

## **9. BIOLOGÍA VEGETAL (13 horas)**

**Idea fundamental:**

**La estructura y la función están correlacionadas en el xilema de las plantas.**

Presentación realizada a partir de la creada por Aureliano Fernández ( IES Martínez Montañas de Sevilla)  
<https://sites.google.com/site/iesmmibiologia/>

*IES Santa Clara.  
1ºBACHILLER  
Dpto Biología y Geología.  
<https://biologiageologiaiessantaclarabelenruiz.wordpress.com/bachillerato-internacional/biologia-nivel-superior/>*

# CONTENIDOS

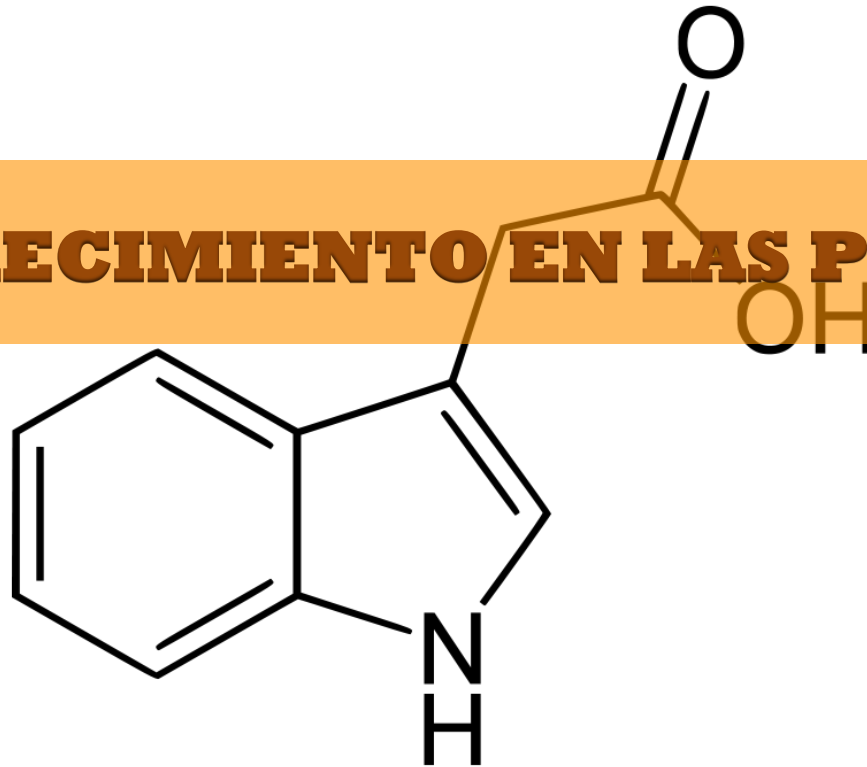
**9.1. TRANSPORTE EN EL XILEMA DE LAS PLANTAS.**

**9.2. TRANSPORTE EN EL FLOEMA DE LAS PLANTAS.**

**9.3. CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.**

**9.4. REPRODUCCIÓN EN LAS PLANTAS.**

## 9.3. CRECIMIENTO EN LAS PLANTAS.



*IES Santa Clara.  
1ºBACHILLER*

*Dpto Biología y Geología.*

*<https://biologiageologiaiessantaclarabelenruiz.wordpress.com/bachillerato-internacional/biologia-nivel-superior/>*

## 9.3. Crecimiento de las plantas.



### Naturaleza de las ciencias

Las mejoras en los métodos de análisis y deducción conllevan avances en la investigación científica: las mejoras en las técnicas analíticas que permiten la detección de cantidades residuales o trazas de sustancias han conducido a avances en la comprensión de las hormonas vegetales y de sus efectos sobre la expresión génica. (1.8)



### Comprensión:

- Las células indiferenciadas de los meristemos de las plantas permiten un crecimiento indeterminado.
- La mitosis y la división celular en el brote apical proporcionan las células requeridas para la extensión del tallo y el desarrollo de las hojas.
- Las hormonas vegetales controlan el crecimiento en el brote apical.
- Los brotes de las plantas responden al medio ambiente mediante tropismos.
- Las bombas de flujo de auxina pueden establecer gradientes de concentración de auxinas en el tejido vegetal.
- Las auxinas influyen en las tasas de crecimiento celular mediante la modificación del patrón de expresión génica.

### Aplicaciones y habilidades



- Aplicación: Micropropagación de plantas mediante tejidos del brote apical, geles de agar con nutrientes y hormonas de crecimiento.
- Aplicación: Uso de la micropropagación para la multiplicación rápida de nuevas variedades, la producción de cepas libres de virus de variedades existentes y la propagación de orquídeas y otras especies raras.

### Orientación:

- Las auxinas son el único tipo de hormonas vegetales concreto que se requiere.

### Utilización:

- La micropropagación se usa para una rápida multiplicación de nuevas variedades de una planta.

### Vínculos con el resto del programa de estudios y con otras asignaturas del programa:

- Biología: tema 3.5: Modificación genética y biotecnología





# 1. El crecimiento de las plantas.

## Término clave

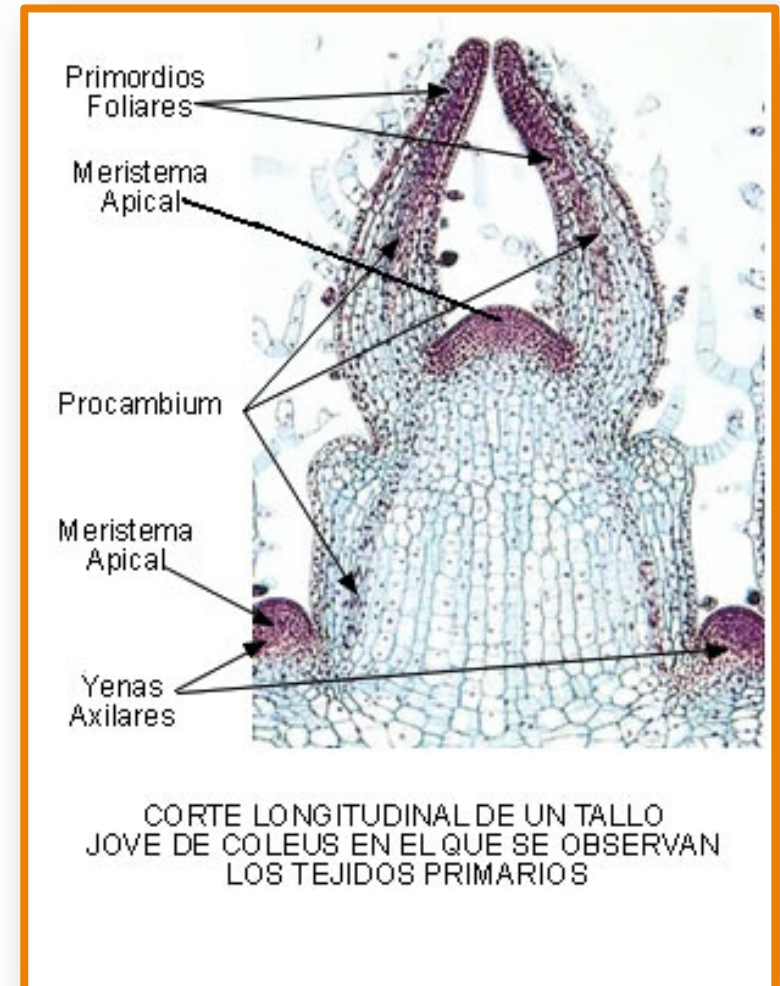
*Las células indeferenciadas de los meristemos de las plantas permiten un crecimiento indeterminado*

El **crecimiento es indeterminado** cuando las células continúan dividiéndose indefinidamente. Las plantas, en general, tienen un crecimiento indeterminado.

Muchas células vegetales son **totipotentes**, incluidas algunas totalmente diferenciadas, es decir tienen la capacidad de generar plantas enteras. *Este fenómeno es lo que distingue a las células vegetales de la mayoría de los animales.*

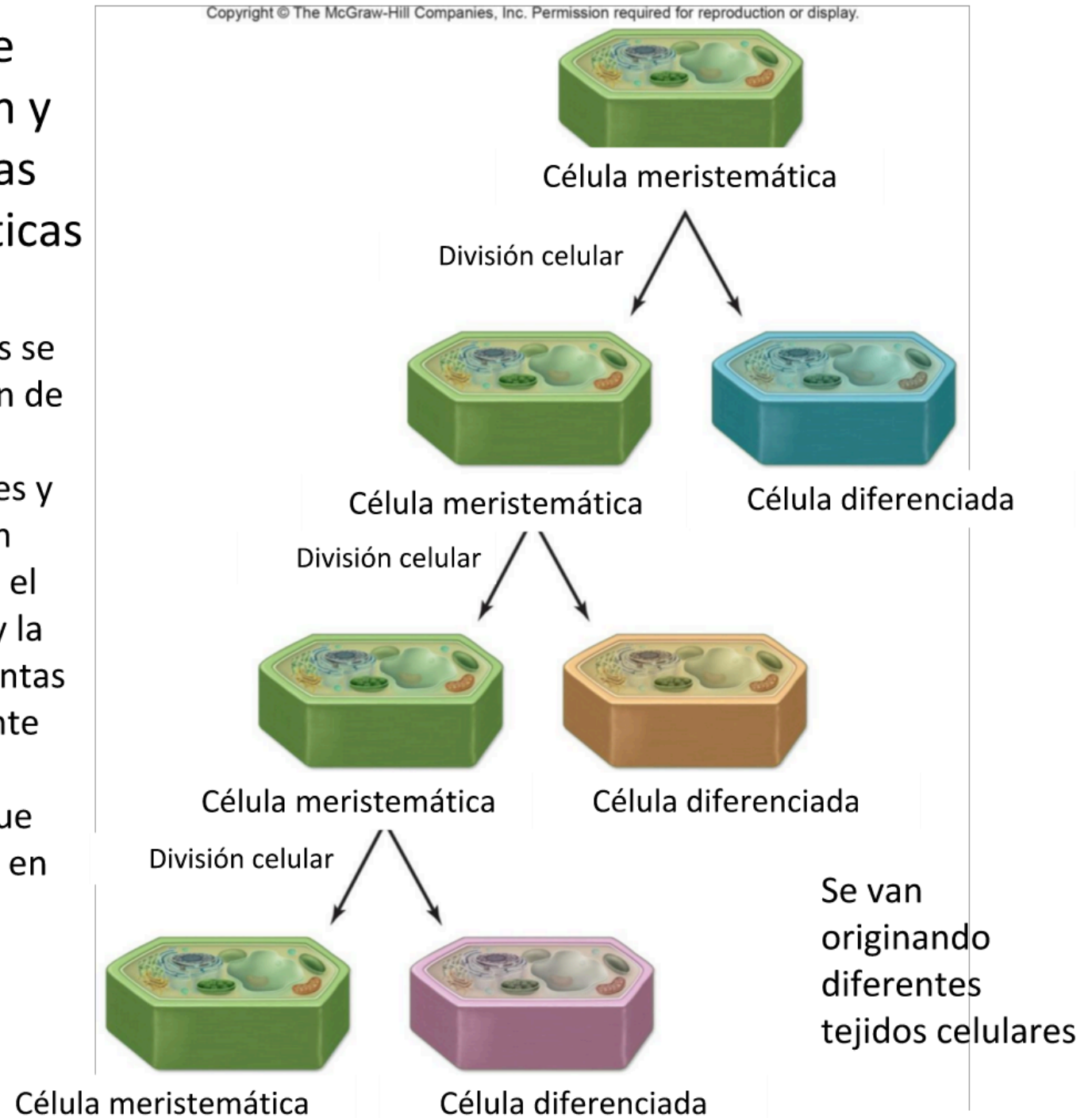
El **crecimiento de las plantas se limita a las partes conocidas como meristemos**. Los meristemos están compuestos por células no diferenciadas que se dividen activamente. Los **meristemos primarios** se encuentran en las puntas de los tallos y de las raíces, y se denominan **meristemos apicales**. El meristemo apical de la raíz es responsable del crecimiento de la raíz. El meristemo apical del tallo es responsable de la extensión del tallo. Muchas **plantas dicotiledóneas** también desarrollan **meristemos laterales**.

*El crecimiento de las plantas se limita a las partes conocidas como **meristemos**.*



# Todos los tejidos se forman por división y diferenciación de las células meristemáticas

Los meristemos primarios se encuentran en el embrión de la semilla y luego en los ápices de los tallos y raíces y en las yemas axilares (son células madre). Permiten el crecimiento en longitud y la ramificación. Algunas plantas desarrollan posteriormente meristemos secundarios laterales que permiten que los tallos y raíces crezcan en grosor.





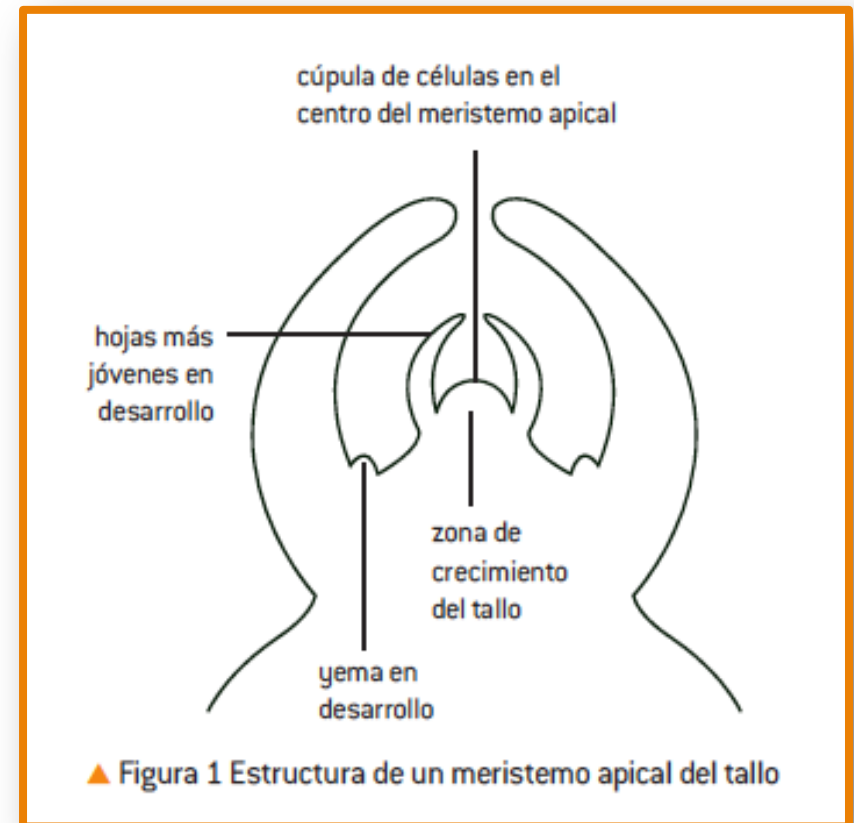
## 2. Función de la mitosis en la extensión del tallo y el desarrollo de las hojas.

