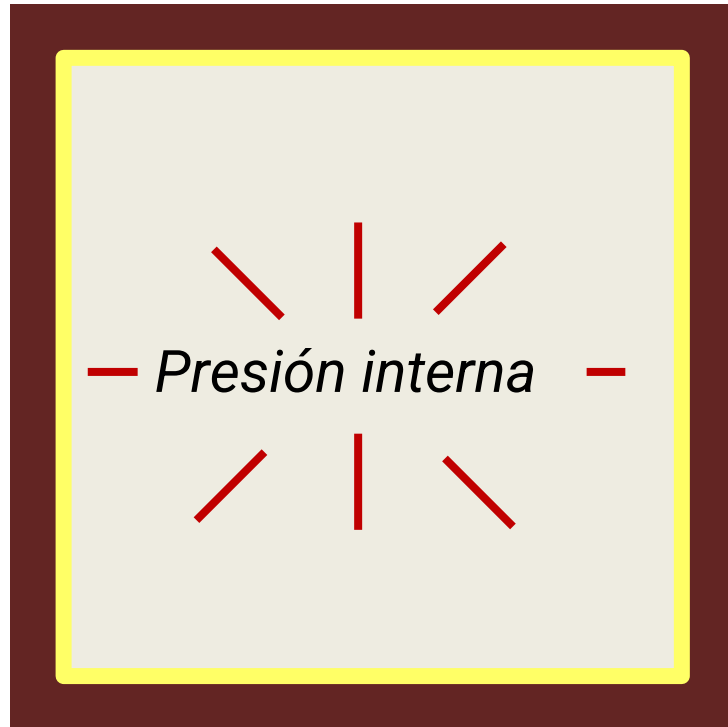


Funciones de la pared celular.



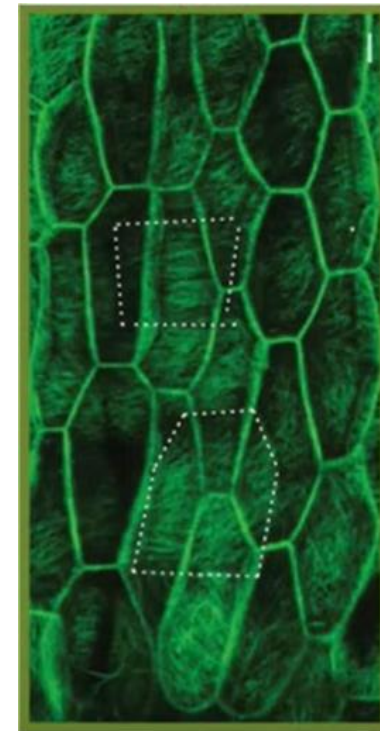
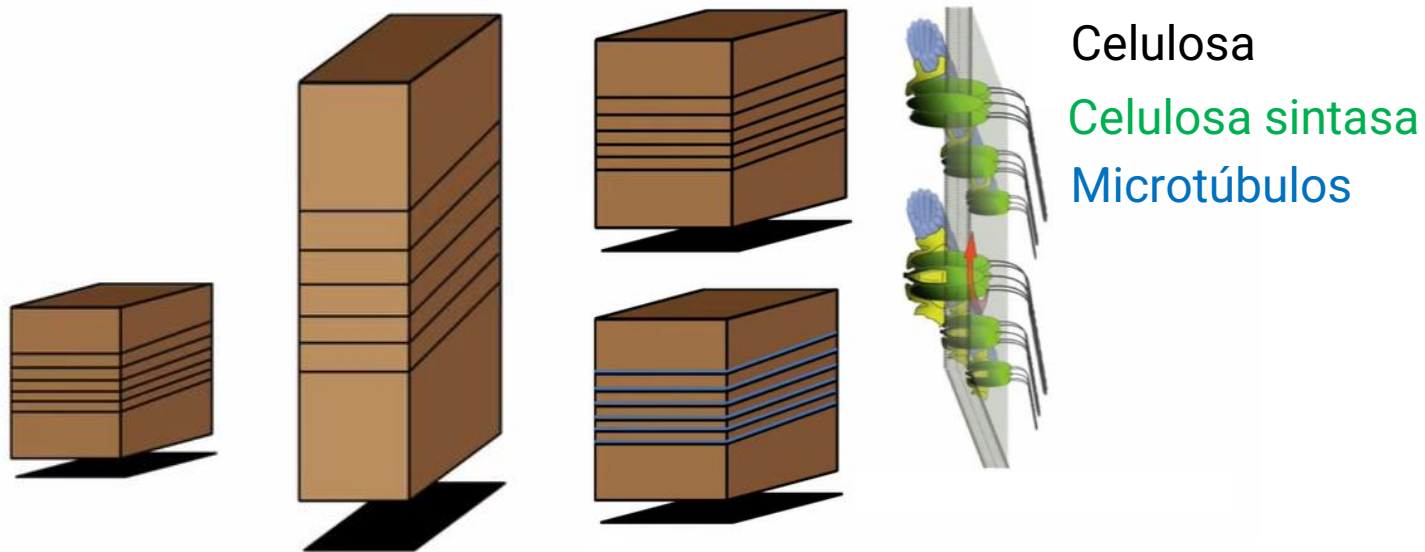


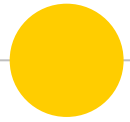
La pared celular
condiciona el tamaño de
las células.



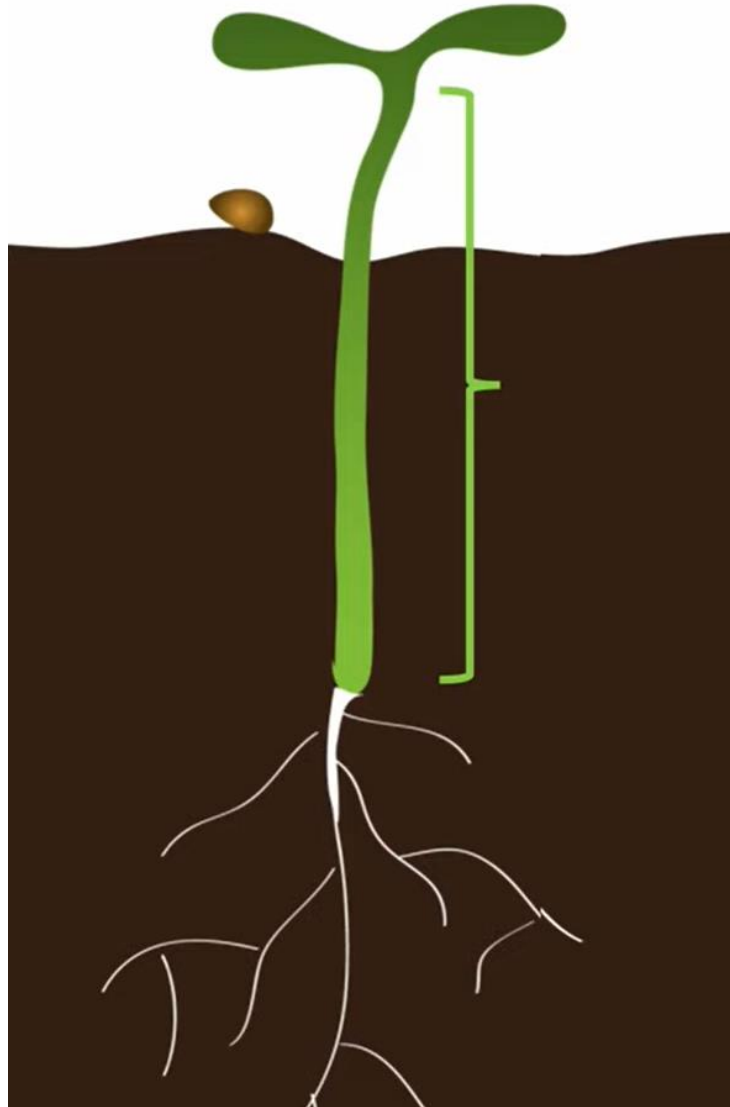


La dirección de las fibras de celulosa y la elasticidad de la matriz de pectina determinan la dirección de la expansión celular.





¿Por qué es importante el crecimiento anisotrópico?



Crecimiento direccionado:

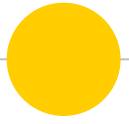
Germinación en oscuridad, expansión de células del hipocótilo hasta alcanzar la luz

<https://www.ibiology.org/plant-biology/cell-wall/>

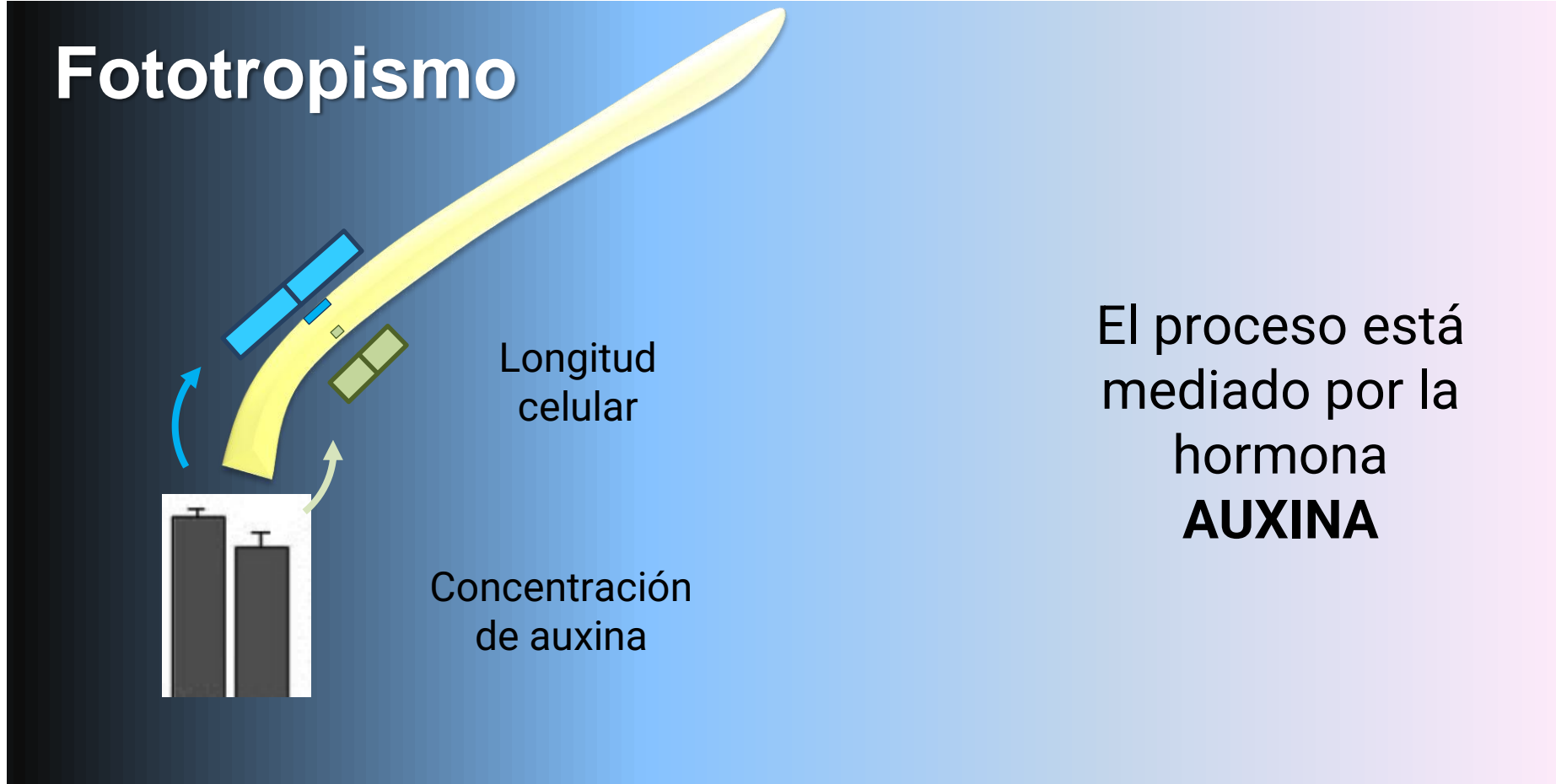


- La expansión celular regula patrones de crecimiento como el gravitropismo y el fototropismo.