### Término clave

*La mitosis y la división celular en el brote apical proporcionan las células requeridas para la extensión del tallo y el desarrollo de las hojas.*

Las células de los meristemos son pequeñas y pasan por el ciclo celular repetidamente para producir más células por mitosis y citoquinesis. Las nuevas células absorben nutrientes y agua, y así aumentan en volumen y en masa.

El **meristemo apical de la raíz** es responsable del crecimiento de la raíz. El **meristemo apical del tallo** es más complejo. Produce las células que son necesarias para la **extensión del tallo** y, además, produce los grupos de **células** que crecen y se **desarrollan en hojas y en flores**. En cada división, una célula permanece en el meristemo mientras que la otra aumenta de tamaño y se diferencia al ser apartada del meristemo.



*La figura 1 muestra el meristemo apical del tallo de una planta dicotiledónea.*

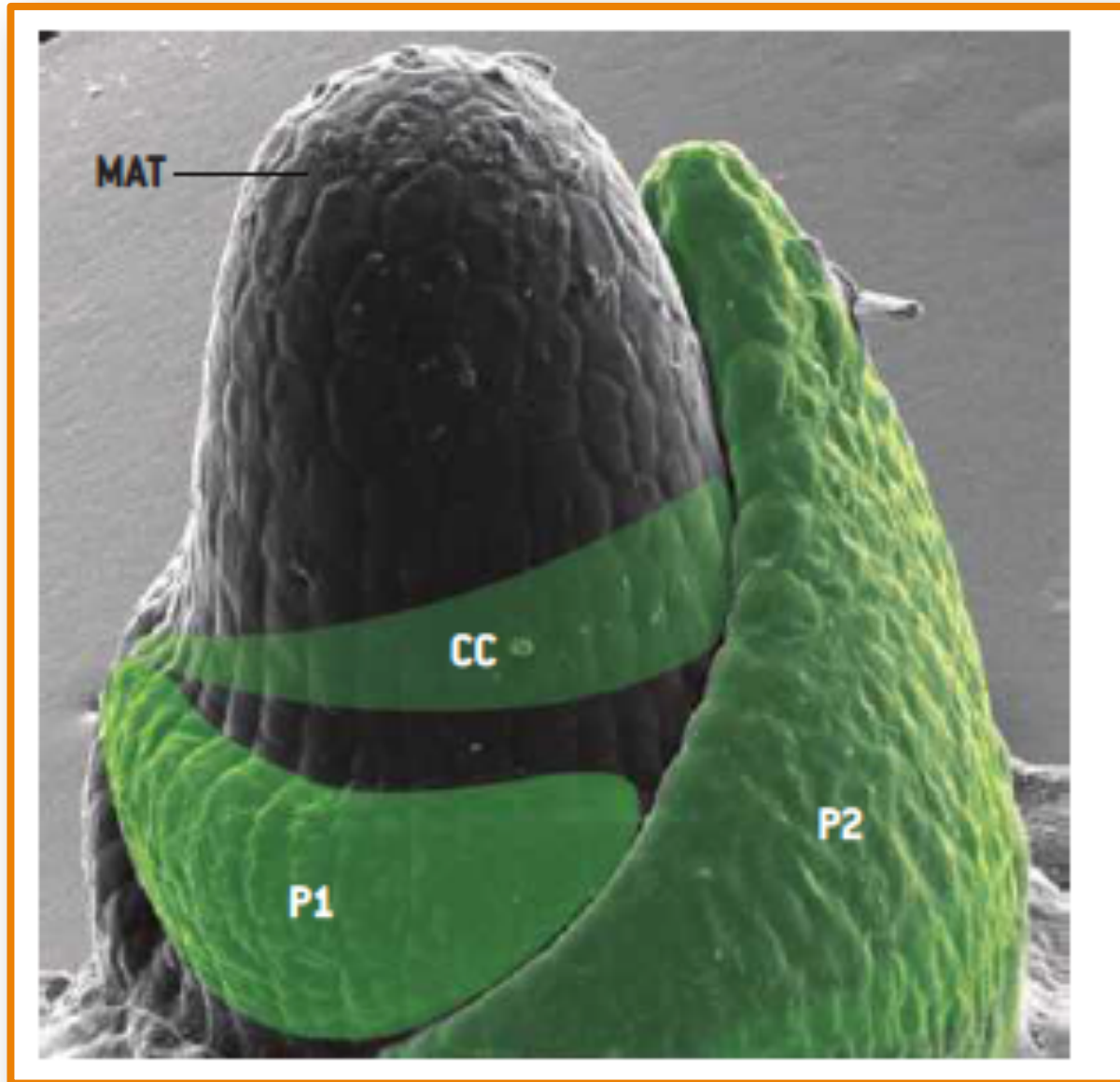


Figura 2 En esta imagen, el meristemo apical del tallo está rotulado como MAT. P1 y P2 representan hojas formadas recientemente (hojas primordiales) y CC representa las células creadoras de una nueva hoja que aún no se ha diferenciado.



# Crecimiento de las plantas: meristemos apicales y laterales

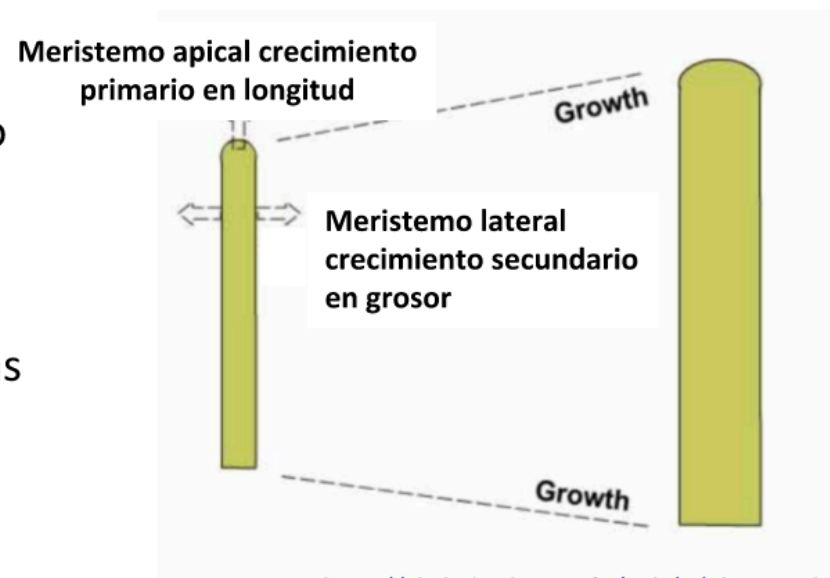
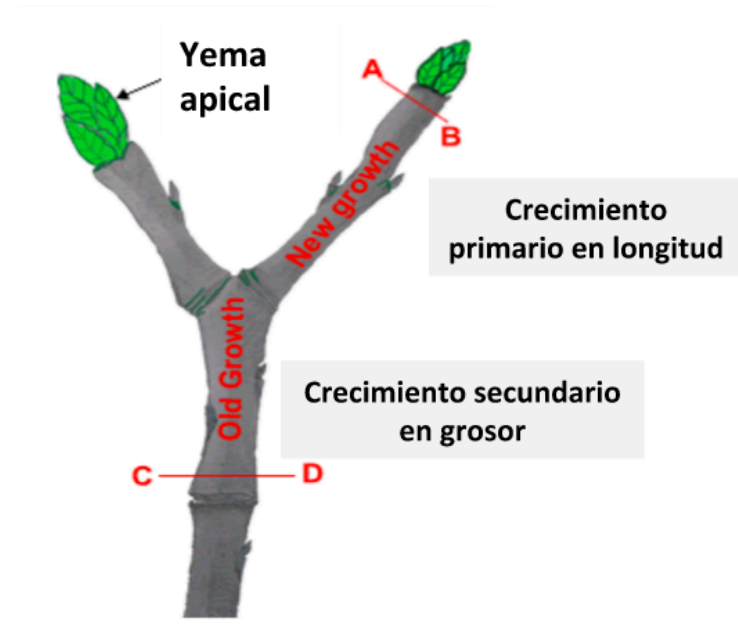
Los **meristemos apicales** se encuentran en las puntas de tallos y raíces. Durante los períodos de crecimiento, las células de los meristemos apicales se dividen y agregan continuamente más células en las puntas.

Los tejidos derivados de los meristemos apicales forman la estructura primaria de la planta y causan un **crecimiento primario en longitud**.

La mayoría de las monocotiledóneas tienen raíces y tallos sólo con estructura primaria.

Las gimnospermas y las dicotiledóneas, sin embargo, tienen además un **crecimiento secundario en grosor** que aumenta el diámetro y el sostén de la planta.

El crecimiento secundario en grosor lo realizan los **meristemos laterales**: **cámbium** y **felógeno**, que se localizan formando dos anillos de células en el interior de tallos y raíces, donde forman tejidos vasculares y protectores secundarios.



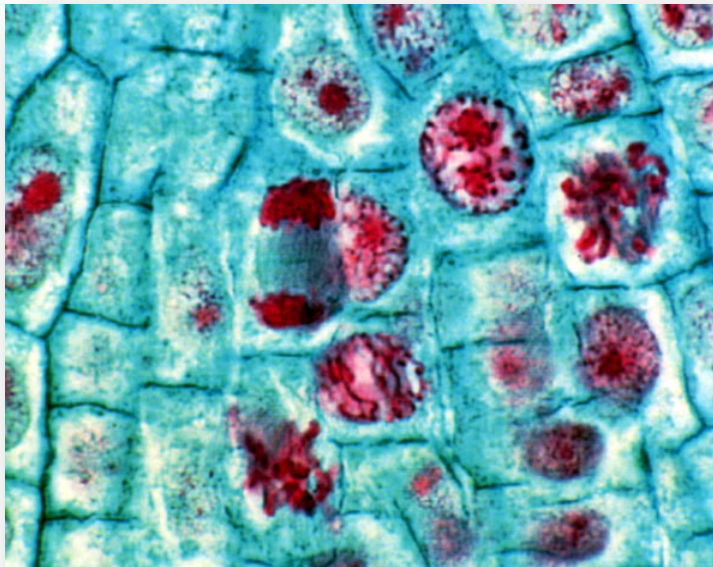
# TEJIDOS VEGETALES: TEJIDOS MERISTEMÁTICOS O EMBRIONARIOS

FUNCIÓN

Son los responsables del crecimiento del vegetal.

SUS CÉLULAS

Son pequeñas, tienen forma poliédrica, con paredes finas y vacuolas pequeñas y abundantes.



Microfotografía óptica de tejido meristemático de raíz de maíz. (x250)

## TEJIDOS MERISTEMÁTICOS

Responsables del crecimiento en longitud

Responsables del crecimiento en grosor. Se localiza en toda la planta.

### MERISTEMOS APICALES

### MERISTEMOS LATERALES

En extremos apicales de raíces o tallos

Cámbium vascular

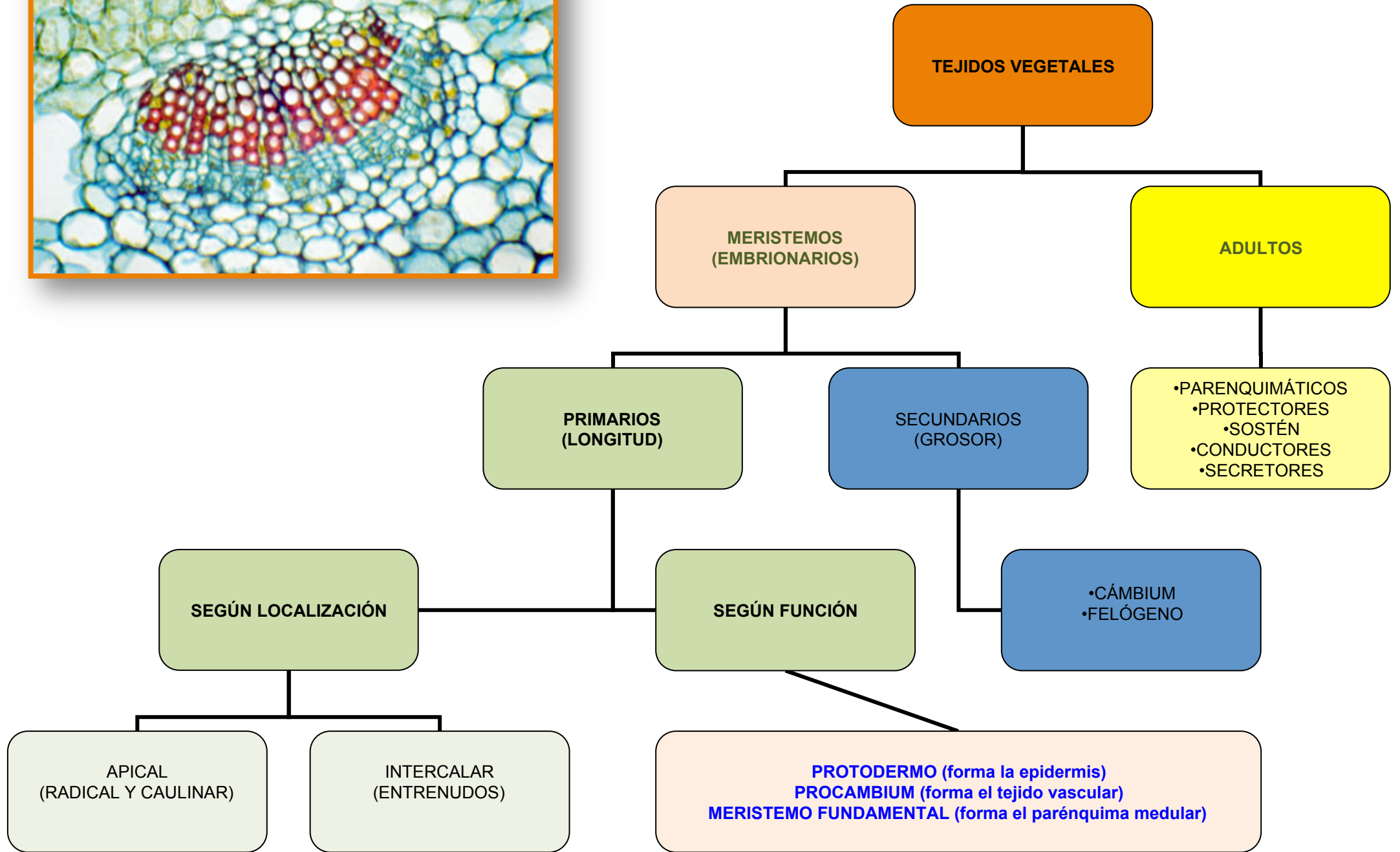
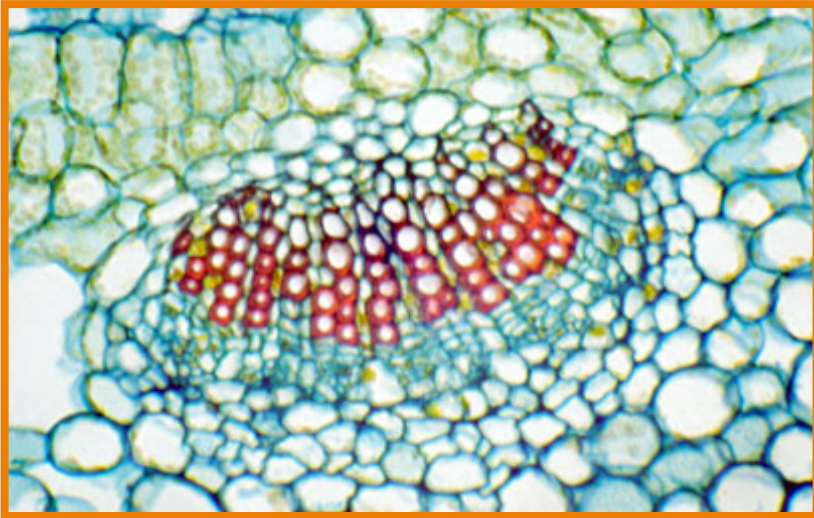
Cámbium suberógeno (felógeno)