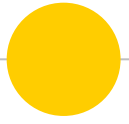




El movimiento hacia la luz es el resultado del crecimiento (división y expansión celular) diferencial.



Esmon, C.A. et al. (2006) A gradient of auxin and auxin-dependent transcription precedes tropic growth responses. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103: [236-241](#). Friml, J., et al. (2002) Lateral relocation of auxin efflux regulator PIN3 mediates tropism in *Arabidopsis*. Nature 415: [806-809](#).



El movimiento hacia la luz es el resultado del crecimiento (división y expansión celular) diferencial.

Fototropismo

Longitud celular

Concentración de auxina

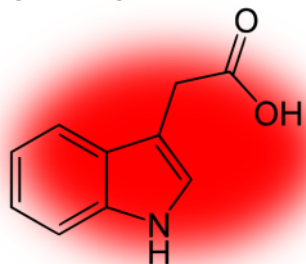
La acumulación de auxina en la cara oscura estimula la elongación y la curvatura

a

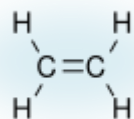


Las hormonas son los factores intrínsecos principales que regulan el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

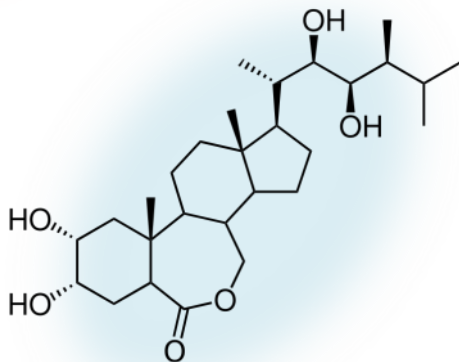
Auxina



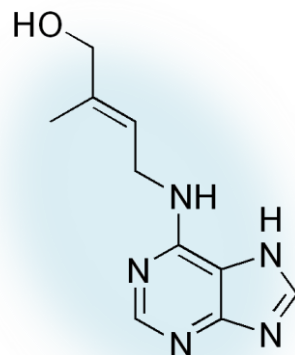
Etileno



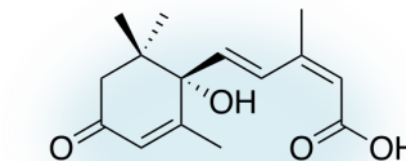
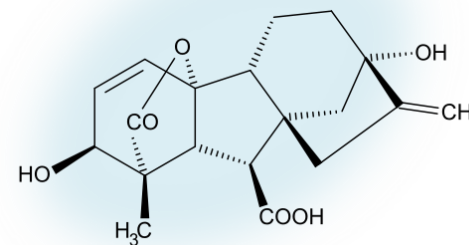
Brassinosteroides



Citoquininas

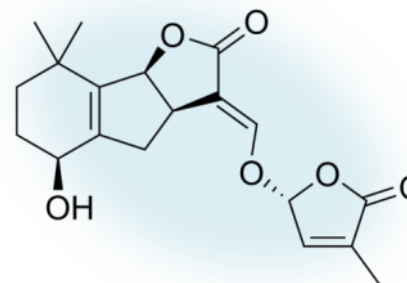


Giberelinas

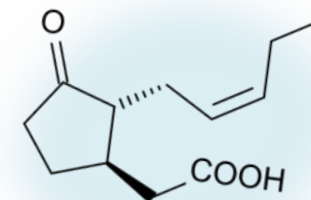


Ácido Abscísico

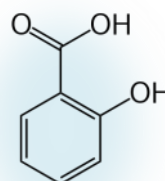
Strigolactonas



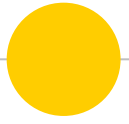
Jasmonatos



Salicilatos



Péptidos pequeños



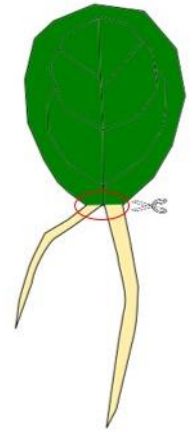
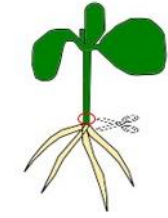
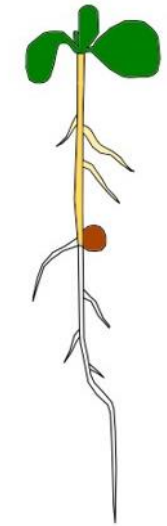
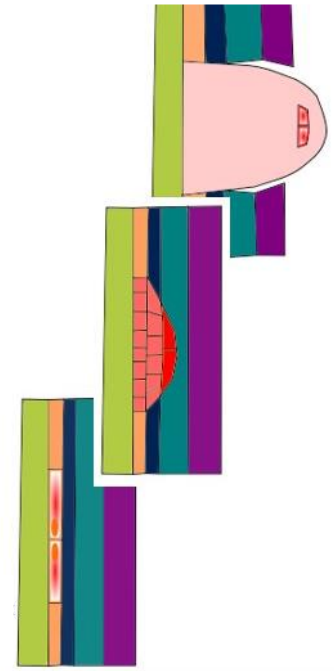
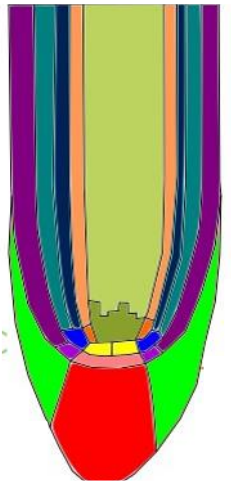
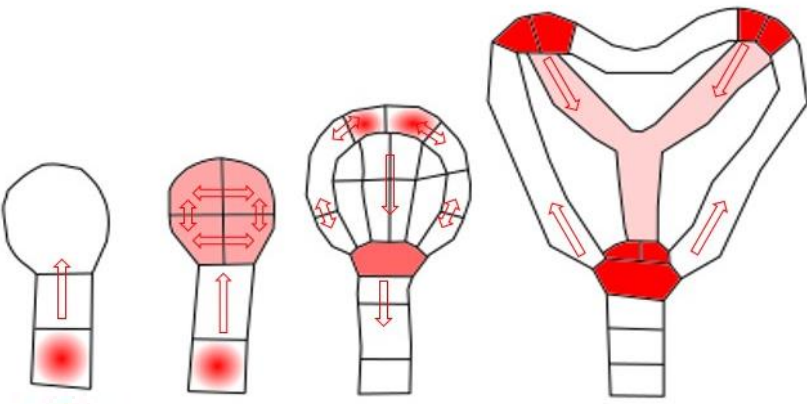
Auxinas.

Desarrollo del embrión

Raíz primaria

Desarrollo de raíces laterales

Desarrollo de raíces adventicias



Etiolated seedlings

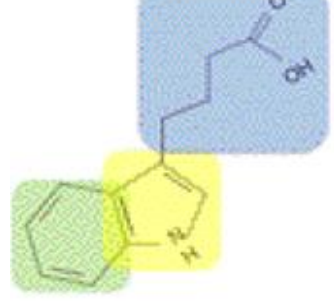


- = Transporte AUX
- = Biosíntesis AUX
- = Máximo AUX

Ácido Indol Acético (IAA)

Ácido Indol Butírico (IBA)

- benceno
- anillo pirrol
- anillo carboxílico

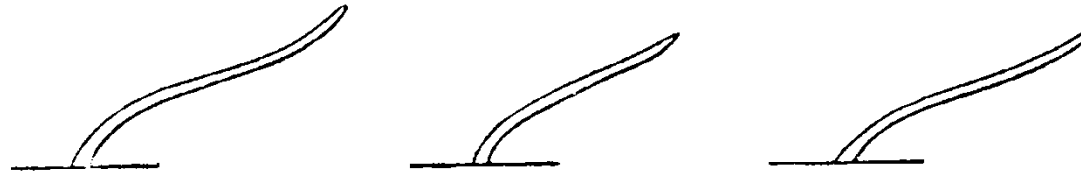


- Primera hormona en ser descripta.
- Promueve la expansión de las células (rol en tropismos), el desarrollo de la raíz, la dominancia apical, etc.
- El IAA es la auxina más abundante y fisiológicamente relevante.
- Se sintetiza en meristemas, hojas jóvenes, frutos en desarrollo y semillas.

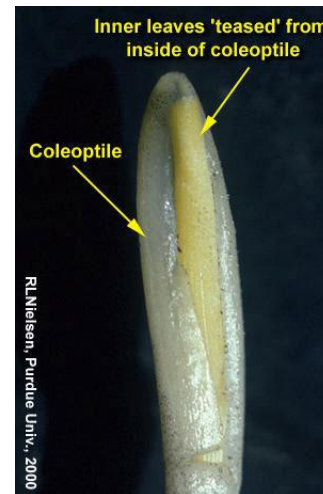
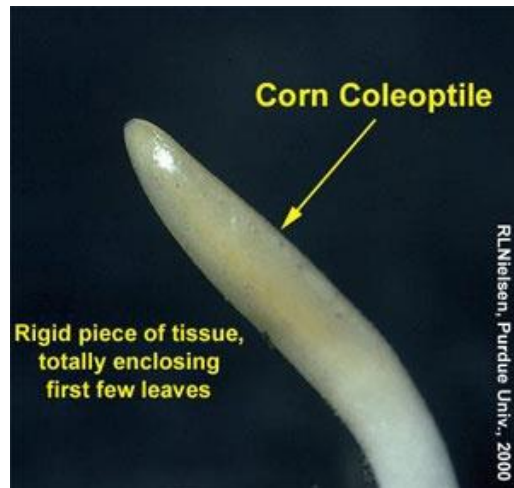


Descubrimiento de las auxinas.

Charles Darwin (1890s): estudio del fototropismo



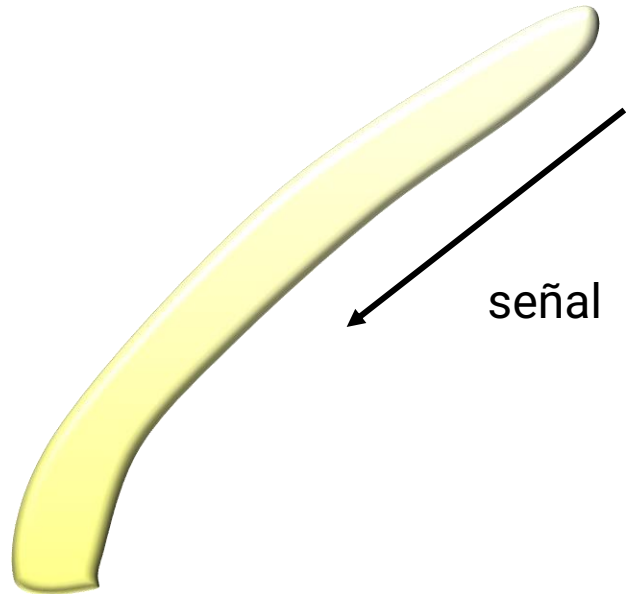
Phalaris Canariensis: cotyledons after exposure in a box open on one side in front of a south-west window during 8 h. Curvature towards the light accurately traced. The short horizontal lines show the level of the ground.



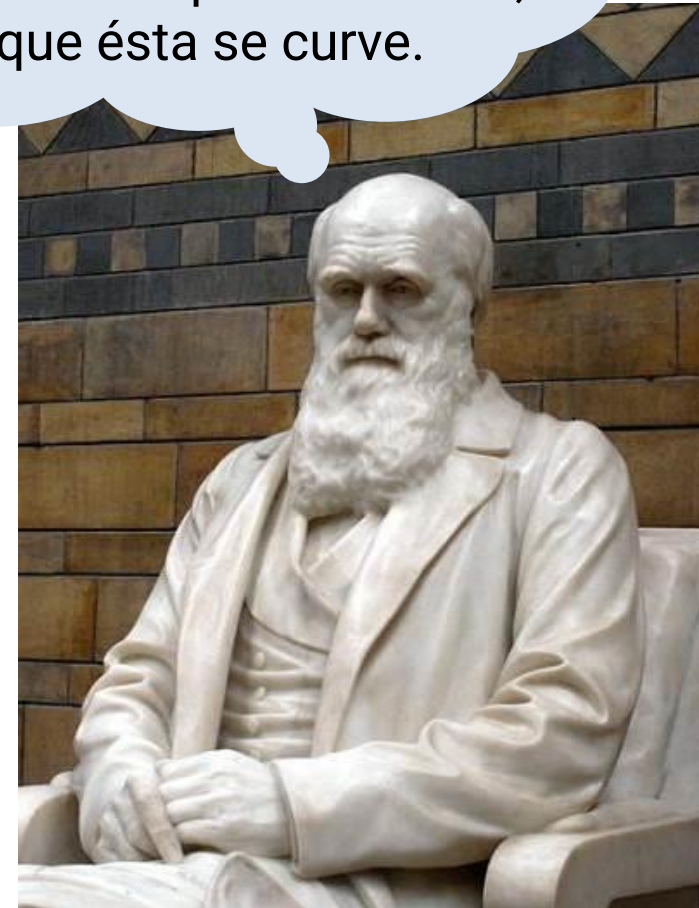
Modelo: coleoptilo (tejido que protege las hojas durante la germinación de las plantas monocotiledóneas)

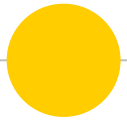
● Decapitando o cubriendo el ápice de los coleóptilos se inhibe el fototropismo.

La luz es percibida por el ápice pero la curvatura ocurre en la base de la planta.

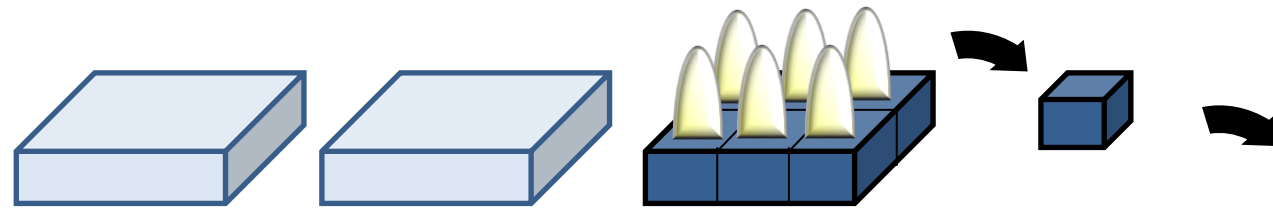


“Debemos concluir que cuando una planta es expuesta a una luz lateral, existe una **influencia** que es transmitida desde el ápice a la base, haciendo que ésta se curve.



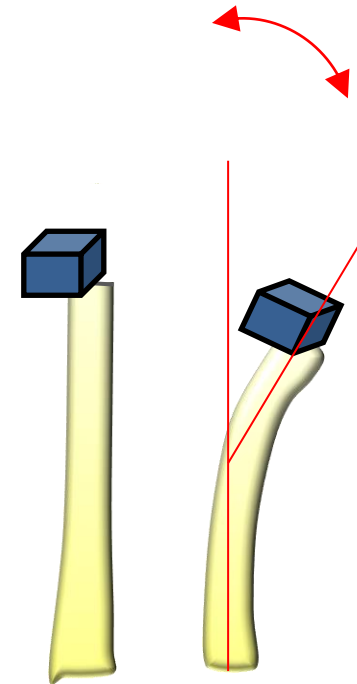


Identificación y purificación de la auxina: IAA



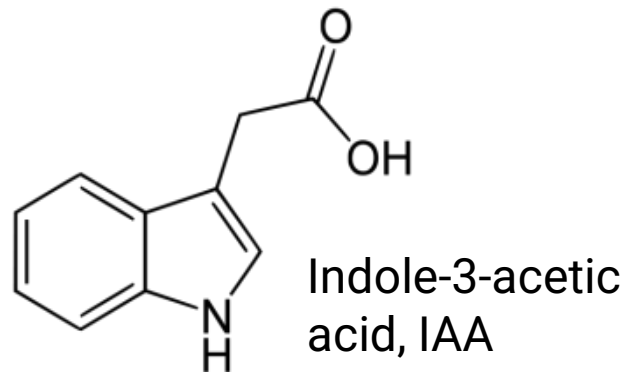
Frits Went utilizó bloques de agar para coleccionar la auxina

...y demostró que el material coleccionado era capaz de promover el crecimiento

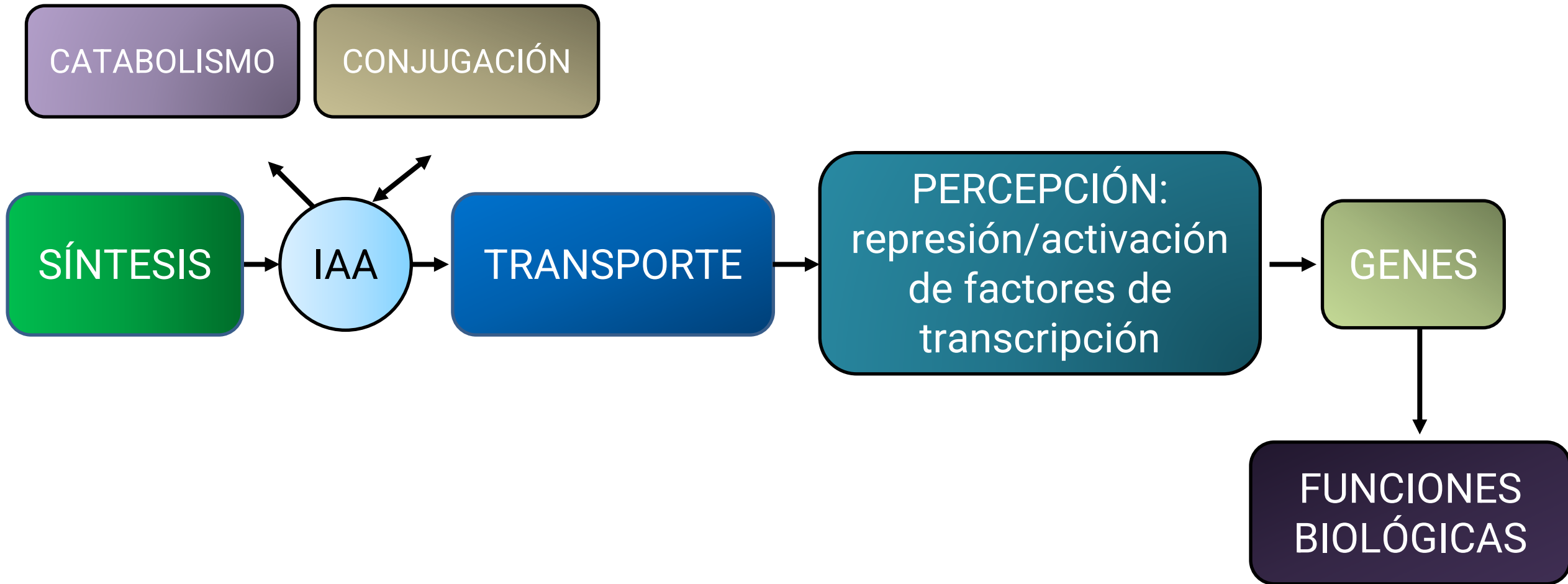


El ángulo de la curvatura es proporcional a la cantidad de auxina en el bloque.

Este bioensayo fue utilizado como base para purificar la hormona.