forma

forma

tejido conductor

súber o corcho





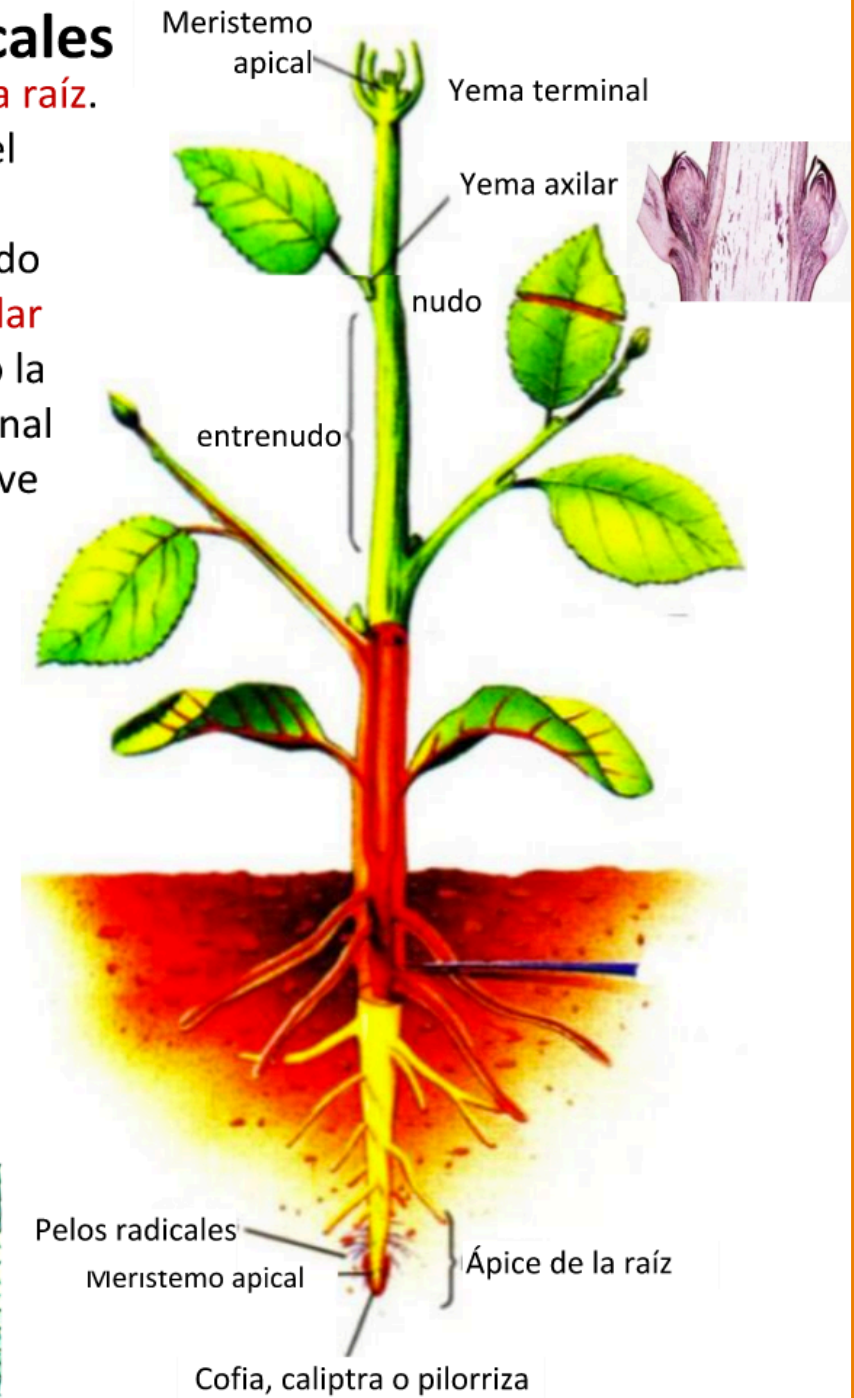
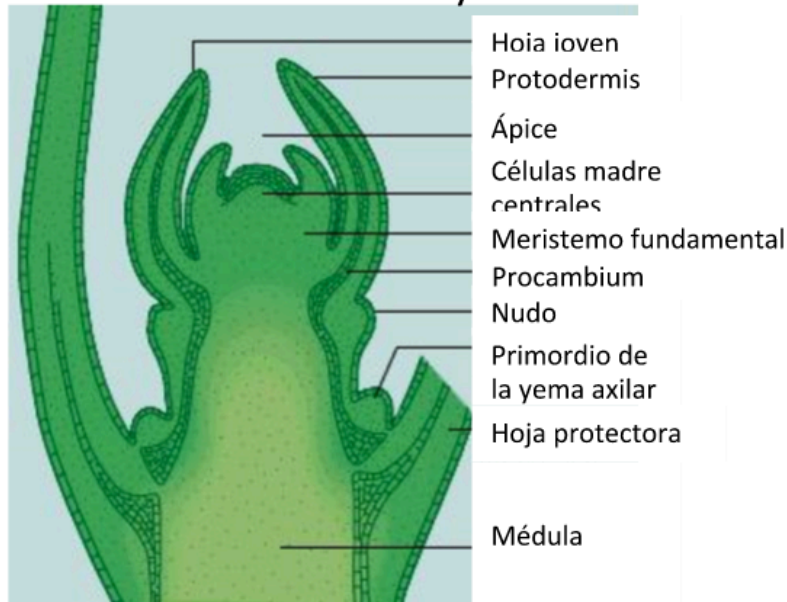
# Crecimiento de la planta: meristemas apicales

Se encuentran en la **yema terminal del tallo** y en el **ápice de la raíz**.

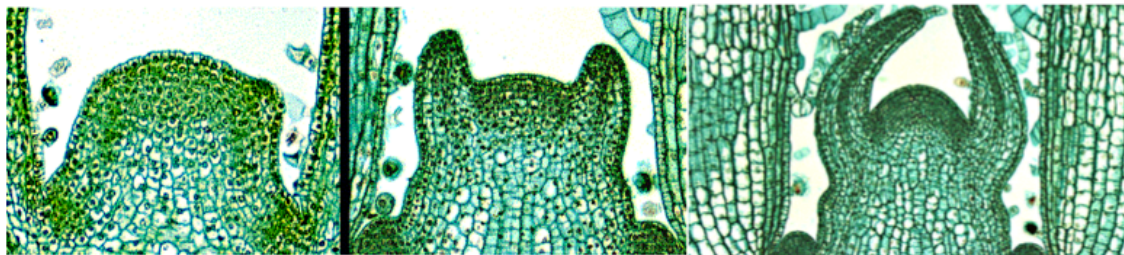
Es un crecimiento indiscriminado que aumenta la longitud y el tamaño de la planta.

En el tallo, cada sección de crecimiento (entrenudo) va dejando atrás (junto al nudo o zona de unión de la hoja) una **yema axilar** (junto a la axila de la hoja). Es un meristemo inactivo. Cuando la planta florece o produce una nueva rama, el inhibidor hormonal que lo mantiene inactivo es eliminado y el meristemo se vuelve activo.

Yema apical del tallo

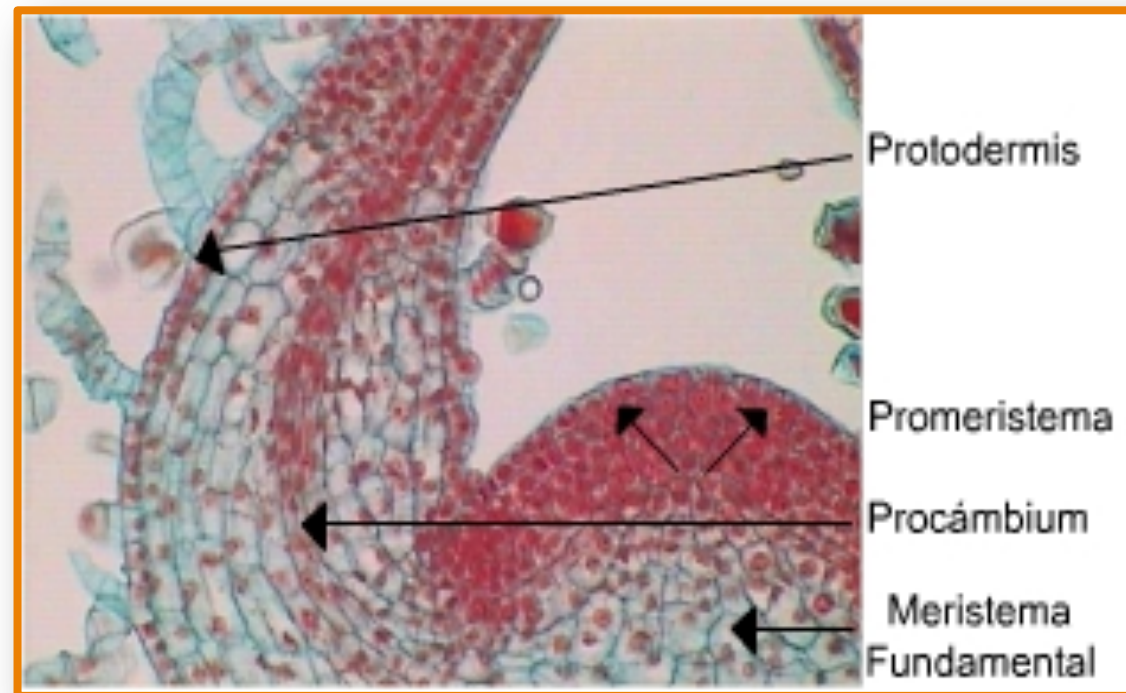


Banco de imágenes sobre anatomía de plantas:

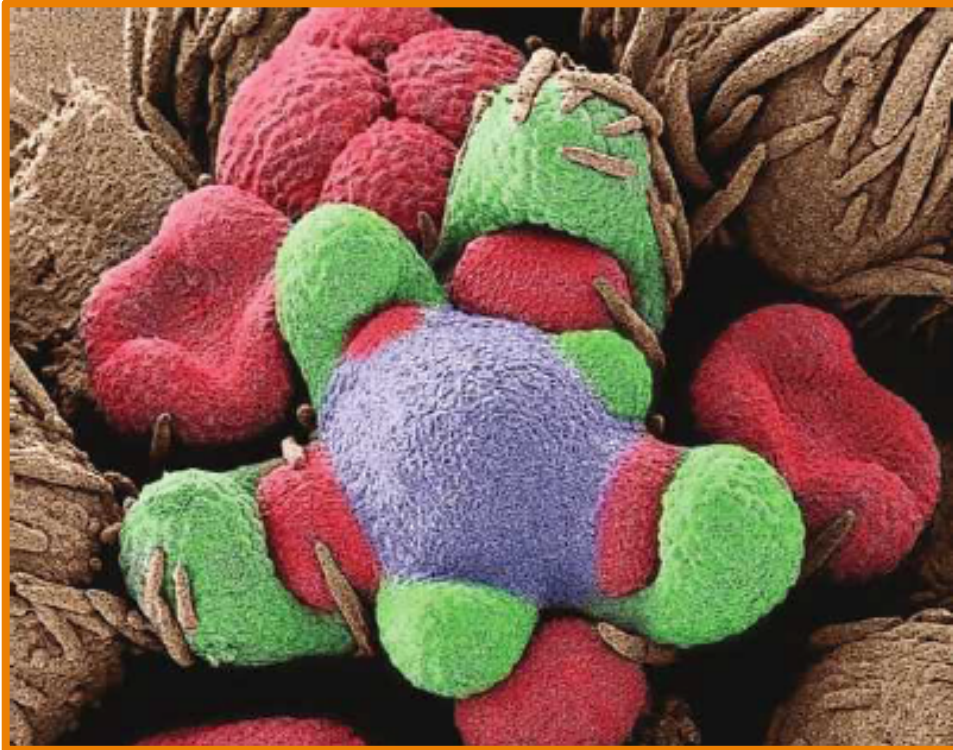




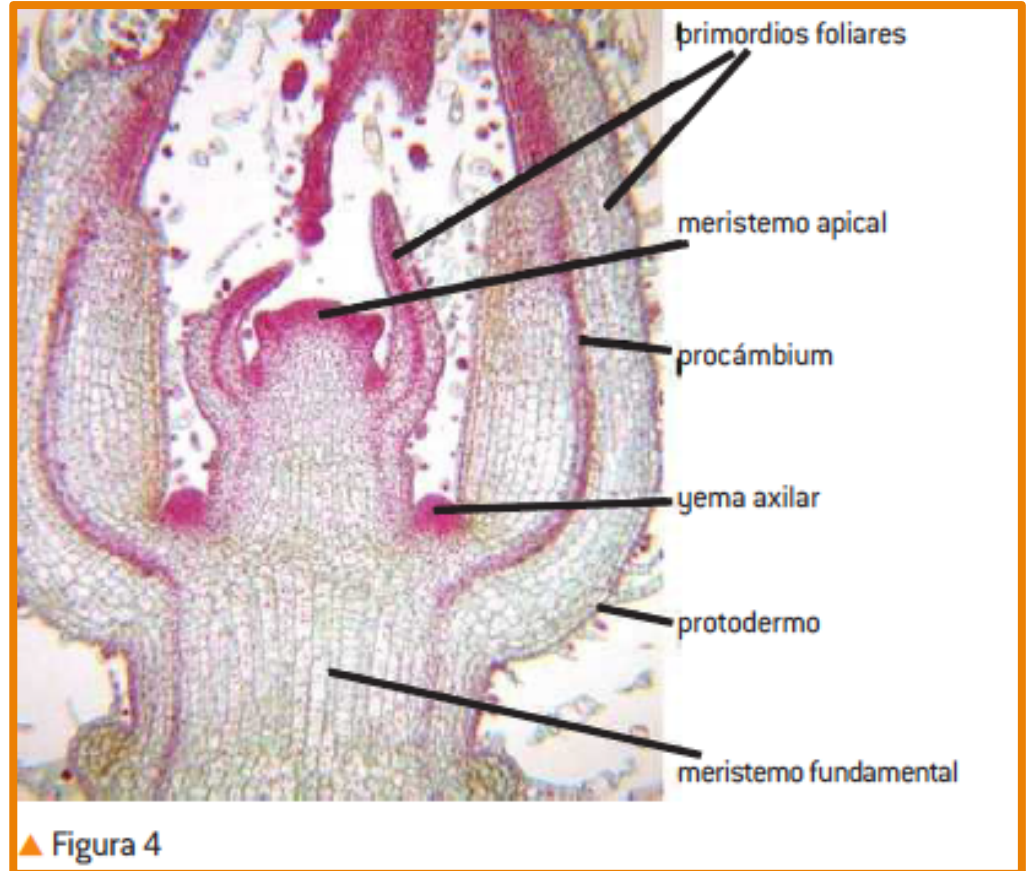
# TIPOS DE TEJIDOS MERISTEMÁTICOS PRIMARIOS



Apical (caulinar y radical)  
Intercalar



Yema floral en desarrollo en **un meristemo apical del tallo de Clarkia xantiana**. El meristemo apical del tallo es donde se produce el crecimiento nuevo en una planta de flores. Se están desarrollando yemas forales ( rojo) entre las axilas foliares (verde) , alrededor de la cúpula del meristemo foral (azul) .