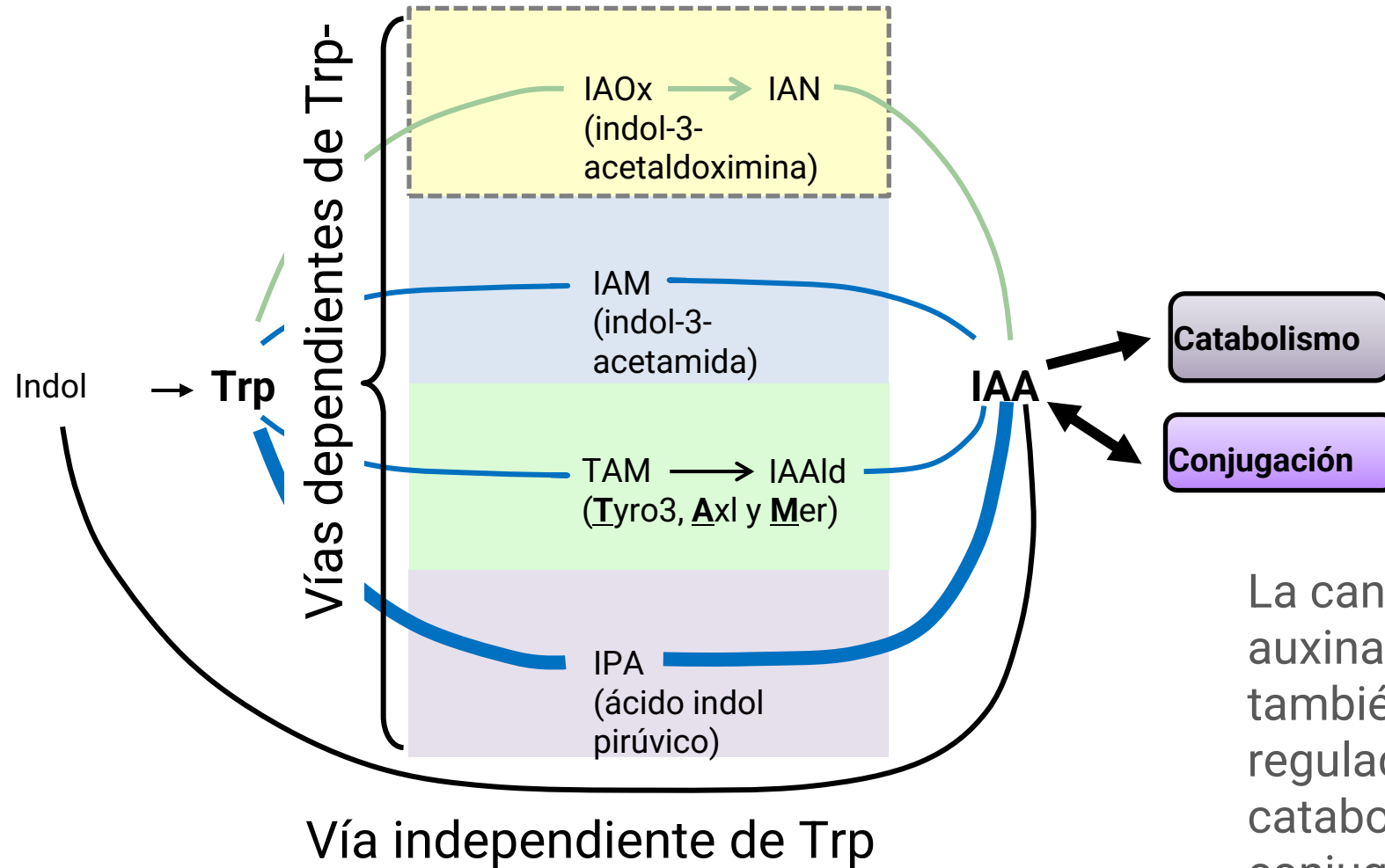


● Síntesis, homeostasis, transporte y señalización de auxinas



Varios caminos conducen a la síntesis de auxinas

El IAA se produce a partir de varias vías, dependientes o independientes del triptófano (Trp)

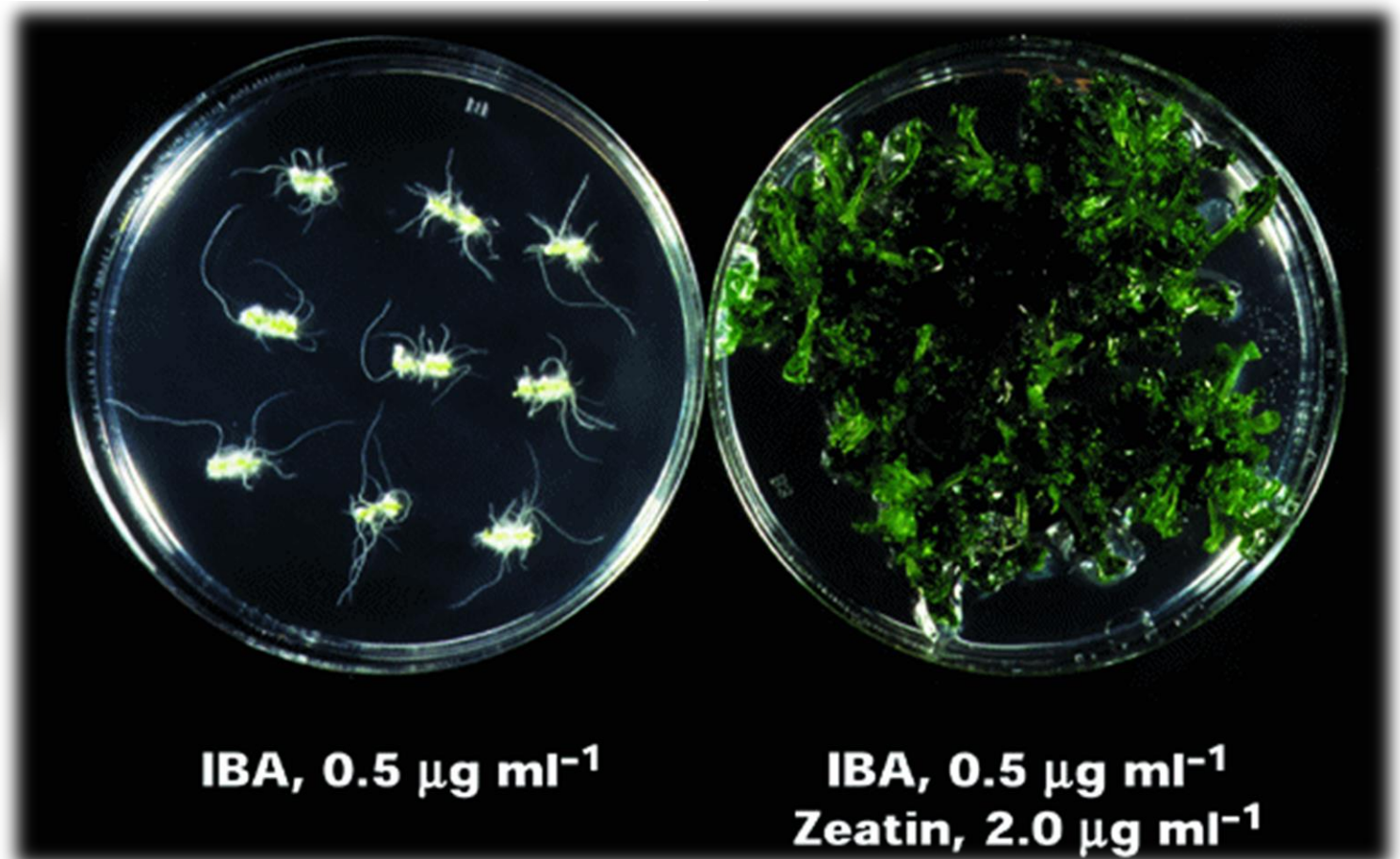


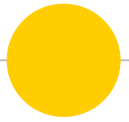
La síntesis de auxinas está regulada por luz, nutrientes, otras hormonas, etc.

La cantidad de auxinas activas también está regulada por su catabolismo y conjugación.

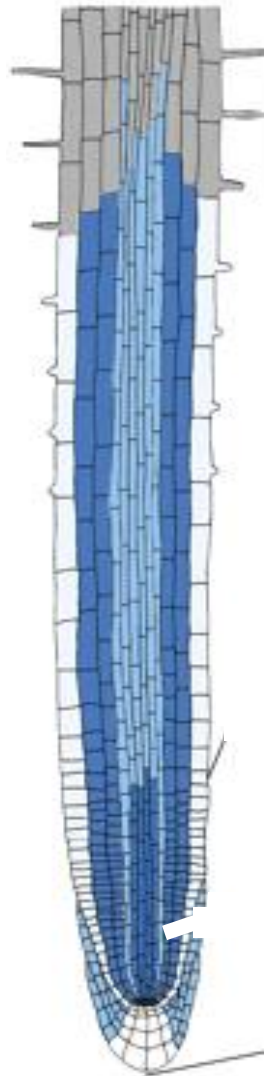
● Mientras que las auxinas inducen la diferenciación de raíces, las citoquininas promueven la parte aérea.

A alta [auxina] y baja [CK] se desarrollan raíces.
A baja [auxina] y alta [CK] se desarrollan brotes.

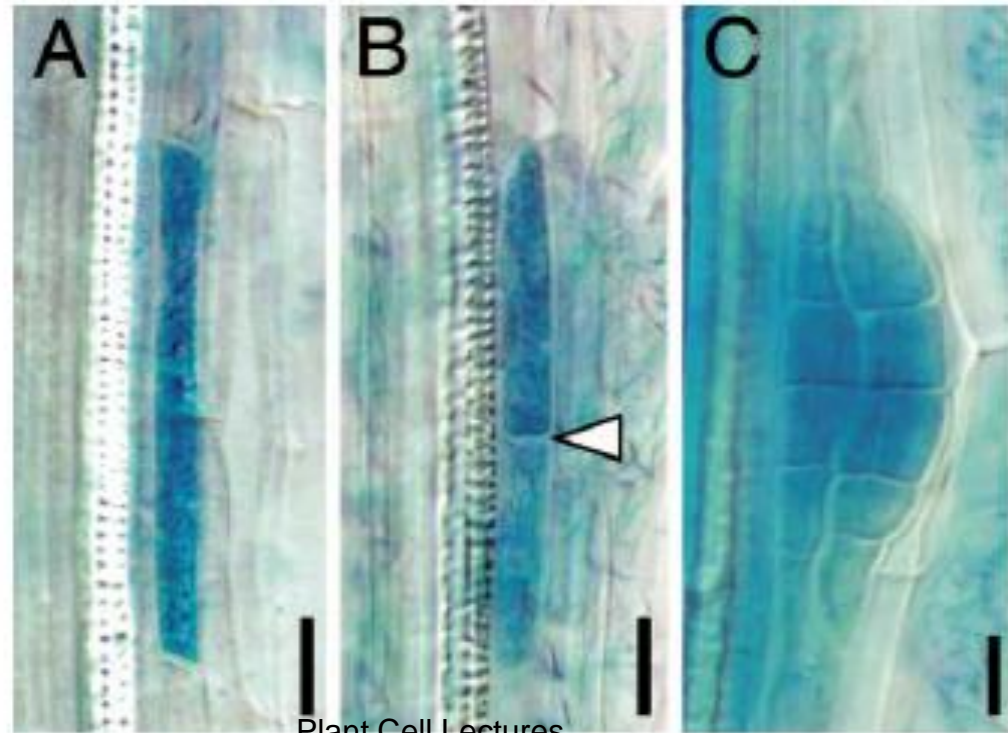
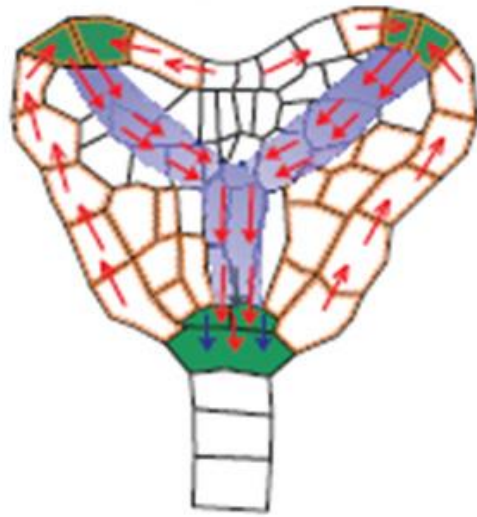


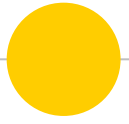


El perfil de acumulación de auxinas contribuye al patrón de desarrollo

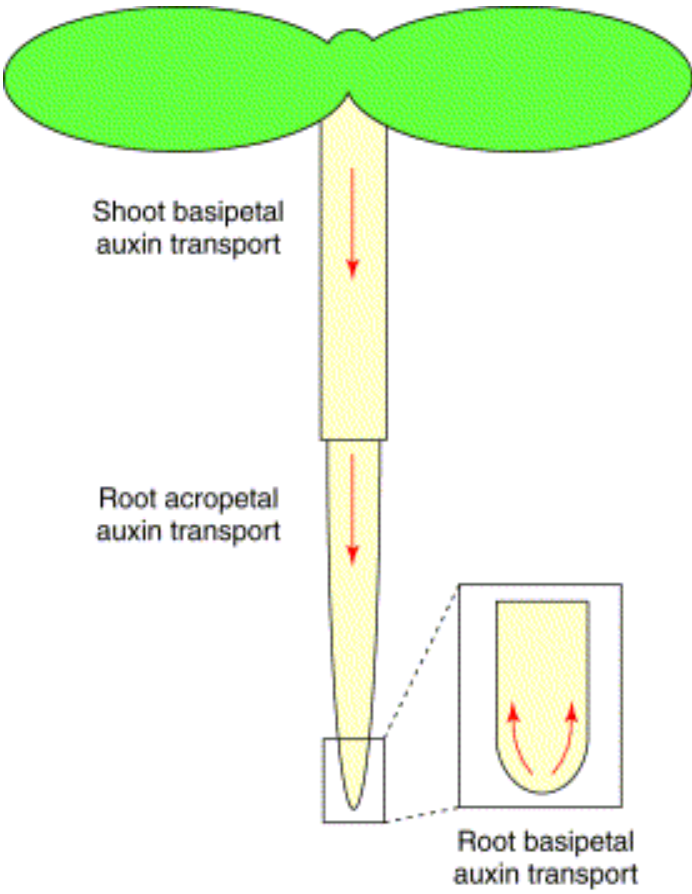


Las auxinas aportan información posicional importante para la morfogénesis y el desarrollo.

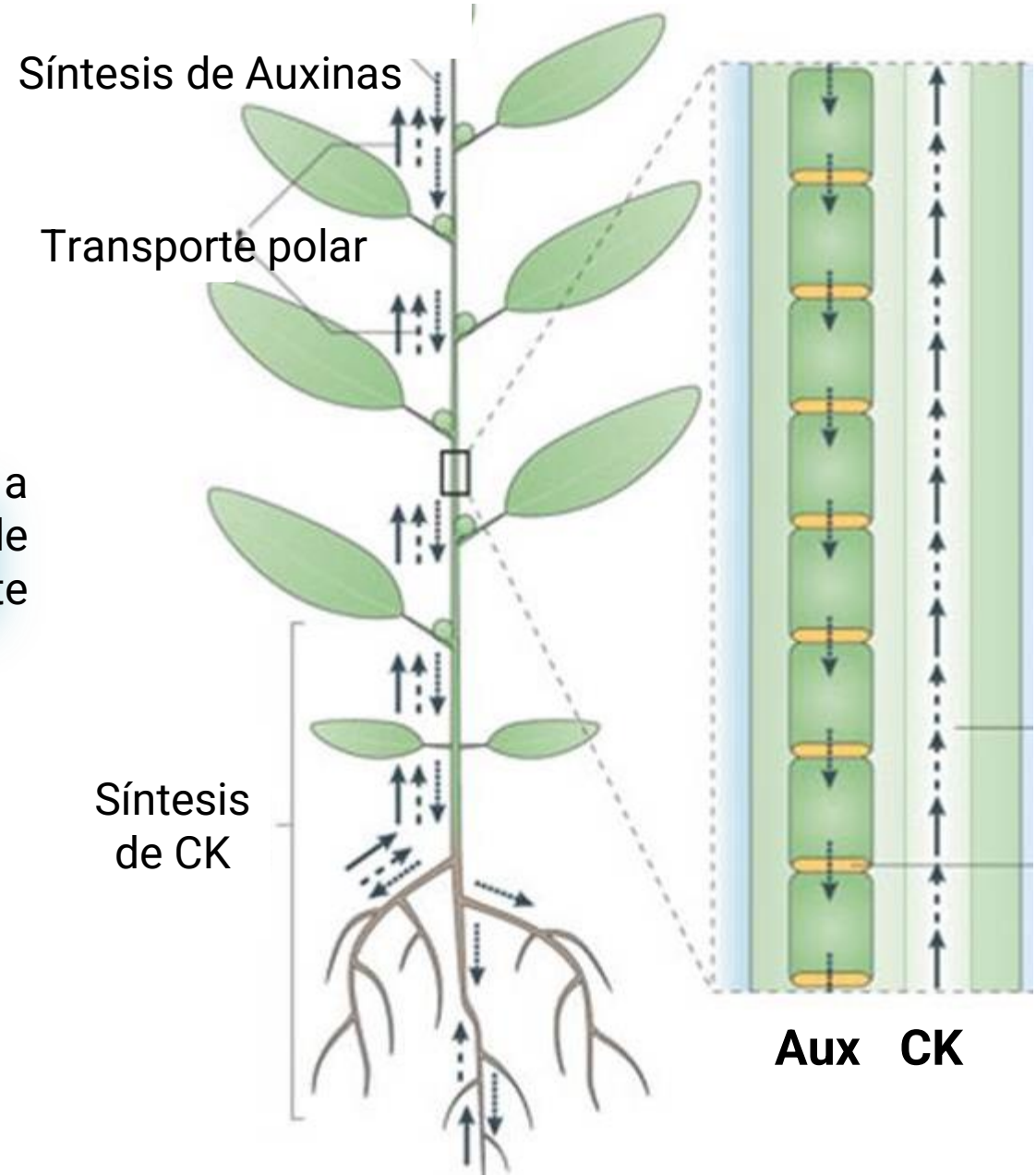




Transporte polar de auxinas e interacción con citoquininas



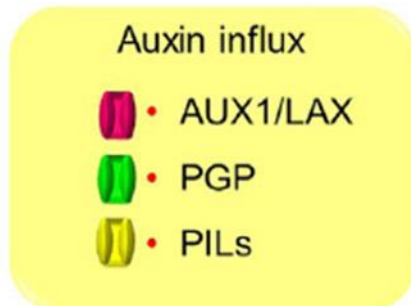
La auxina se transporta a corta distancia a través de transportadores (transporte polar).



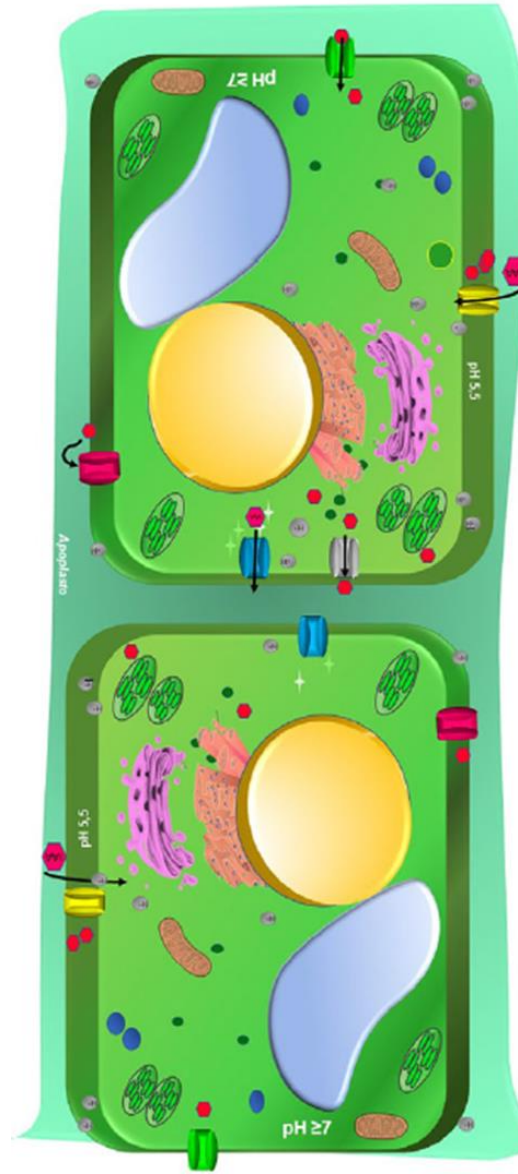
Transporte polar



Salida de la célula



Ingreso a la célula vecina



El IAA⁻ sale únicamente a través de transportadores específicos (PIN y ABCB).

El IAA ingresa a la célula vecina a través de carriers (AUX1/LAX, PGP y PILs).

HIPÓTESIS:

Las diferencias de pH entre la pared (pH 5.5) y el citoplasma (pH ≥ 7) promueven la acumulación de IAA intracelular.

En el citoplasma a pH más básico, la mayoría del IAAH se desprotona y queda retenido intracelularmente.