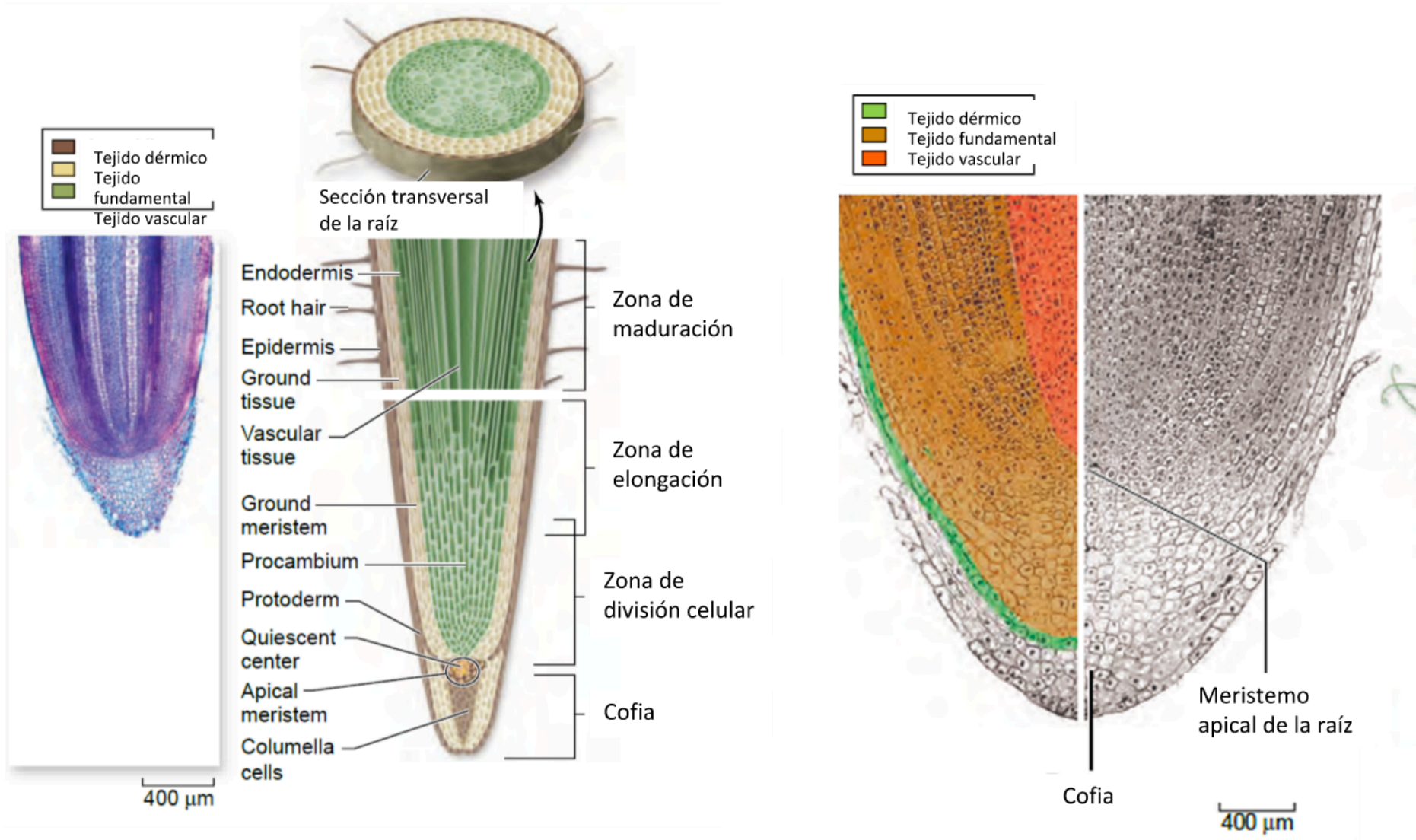


Muestra la posición de estos tejidos y algunos de los tejidos a los que dan lugar. Las influencias químicas también desempeñan un papel importante en la determinación de que tipo de tejido especializado se desarrolla a partir de las células vegetales no especializadas. **A los lados de los meristemos apicales del tallo se producen hojas jóvenes, que aparecen como pequeñas protuberancias conocidas como primordios foliares.**

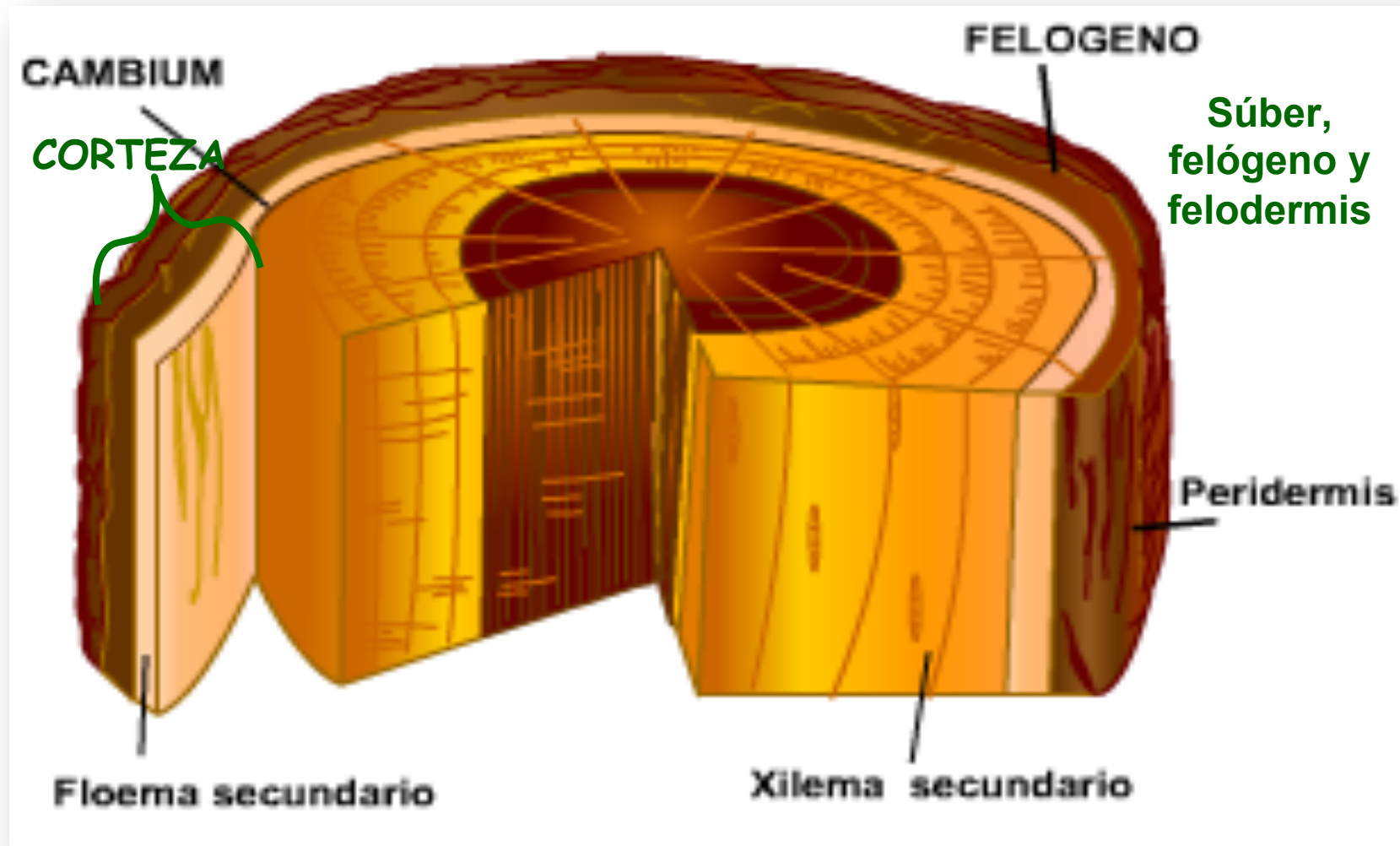


# Crecimiento de la planta: meristemas apicales

El meristemo apical de la raíz está protegido por la cofia, caliptra o pilorriza. Las células meristemáticas se dividen continuamente, una o dos veces al día (cada 12-36 horas)



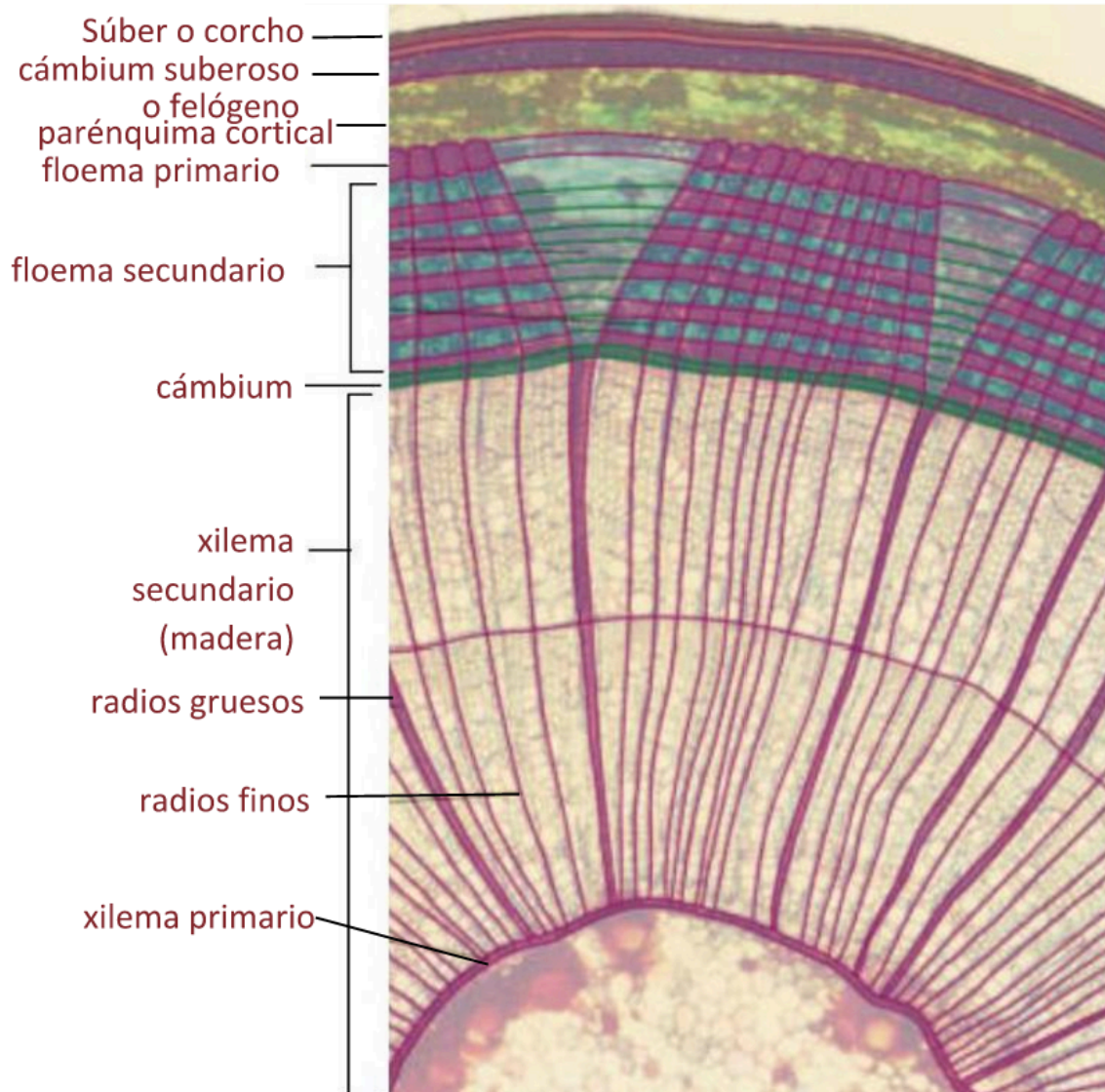
# MERISTEMOS SECUNDARIOS



**Cámbium:** origina xilema y floema secundarios

**Felógeno:** origina el súber y el parénquima cortical (felodermis).

# Crecimiento de la planta: Meristemos laterales (sólo en Dicotiledóneas y Gimnospermas)

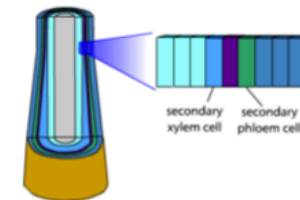


A medida que la planta crece en altura tiene que soportar una masa extra. Los meristemos laterales son anillos periféricos de tejido meristemático que permiten que el tallo y la raíz puedan crecer en grosor. Son dos:

- El **cámbium** (o **cámbium vascular**) produce un crecimiento extra del tejido vascular que se acumula en el interior del tallo o de la raíz, originando el xilema y el floema secundarios.
- El **felógeno** (o **cámbium suberoso**), situado bajo la corteza externa, produce la peridermis, corcho o súber, capas protectoras.

Anillo de crecimiento anual

Animación: crecimiento secundario



RETO | STOP | CONTINUO 3 / 4

<http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/content/chp35/35020.html>

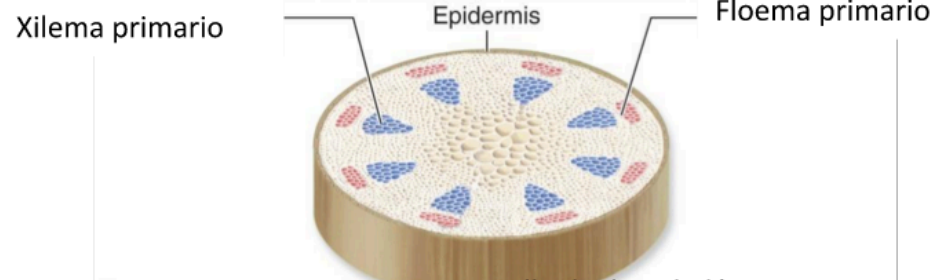


# Crecimiento secundario

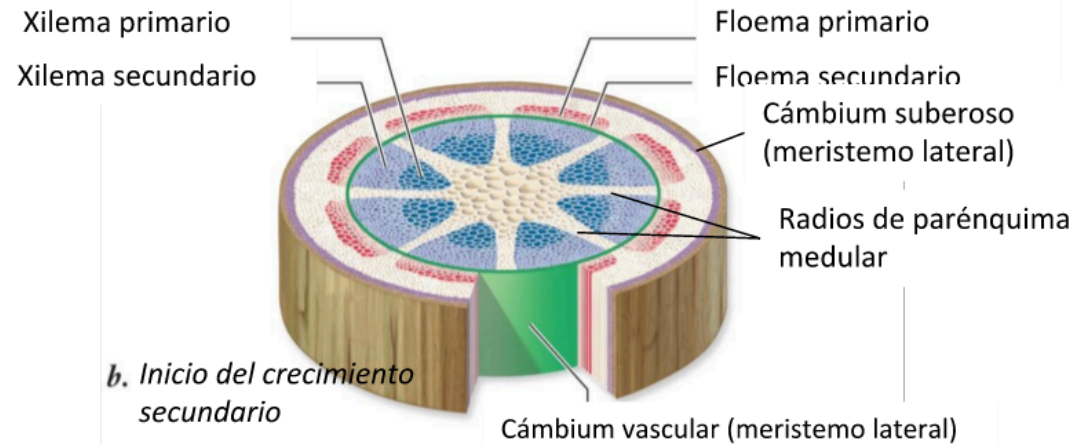
Los meristemas laterales producen la **estructura secundaria** de tallos y raíces en Dicotiledóneas y Gimnospermas. Los tejidos secundarios que se forman son:

- **Cámbium vascular:** produce xilema secundario (con vasos lignificados resistentes o madera) hacia el interior y floema secundario hacia el exterior.
- **Cámbium suberoso o felógeno:** produce corcho o súber (peridermis con células suberificadas impermeables) hacia el exterior.

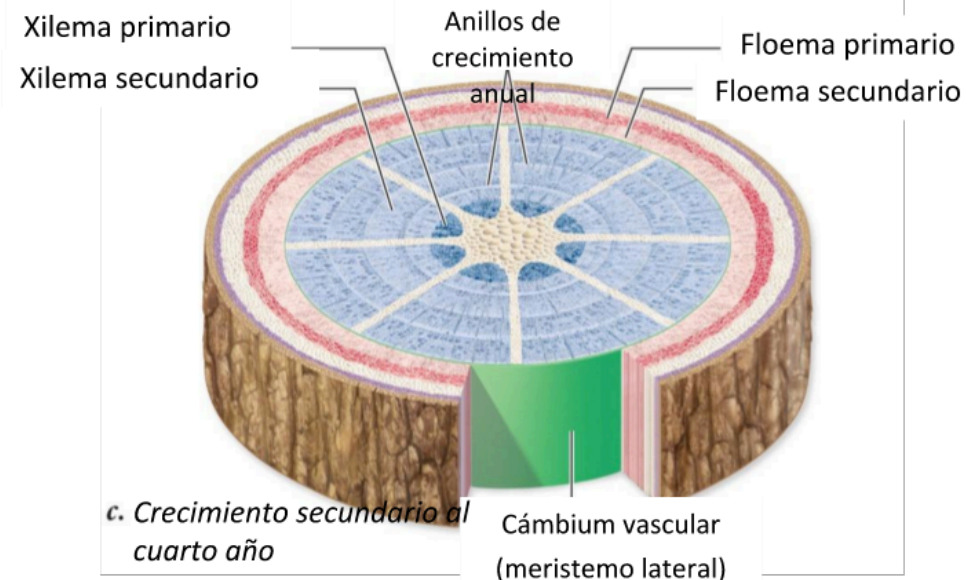
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for r



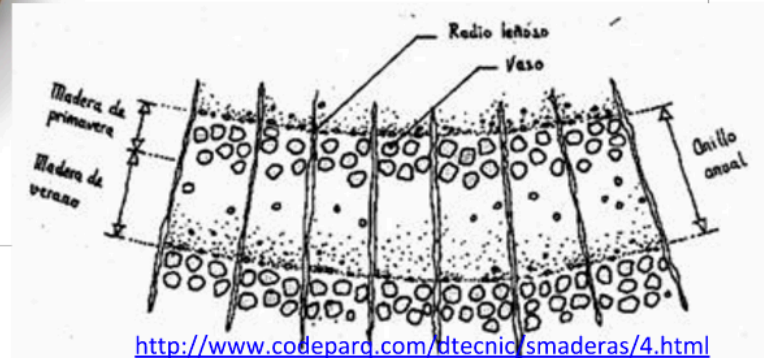
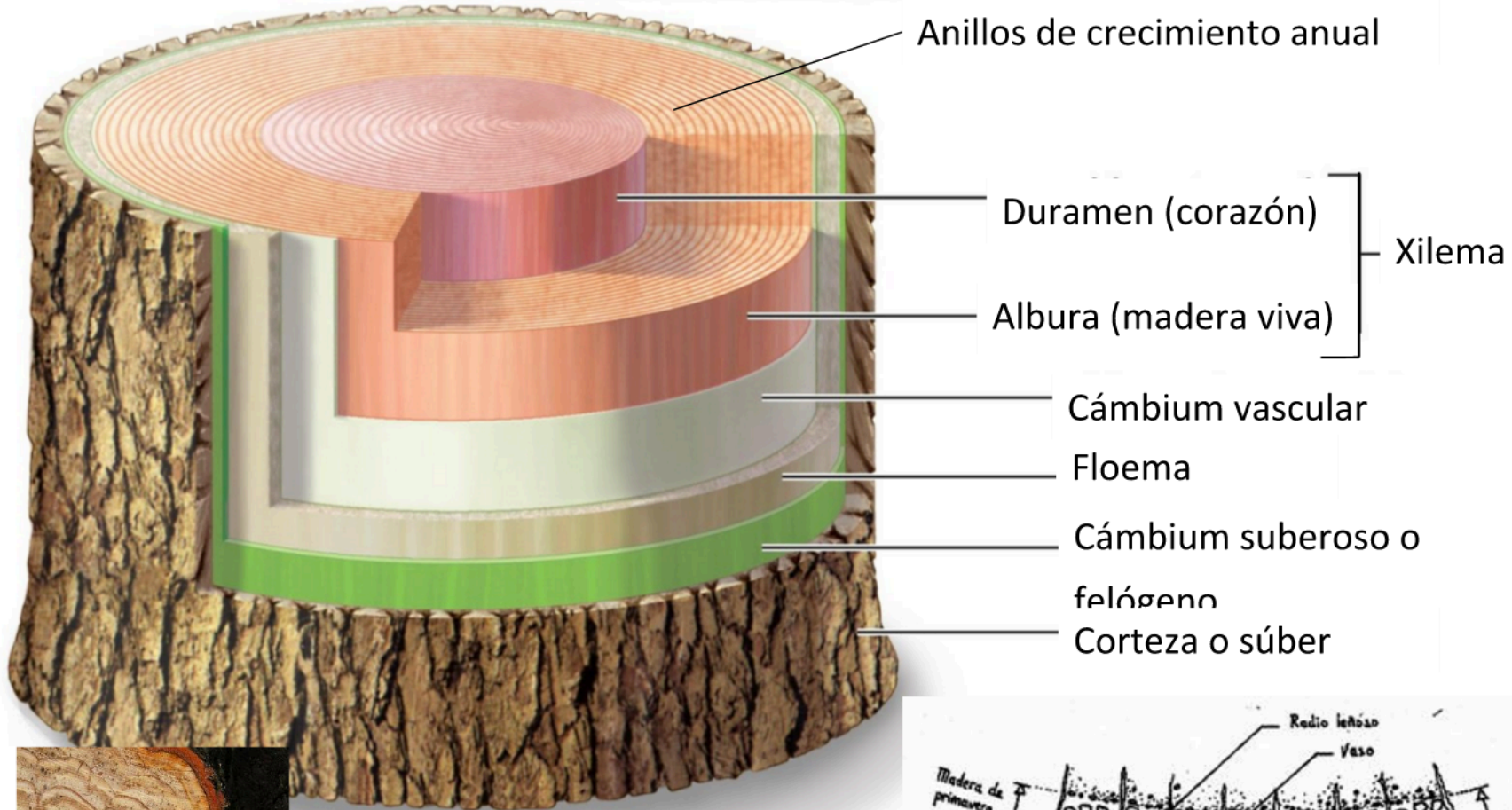
a. Crecimiento primario en un tallo de dicotiledónea



b. Inicio del crecimiento secundario



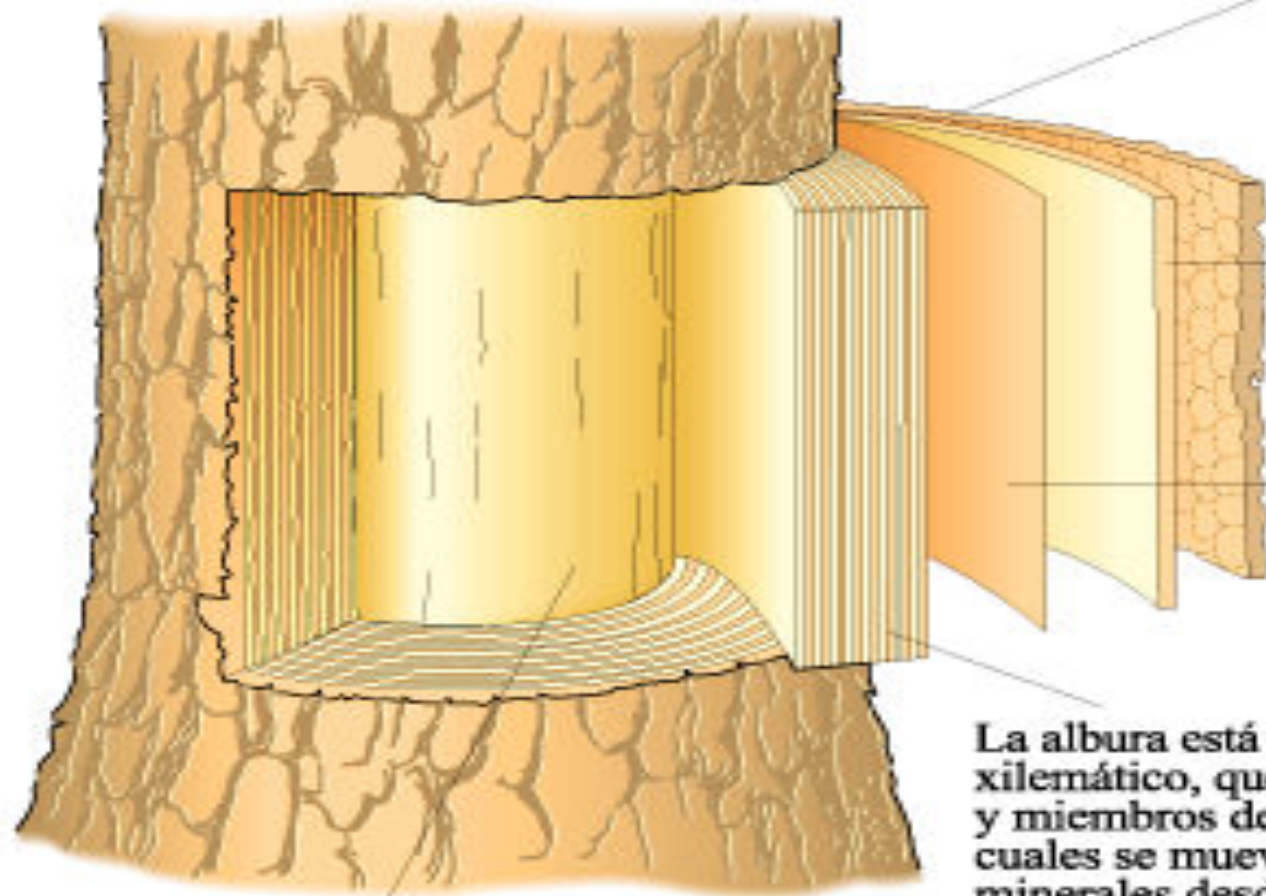
c. Crecimiento secundario al cuarto año



Los anillo anuales revelan el patrón de crecimiento de las células: los vasos crecen más y tienen mayor diámetro en épocas de lluvias (leño de primavera) y son más estrechos en épocas de sequía (leño de verano).



El corcho es un tejido muerto que protege los tejidos interiores de la desecación, del daño mecánico y de los insectos y otros herbívoros. El corcho, el cambio suberoso y el floema juntos constituyen la corteza del tronco.



El floema conduce los azúcares producidos por fotosíntesis a las raíces y a otras partes vivientes no fotosintéticas de la planta.

El cambio vascular produce xilema secundario y floema secundario.

La albura está constituida por tejido xilemático, que contiene las traqueidas y miembros del vaso, a través de los cuales se mueven el agua y los minerales desde el suelo a las hojas y a otras partes vivientes del árbol. Cuando mueren las células parenquimáticas vivas del xilema, la albura se transforma en duramen.

El duramen, compuesto enteramente de células muertas, es la columna central de soporte del árbol adulto.