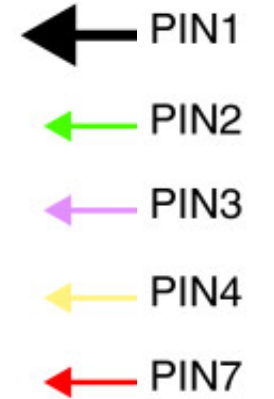
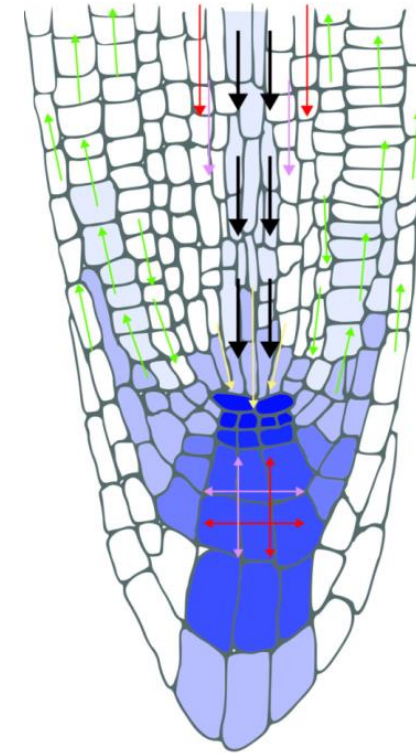
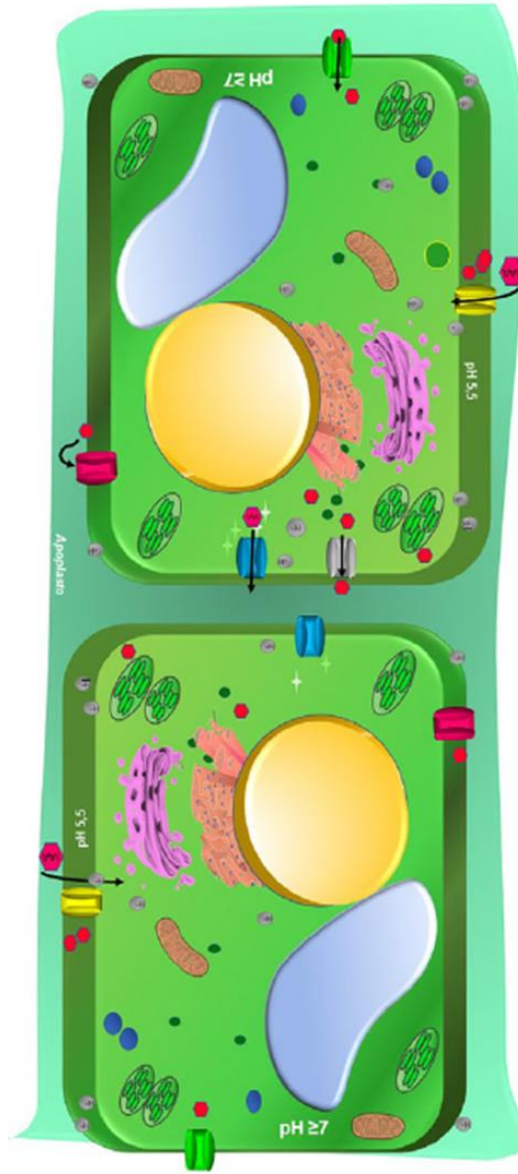
Transporte polar



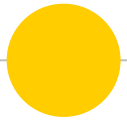
Salida de la célula



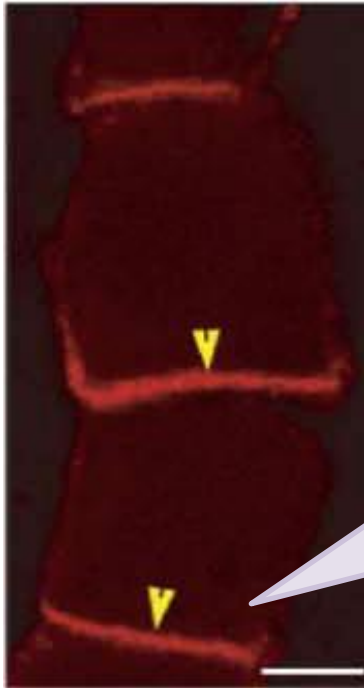
Ingreso a la célula vecina



La distribución de proteínas PIN determina la dirección del transporte de Auxinas y la formación de un gradiente.

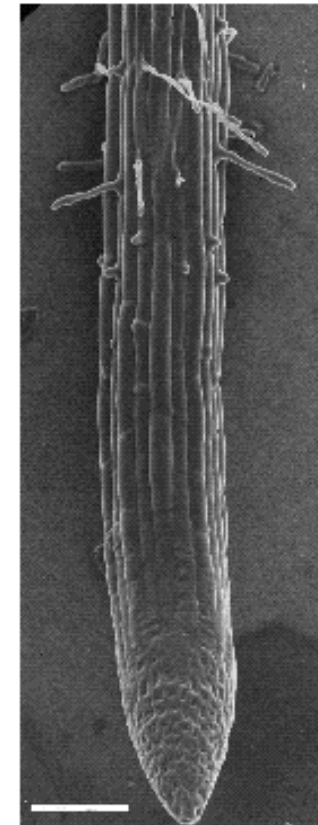
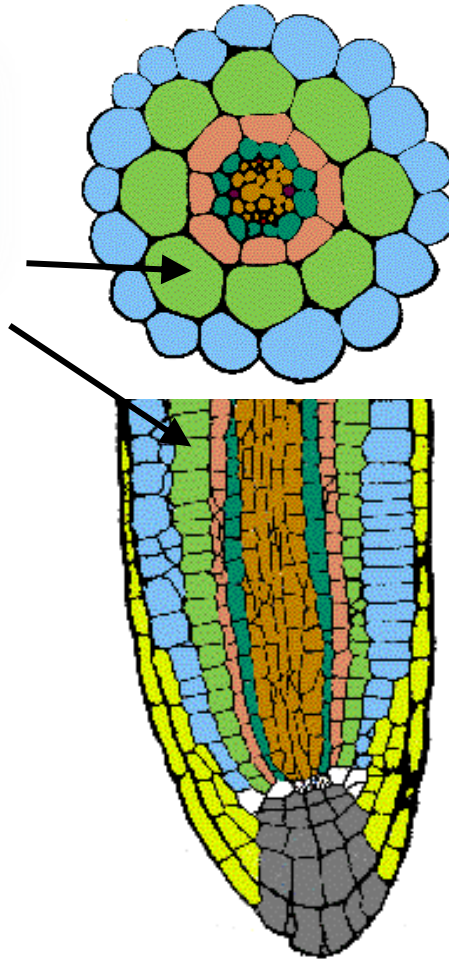


Las proteínas PIN se orientan asimétricamente en la membrana plasmática.

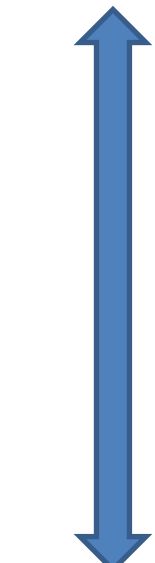


PIN1 se localiza en la superficie inferior de las células de la corteza de la raíz

PIN1 es responsable del transporte de auxinas desde los brotes a la raíz.