### 3. Las hormonas vegetales influyen en el crecimiento de los brotes.

#### Término clave

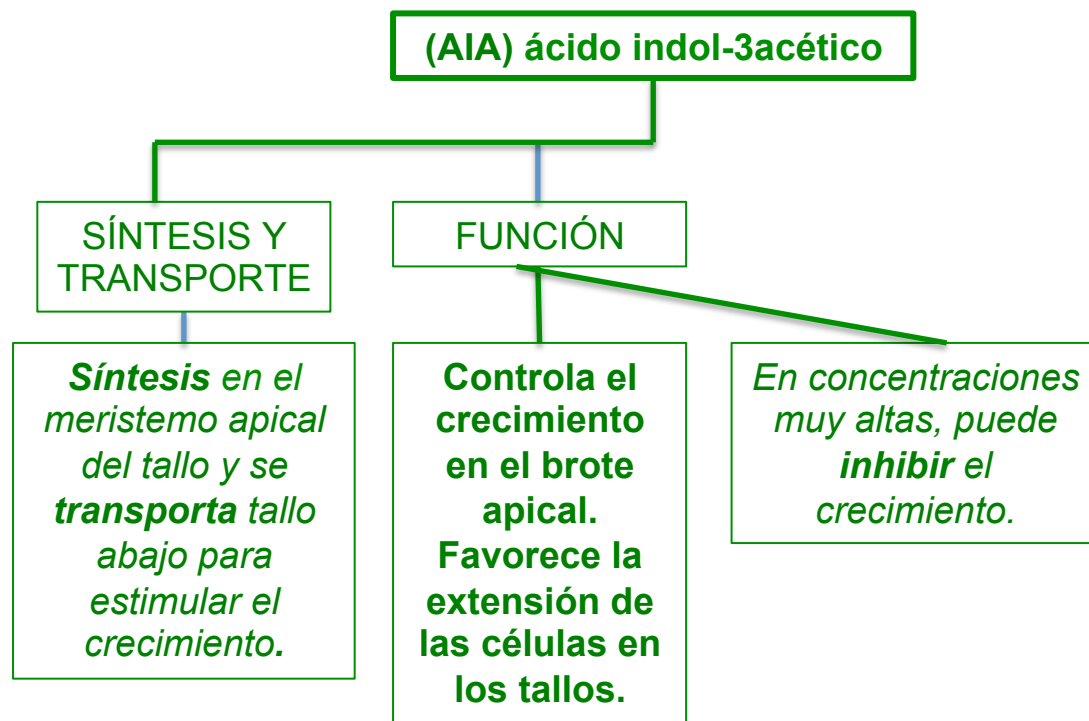
*Las hormonas vegetales o fitohormonas controlan el crecimiento en el brote apical.*

Una **hormona** es un mensaje químico que se produce y libera en una parte de un organismo para causar un efecto en otra parte del organismo.

Las **auxinas son hormonas que tienen una amplia gama de funciones ( incluida la iniciación del crecimiento de las raíces) , influyen en el desarrollo de los frutos y regulan el desarrollo foliar.**

Para **regular el crecimiento de la planta** las auxinas incrementan la actividad bioquímica de las células y facilitan la entrada de agua a sus vacuolas, lo que produce turgencia de la célula: al aumentar la plasticidad de la pared vegetal de celulosa, la célula se alarga. Estas fitohormonas hacen que aumente, asimismo, la actividad del cámbium y, como consecuencia, también el grosor de la planta. **Regulan el crecimiento en sentido vertical.** Se producen en los ápices del tallo y de la raíz de la planta. Inhiben el crecimiento de las yemas axilares, lo que estimula el crecimiento de la yema apical (**dominancia apical**) y, con ello, el crecimiento vertical del tallo.

**Regulan la caída de hojas, flores y frutos.** La señal que desencadena esta respuesta es el descenso de su concentración debido al envejecimiento.

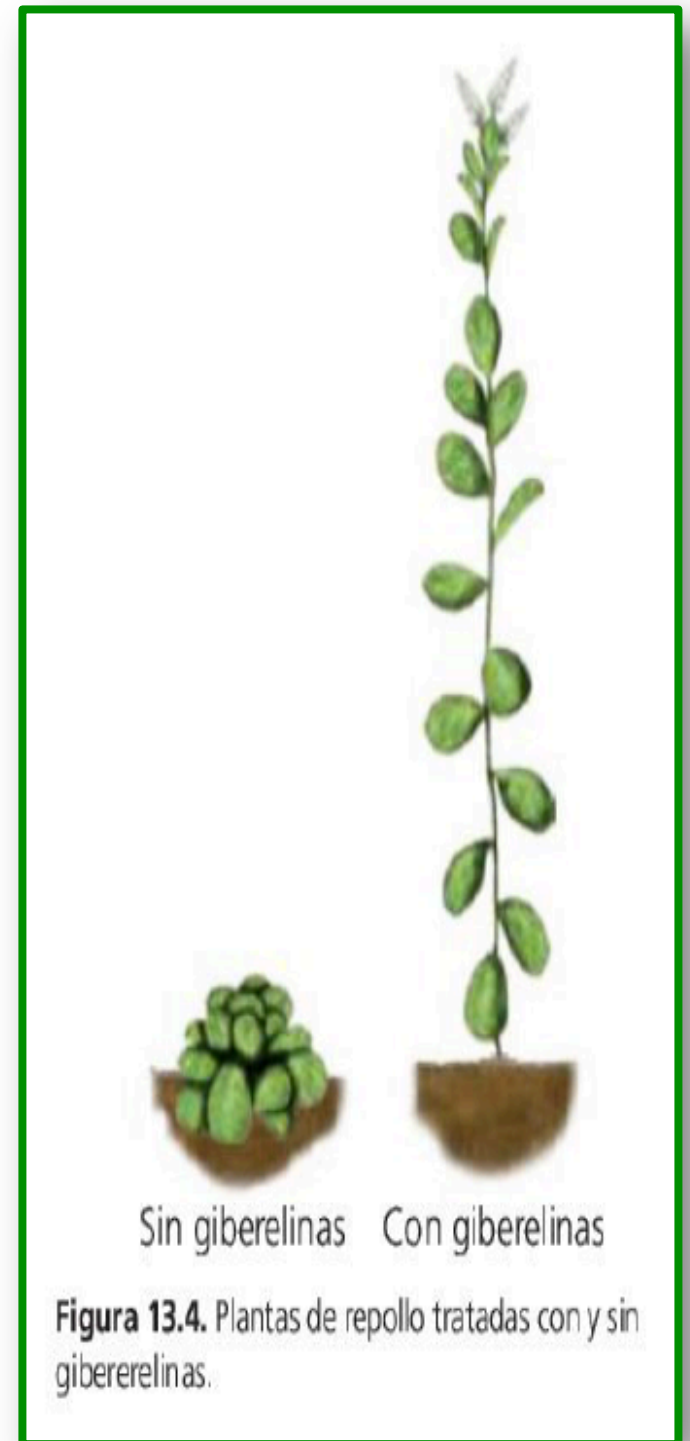


**La auxina más abundante es el ácido indol-3-acético (AIA) .**

Las **yemas axilares** son brotes que **se forman en el nudo** o la **intersección del tallo y la base de una hoja**. A medida que el meristemo apical del tallo crece y forma las hojas, algunas partes del meristemo se quedan atrás en el nudo.

El **crecimiento en estos nudos es inhibido por las auxinas que produce el meristemo apical del tallo: esto se denomina dominancia apical**. Cuanto más lejos está un nudo del meristemo apical del tallo, menor será la concentración de auxinas y menos probable que esta concentración inhiba el crecimiento en la yema axilar. Además, las hormonas **citoquininas** producidas en la raíz favorecen el crecimiento de la yema axilar (**fomenta nuevos brotes para inducir el crecimiento, y además, retrasan el envejecimiento y detienen la caída de las hojas**). **La proporción relativa de citoquininas y auxinas determina si la yema axilar se desarrollará o no, pues ambas hormonas tienen funciones antagónicas**.

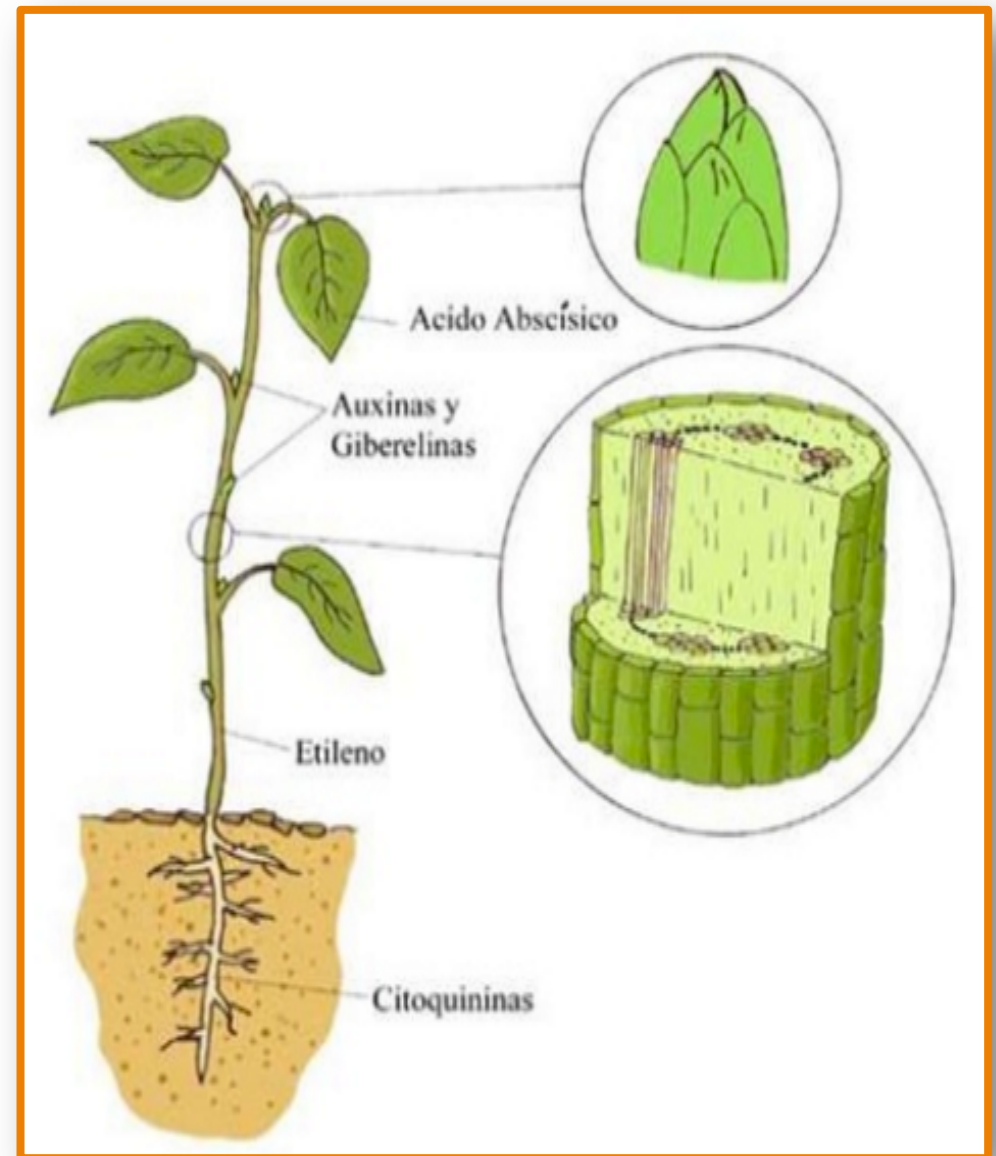
Las **giberelinas** son otro tipo de hormonas que también contribuyen a la extensión del tallo. (**Estimulan la germinación de las semillas, inducen el alargamiento del tallo y favorecen el crecimiento de yemas florales y frutos, entre otras acciones**). La giberelina más conocida es el **ácido giberélico** se forma en los meristemos del tallo y su síntesis está regulada por el fotoperíodo. (En agricultura comercial, se rocían las plantas con ellas para conseguir frutos de mayor tamaño sin fecundación previa y, por lo tanto, sin semillas)



## Ácido abscísico o ABA

Efecto antagónico a las giberelinas, *inhibe el crecimiento de la planta, la germinación de las semillas y el desarrollo de sus yemas*. Su concentración aumenta cuando las condiciones ambientales son extremas por frío, sequía o salinidad. Se cree que intervienen en el cierre de los estomas para evitar la pérdida de agua en casos de sequía.

**Etileno**, fitohormona *responsable de la maduración de los frutos, de la caída de las hojas y el envejecimiento de las flores. Inhibe el crecimiento*. Es gaseoso a temperatura ambiente. Es muy utilizada para acelerar la maduración de los frutos.



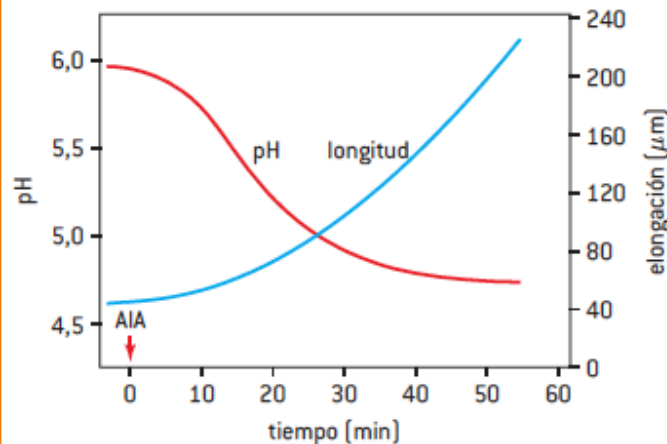




**Preguntas basadas en datos: La hipótesis del crecimiento en medio ácido**

La hipótesis de que la auxina favorece el crecimiento en medio ácido dice que la auxina estimula la acción de una bomba de protones ( $H^+$ ). La bomba saca protones de la célula, lo que aumenta la acidez de la pared celular. Esto resulta en la activación de la proteína llamada extensina, que contribuye a la ruptura y la reconstitución de las conexiones entre las fibras de celulosa y los polisacáridos que enlazan con la celulosa. A medida que la pared celular se debilita, la presión de turgencia en el interior de la célula empuja la pared hacia afuera, causando su elongación.

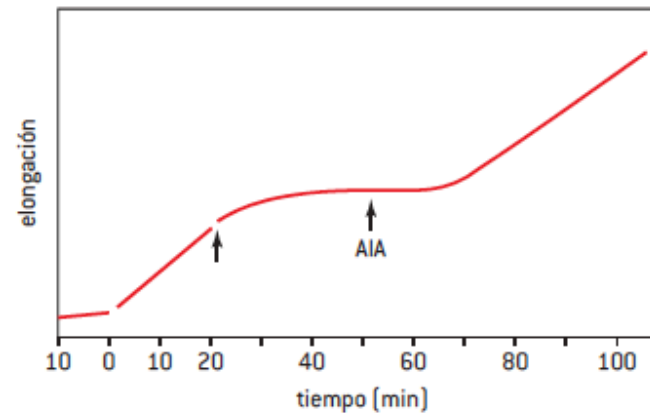
Inicialmente, los brotes tienen una capa protectora llamada coleóptilo. Se sumergieron coleóptilos de avena en una solución que contenía AIA y se determinó el pH de la solución en contacto con los coleóptilos (véase la figura 5).



▲ Figura 5

- a) Sugiere el efecto de la aplicación de AIA en el pH de la solución en contacto con los coleóptilos. [3]
- b) Estima el momento en que se produjo el cambio más grande en la longitud de los coleóptilos. [1]
- c) Resume la relación entre el pH y el cambio de longitud. [2]

En un experimento posterior, los coleóptilos se sumergieron en una solución de pH 3 en tiempo cero. La primera flecha en la figura 6 indica el momento en que se transfirieron los coleóptilos a una solución de pH 7. La segunda flecha indica el momento en que se añadió el AIA.