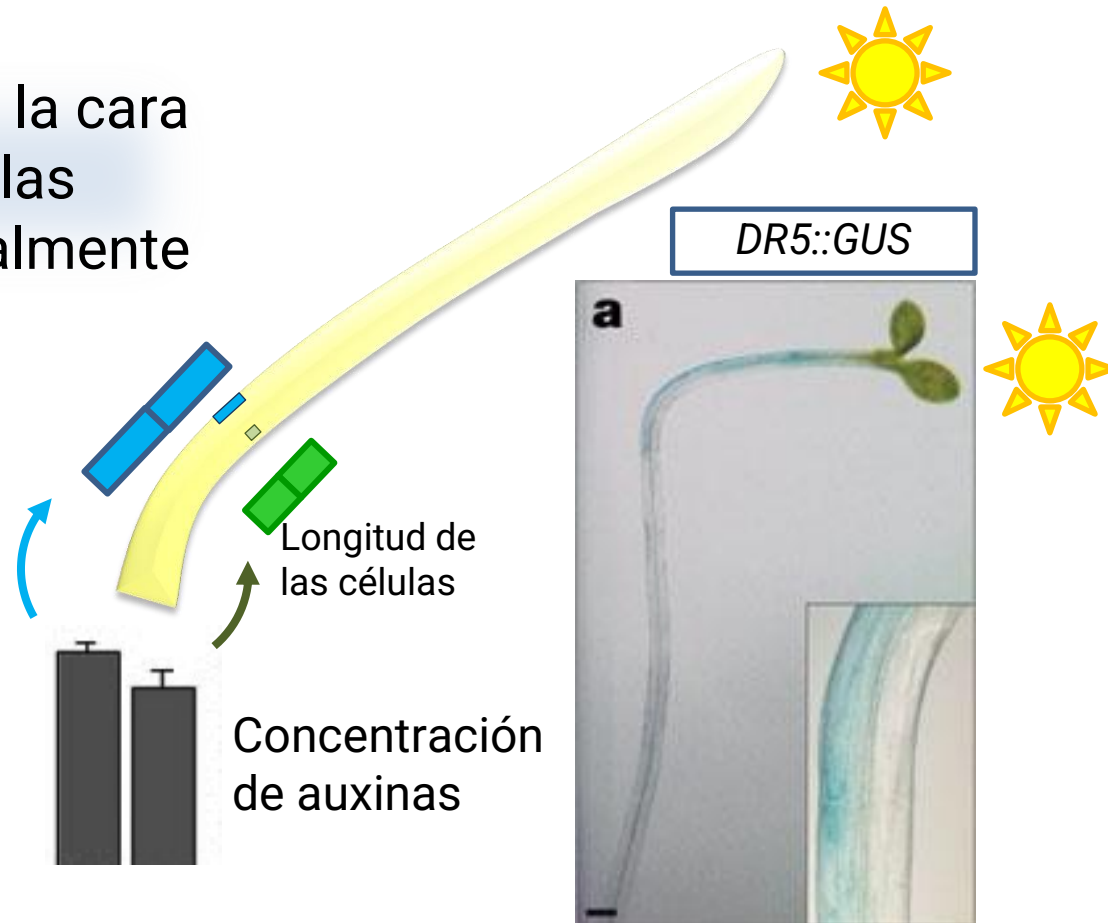
Base de la raíz



Ápice de la raíz

La redistribución de auxinas es responsable del fototropismo

El IAA se acumula en la cara oscura de plántulas inluminadas unilateralmente

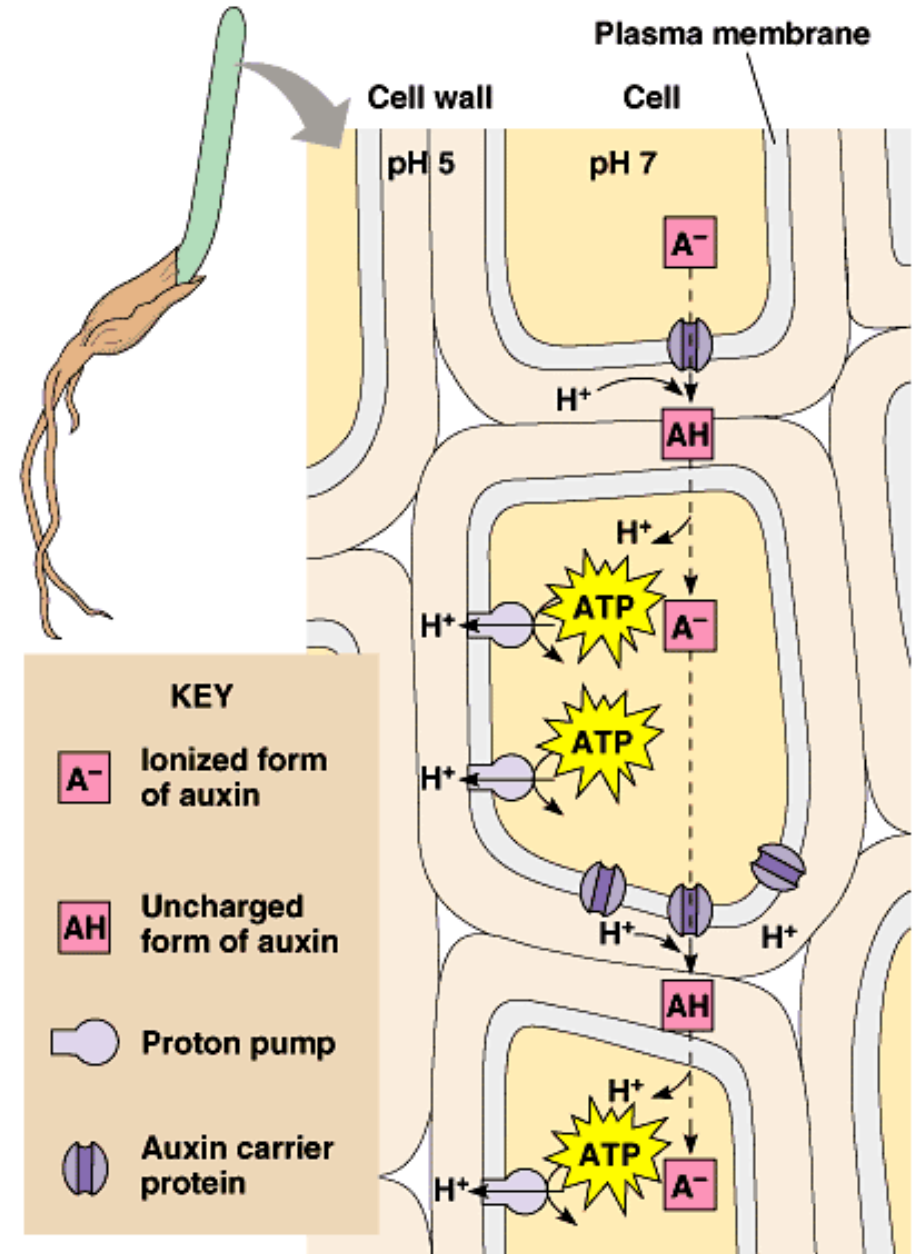
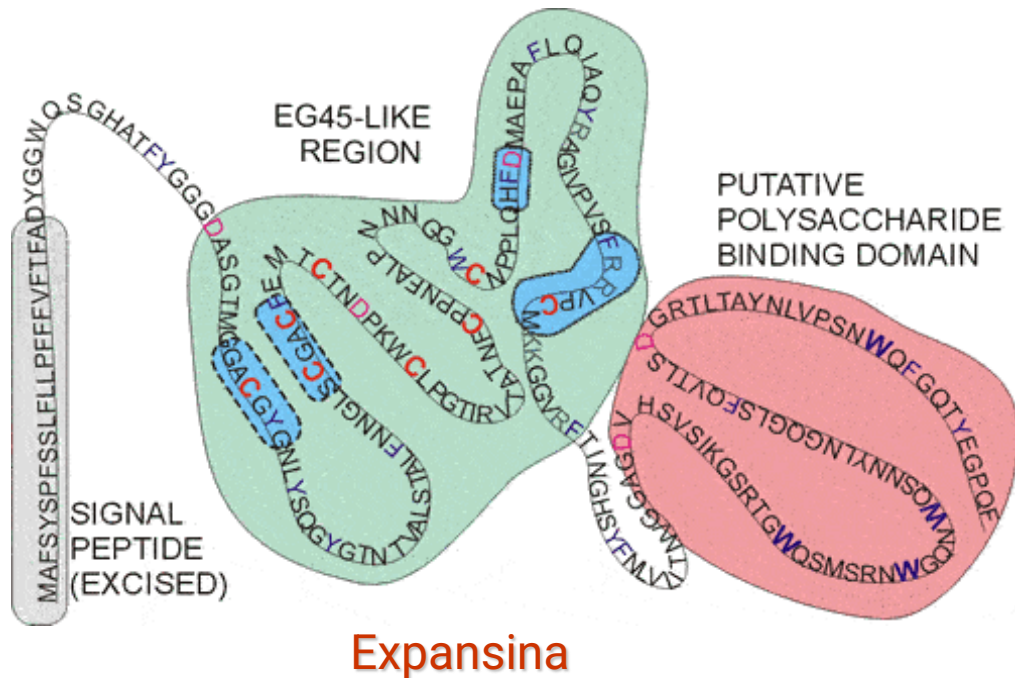


El aumento en la concentración de auxinas promueve la expansión de las células de la cara oscura causando la curvatura.

Las auxinas inducen la expansión celular

Las auxinas promueven la acidificación de medio extra-celular, activando expansinas en la pared celular

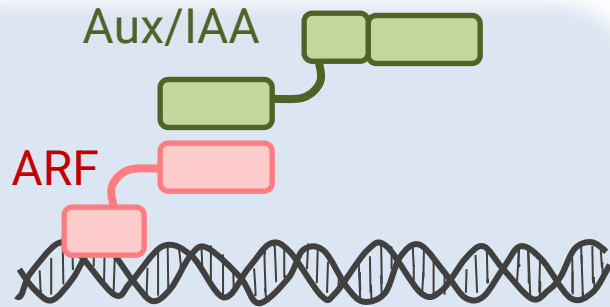
Las expansinas digieren y flexibilizan la pared



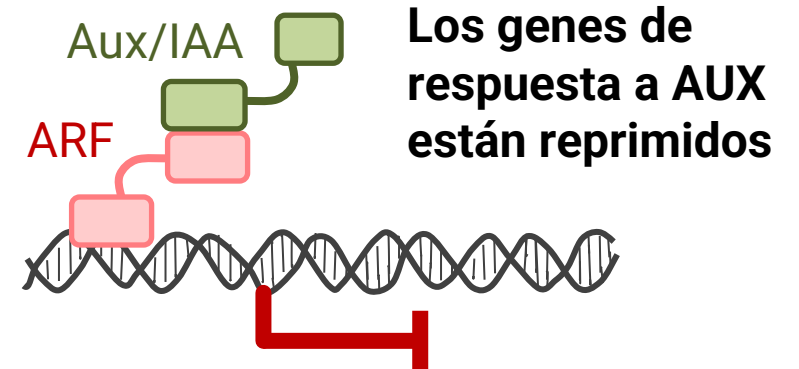


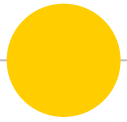
Señalización de auxinas

BAJOS NIVELES DE AUXINAS



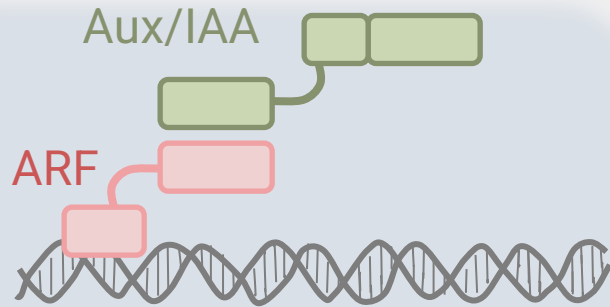
A baja concentración de IAA, las proteínas Aux/IAA y ARF se asocian e interfieren con la actividad activadora de ARF





Señalización de auxinas

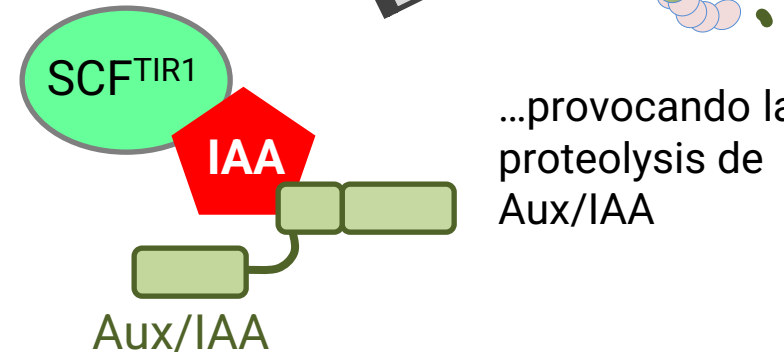
BAJOS NIVELES DE AUXINAS



A baja concentración de IAA, las proteínas Aux/IAA y ARF se asocian e interfieren con la actividad activadora de ARF

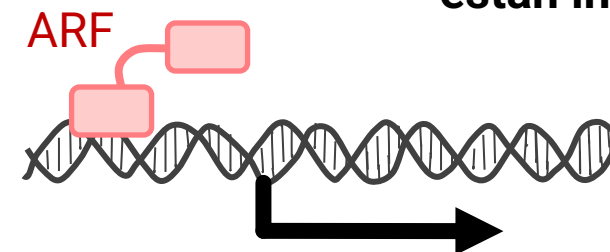
ALTOS NIVELES DE AUXINA

La auxina promueve la asociación entre Aux/IAA y el complejo SCF^{TIR1} ubiquitin ligasa