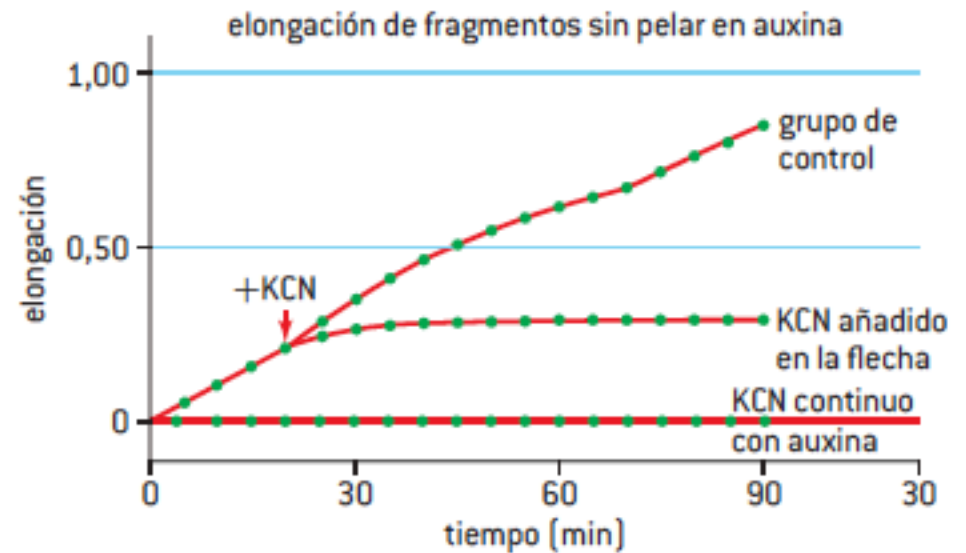


▲ Figura 6

- d) Compara los efectos del pH 3 y del pH 7 en la elongación.
- e) Indica el efecto de añadir el AIA en la elongación.

Para comprobar la hipótesis de que el transporte activo desempeña una función en el mecanismo de acción de la auxina, se añadió un inhibidor de la respiración celular (cianuro de potasio, KCN) a un grupo experimental continuamente, y a otro grupo cuando indica la flecha. A un tercer grupo de control no se le añadió KCN.

- f) Indica el efecto de añadir el KCN en la elongación.
- g) ¿En qué medida apoyan estos datos la conclusión de que la auxina estimula el transporte activo de protones hacia fuera del brote y que estos protones favorecen la elongación?

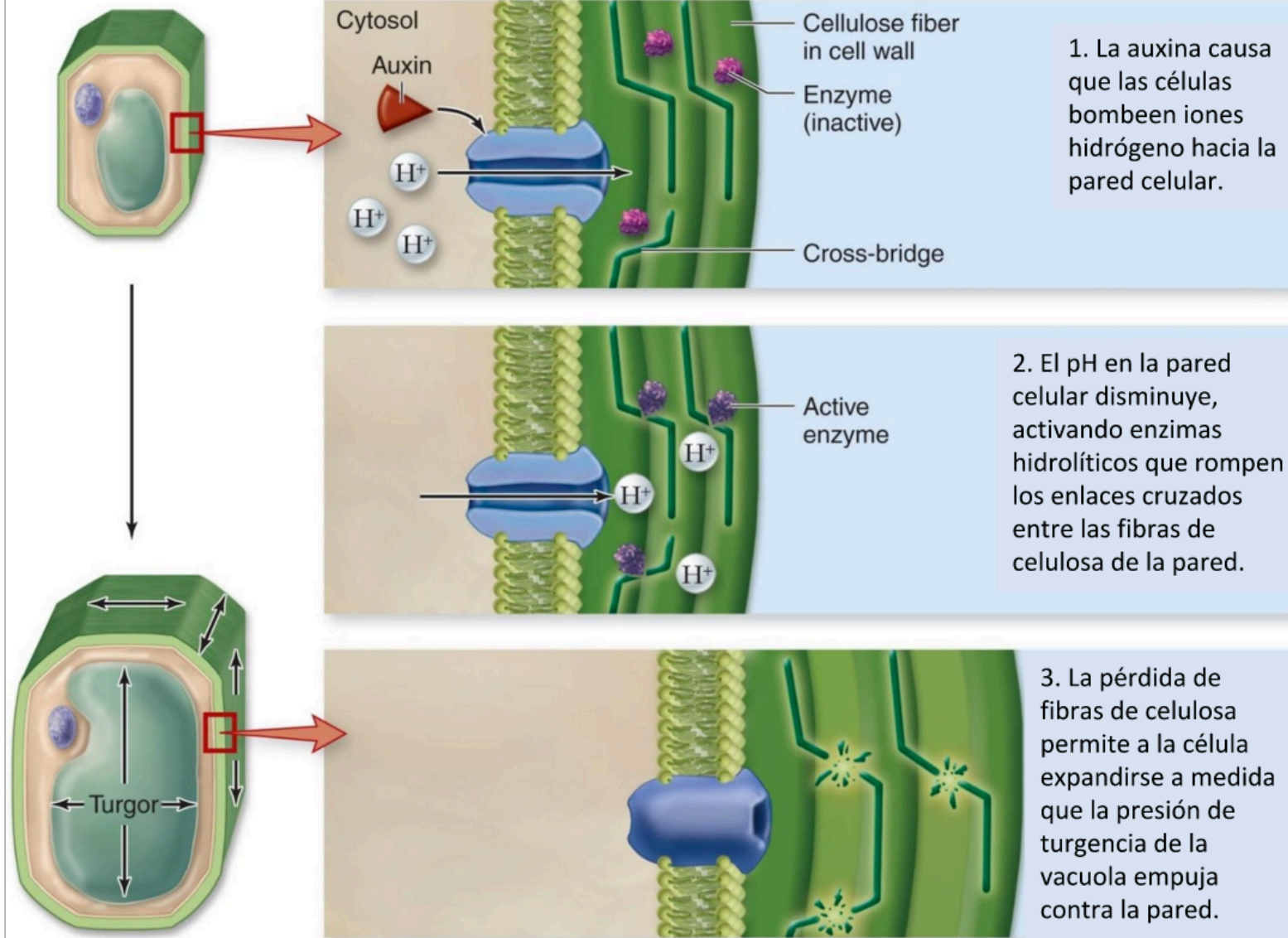


▲ Figura 7

# Mecanismo de acción de la auxina: la hipótesis del crecimiento ácido.

La auxina promueve la hidrólisis de las fibras de celulosa de la pared primaria, permitiendo que la célula se alargue debido a la presión de turgencia de sus vacuolas.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





## 4. Tropismos de las plantas

### Término clave

*Las plantas responden al medio ambiente mediante tropismos.*

*Las plantas utilizan hormonas para controlar el crecimiento de los tallos y las raíces. Tanto la tasa como la dirección del crecimiento están controladas.*

La **dirección en la que crecen los tallos** puede estar influenciada por dos estímulos externos: **la luz y la gravedad**.

Los tallos crecen hacia la fuente de luz más intensa o, en ausencia de luz, crecen hacia arriba, en la dirección opuesta a la gravedad. Este crecimiento dirigido en respuesta a estímulos externos se conoce como tropismo. Al crecimiento hacia la luz se le llama **fototropismo** y al crecimiento en respuesta a la fuerza de gravedad se le denomina **gravitropismo o geotropismo**.



*Planta creciendo hacia una fuente de luz a la izquierda. Este tipo de crecimiento dirigido de las plantas en respuesta a la luz se llama fototropismo*

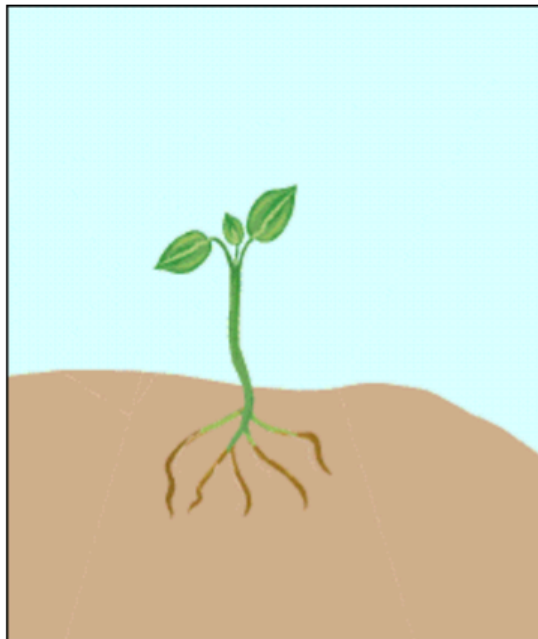


# Tropismos

Son respuestas de crecimiento direccional de las plantas a estímulos externos. Las respuestas a los estímulos pueden ser positivas (hacia el estímulo) o negativas (alejándose del estímulo).

- **Fototropismo** es un ejemplo de un **tropismo positivo** – el tallo crece en dirección hacia la luz.
- **Gravitropismo** positivo del tallo y negativo de la raíz.
- **Tigmotropismo** positivo de los zarcillos al contacto con algún objeto.

En todos estos fenómenos hay algún mecanismo detector del estímulo y la transducción de la señal a la zona u órgano donde se produce el crecimiento.



Fototropismo



Gravitropismo



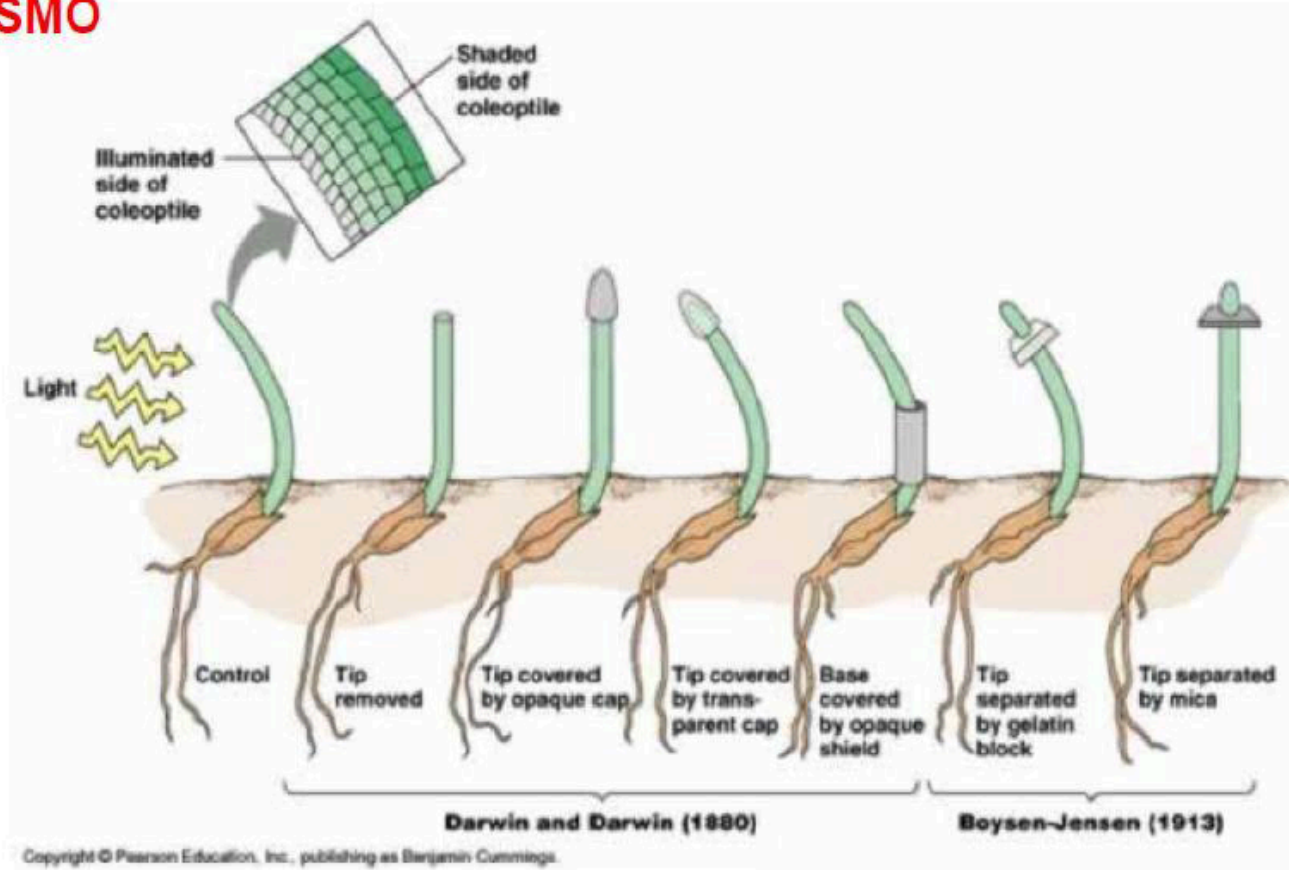
Tigmotropismo

# El descubrimiento de las hormonas vegetales

Charles Darwin y Francis Darwin. *The Power of Movement in Plants*. 1881.