...provocando la proteolysis de Aux/IAA

Los genes de respuesta a auxina están inducidos

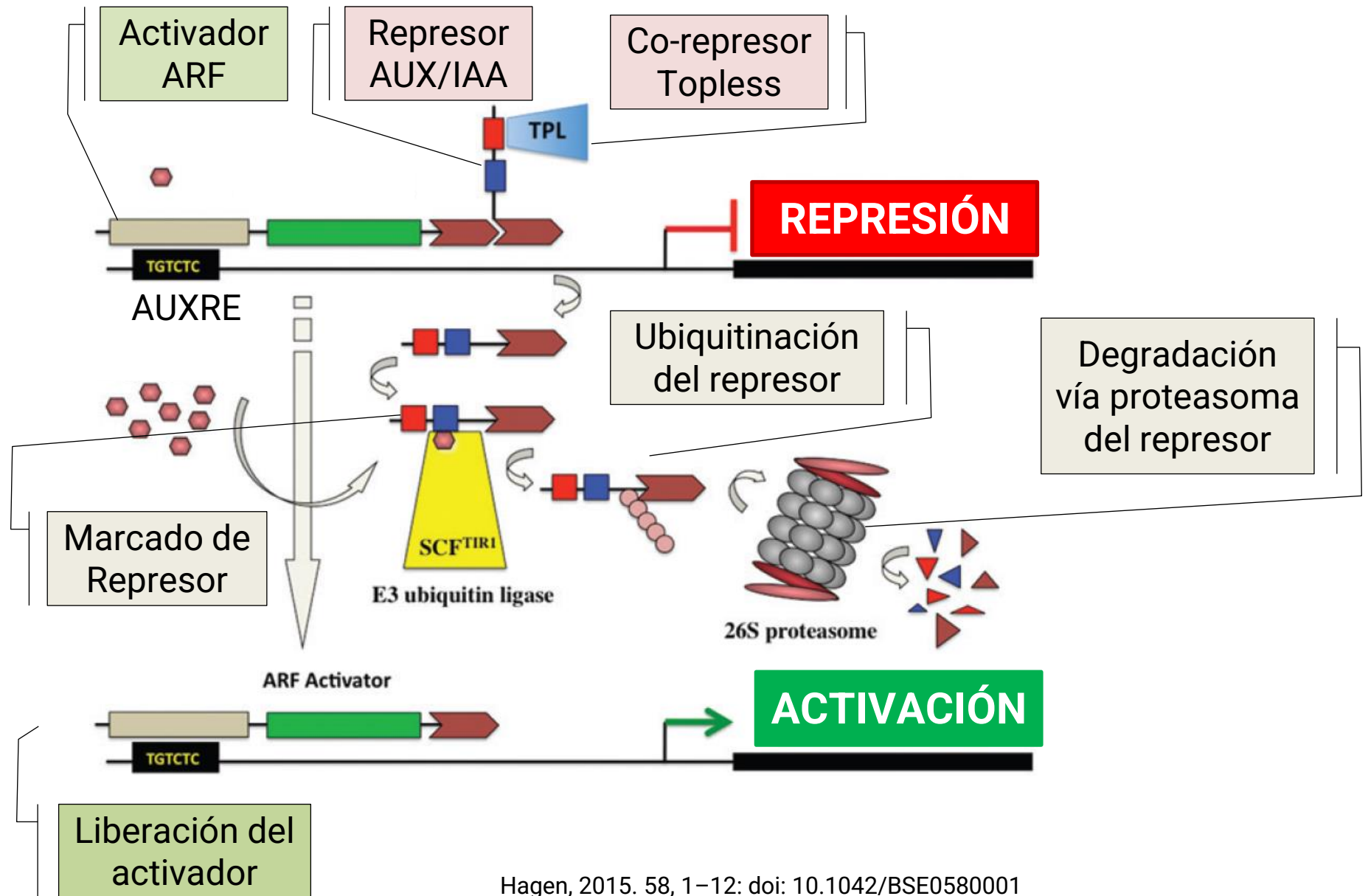


La eliminación de Aux/IAA inhibe la interferencia de estas proteínas con ARF, permitiendo que ARF active la expresión génica.

Modelo

Baja
concentración
de auxina

Alta
concentración
de auxina

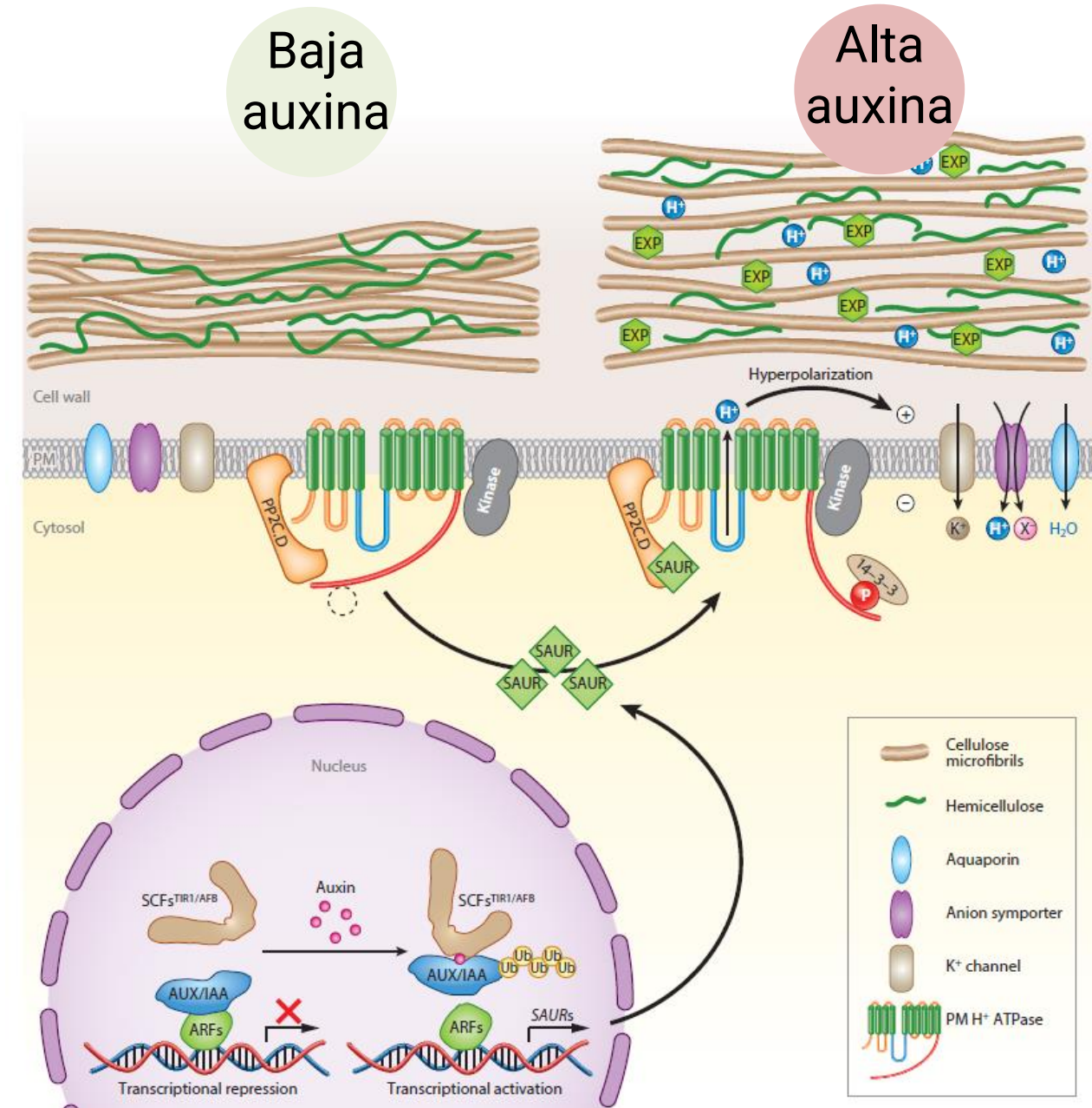


Modelo molecular de flexibilización de la pared mediado por auxinas.

Baja concentración de auxinas: equilibrio de actividad de H⁺-ATPasa de la membrana plasmática -fosforilación/ desfosforilación.

Alta concentración de auxina: inducción de SAUR, que inhibe fosfatasas PP2C previniendo la desfosforilación de H⁺-ATPasas, manteniéndose éstas en estado fosforilado, **activado**.

El aumento en la actividad de H⁺-ATPasa acidifica el apoplasto, activando las expansinas (EXP) y otras enzimas remodeladoras de la pared.

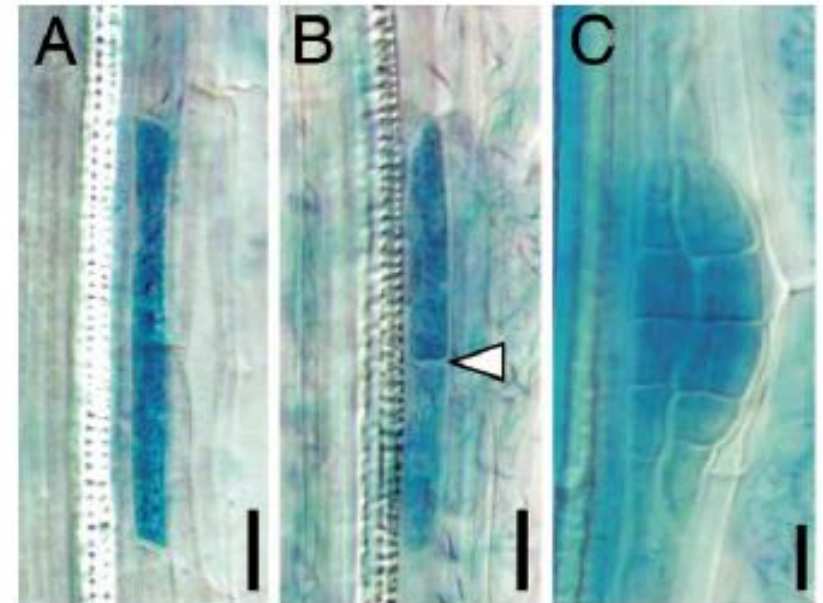
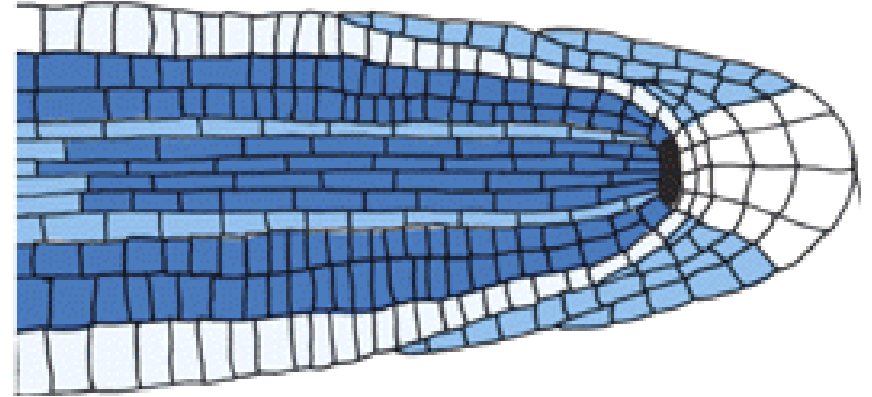


Genes reporteros como herramientas para el estudio de las respuestas a auxinas.



DR5 es un promotor sintético que consiste en 7 copias del elemento de respuesta a Auxina **TGTCTC** presente en los promotores de genes regulados por esta hormona.

GUS-GFP es un gen reportero quimérico que codifica una β -glucuronidasa fusionada a GFP. La β -glucuronidasa actúa sobre distintos sustratos, algunos producen un color azul que precipita en el sitio en donde se sintetiza la enzima.





Resumen.

- Las plantas responden al ambiente regulando su crecimiento y desarrollo.
- La pared celular limita y controla el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- La expansión celular controlada permite el crecimiento direccionado.
- Las auxinas controlan la expansión celular en algunas situaciones.
- Las auxinas se transportan en forma polar ayudadas por proteínas PIN y otros transportadores.
- Las auxinas promueven la acidificación del apoplasto, activando expansinas y flexibilizando la pared.
- Las auxinas activan la expresión de genes desencadenando la proteólisis de represores.



Literatura.

Hagen 2015, Auxin signal transduction. *Essays Biochem.* 58, 1–12:
doi: 10.1042/BSE0580001

Gomes y Scortecci 2021, Auxin and its role in plant development:
structure, signalling, regulation and response mechanisms. *Plant
Biology*, doi:10.1111/plb.13303