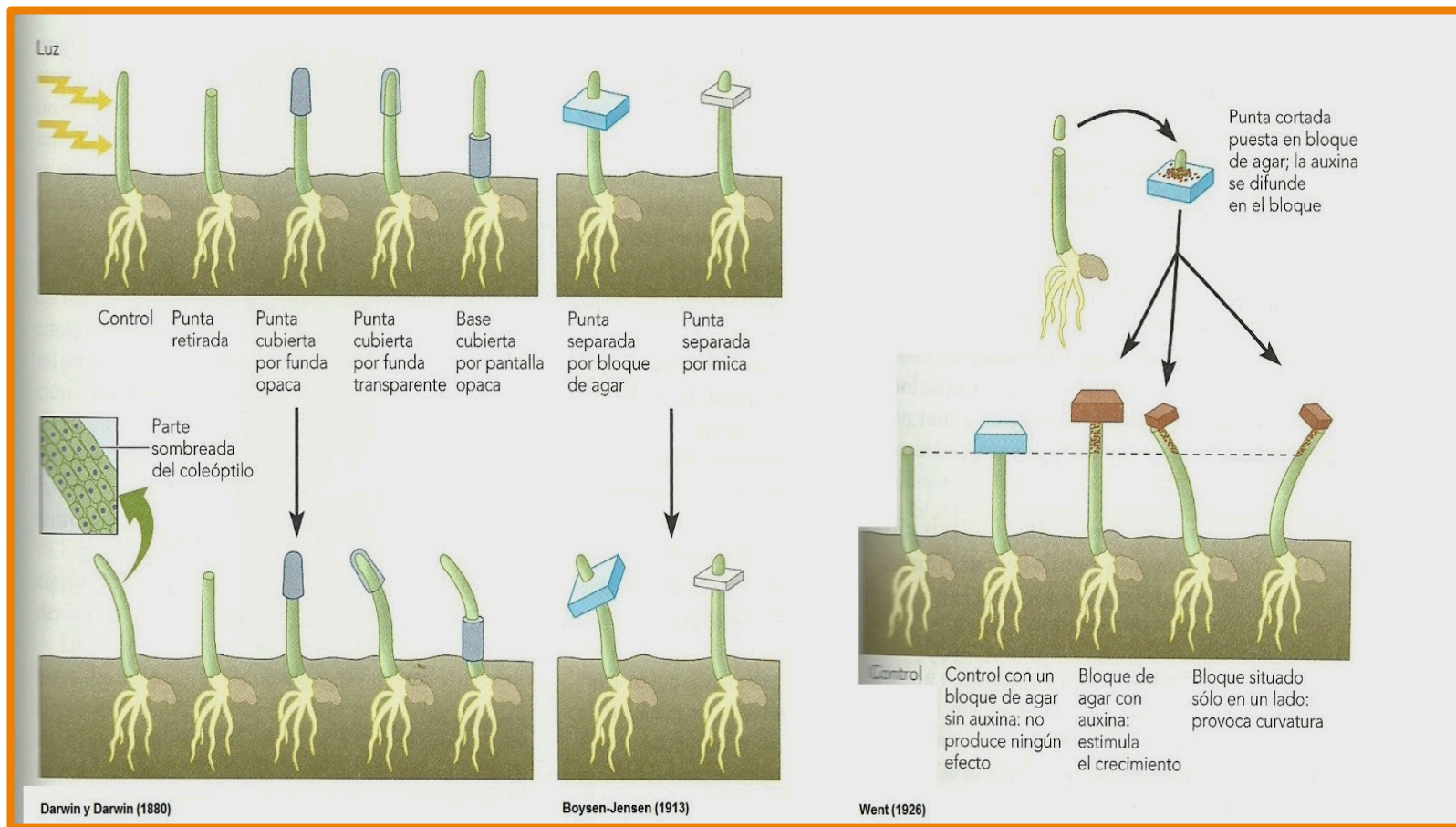
## FOTOTROPISMO

Irradiación  
unilateral



*Debemos concluir, por tanto, — escribieron — que cuando las plántulas son expuestas libremente a una luz lateral se transmite cierta influencia desde la parte superior a la parte inferior, que obliga a la planta a encorvarse."*

Demostró que la señal era un compuesto químico



Los experimentos realizados en 1880 por **Charles Darwin y su hijo Francis** fueron la base de dicho descubrimiento. Los Darwin observaron que una plántula de gramínea se curva hacia la luz sólo si la punta del coleóptilo, es decir, la vaina que cubre el vástago de dicha plántula, está presente. Si retiramos la punta o la cubrimos con una funda opaca, no se produce curvatura. Los Darwin concluyeron que la punta del coleóptilo recibe la luz y envía una señal descendente a través del coleóptilo a la región que se alarga y curva.

En 1913, el botánico danés **Peter Boysen-Jensen** descubrió que dicha señal es móvil y puede atravesar agar permeable, pero no mica impermeable.

En 1926, un holandés recién licenciado, de nombre **Fritz Went**, retiró puntas de coleóptilos, las puso en bloques de agar y descubrió que en el agar se acumulaba una sustancia que inducía el crecimiento cuando dichos bloques se situaban en coleóptilos con las puntas retiradas. Went llamó a esta sustancia auxina (del griego auxein, "aumentar"). Pero Went fue más allá. Observó que si colocaba el bloque en la mitad de la superficie cortada de la punta, el coleóptilo sólo crecería en ese lado. Más tarde, en 1931, se determinó que la forma estructural de la auxina era la del ácido indolacético (AIA).



Charles Darwin y su hijo Francis realizaron, en 1880, algunos de los primeros experimentos sobre fototropismo. Trabajando con plántulas de gramíneas, fueron capaces de determinar que ciertas zonas de las plantas son las que perciben el estímulo necesario para que ocurra la curvatura hacia la luz. En efecto, ellos observaron que la curvatura ocurre por debajo del ápice, en una parte inferior del coleóptilo

Figura animada 46-2. El experimento de los Darwin

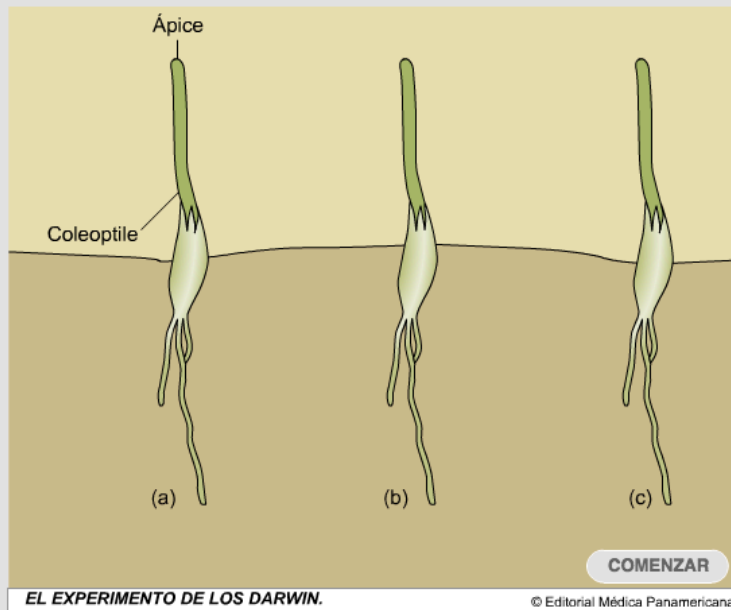
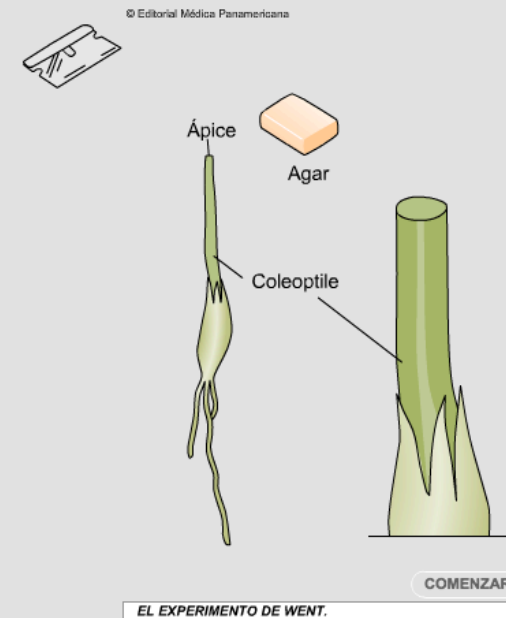


Figura animada 46-3. El experimento de Went



<http://www.curtisbiologia.com/node/1492>

<http://www.curtisbiologia.com/node/1493>

- La luz que incide en un coleóptilo en crecimiento (como el ápice de esta plántula de avena) hace que se curve hacia ella.
- La colocación de una cubierta opaca sobre el extremo de la plántula inhibe su curvatura, pero un collar opaco ubicado por debajo del ápice no la inhibe. Estos experimentos indican que "algo" producido en el ápice de la plántula, y transmitido hacia abajo en el tallo, provoca la curvatura.



## 5. Las auxinas influyen en la expresión génica.

### Término clave

*Las auxinas influyen en las tasas de crecimiento celular mediante la modificación del patrón de la expresión génica.*

El primer paso del fototropismo es la absorción de luz por los **fotorreceptores**. Esta función la realizan unas **proteínas** llamadas **fototropinas** que, cuando absorben luz de una longitud de onda adecuada, cambian de conformación. Así, las fototropinas **pueden unirse a receptores** dentro de la célula que **controlan la transcripción de genes específicos**. Aunque todavía es necesario seguir investigando en este campo, *parece probable que los genes en cuestión sean los que codifican un grupo de glicoproteínas* llamadas **proteínas PIN3**, situadas en la *membrana plasmática de las células del tallo*, que transportan la hormona vegetal auxina de una célula a otra.



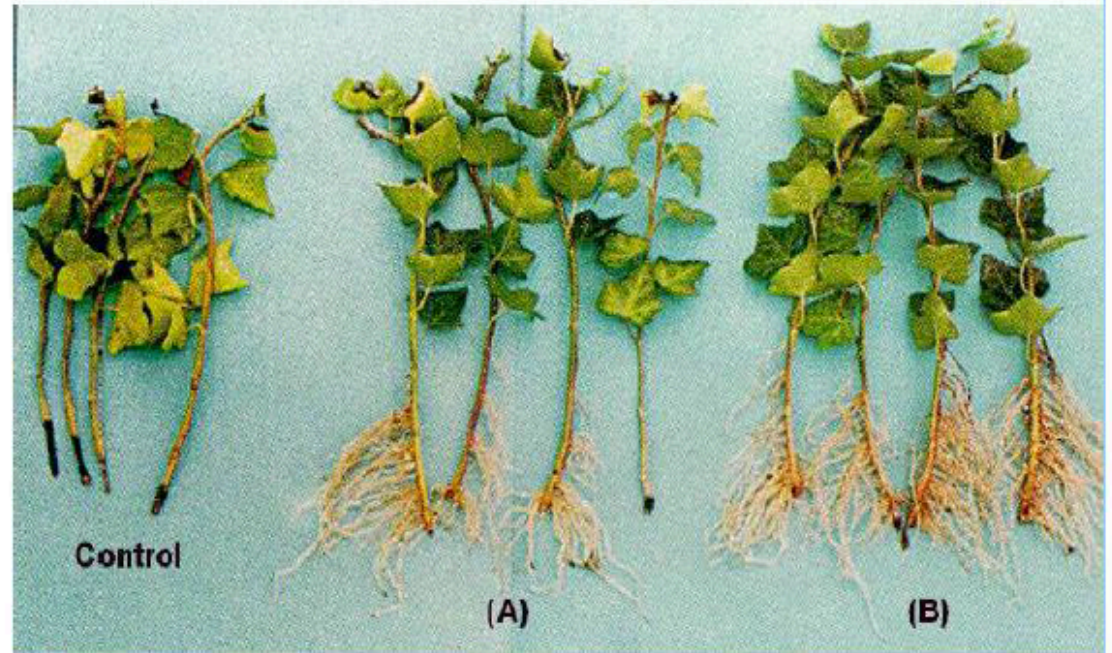
Una semilla de *Brassica napus* mostrando gravitropismo



## Las auxinas promueven la formación de las raíces laterales o adventicias



El pecíolo de la hoja de *Violeta africana* (izquierda) se ha colocado en una solución de auxina sintética durante 10 días antes de tomar la fotografía. El pecíolo de la hoja de la derecha ha estado en agua destilada.

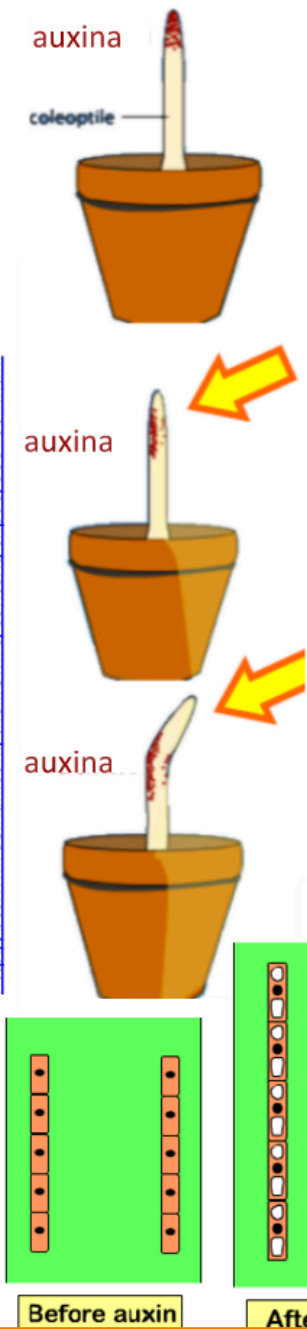


Esquejes de *Ilex opaca*. El extremo de los tallos se sumerge durante 5 segundos en soluciones conteniendo 50% de etanol y 0.01% (A) y 0.5% (B) de ácido naftalénacético, NAA (una auxina sintética).

**Las auxinas a bajas concentraciones ( $10^{-10}$  -  $10^{-9}$  M) estimulan el crecimiento de las raíces primarias.**

# Auxinas: hormonas vegetales que promueven la elongación y el crecimiento adaptativo de los tallos.

<http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/content/chp38/3802001.html>



Darwin la estudió en el coleoptilo de la avena, una funda protectora que envuelve al cotiledón de las gramíneas cuando las semillas germinan.

En condiciones normales, la auxina se distribuye por igual a lo largo del coleoptilo, produciendo un crecimiento uniforme en vertical.

Si los **fotorreceptores** del coleoptilo detectan el estímulo de la luz desde una dirección, la auxina se mueve al lado opuesto del tallo en crecimiento.

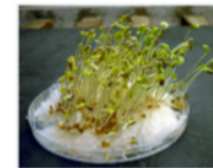
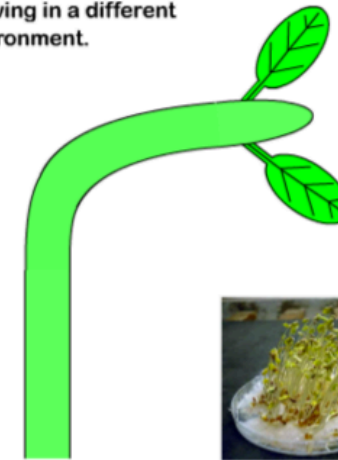
La distribución desigual de la auxina causa una mayor elongación en un lado y la planta crece en dirección hacia la luz.

This young shoot is growing in a different environment.

It is on a windowsill with most light coming from the right.

How is its growth affected by the environment?

How does this response help the plant?



Play

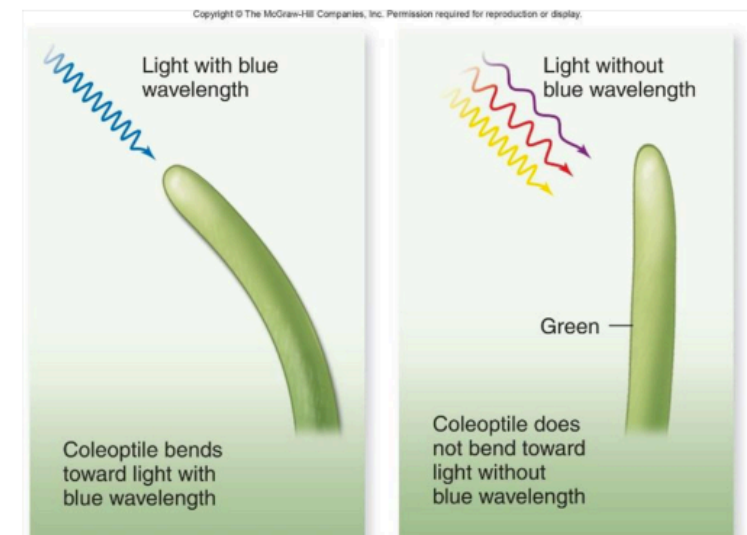
Back

Next

<http://www.kscience.co.uk/animations/auxin.htm>

<http://www.kscience.co.uk/animations/auxin.htm>

Investigaciones recientes demuestran que los fotorreceptores del tallo detectan la luz azul





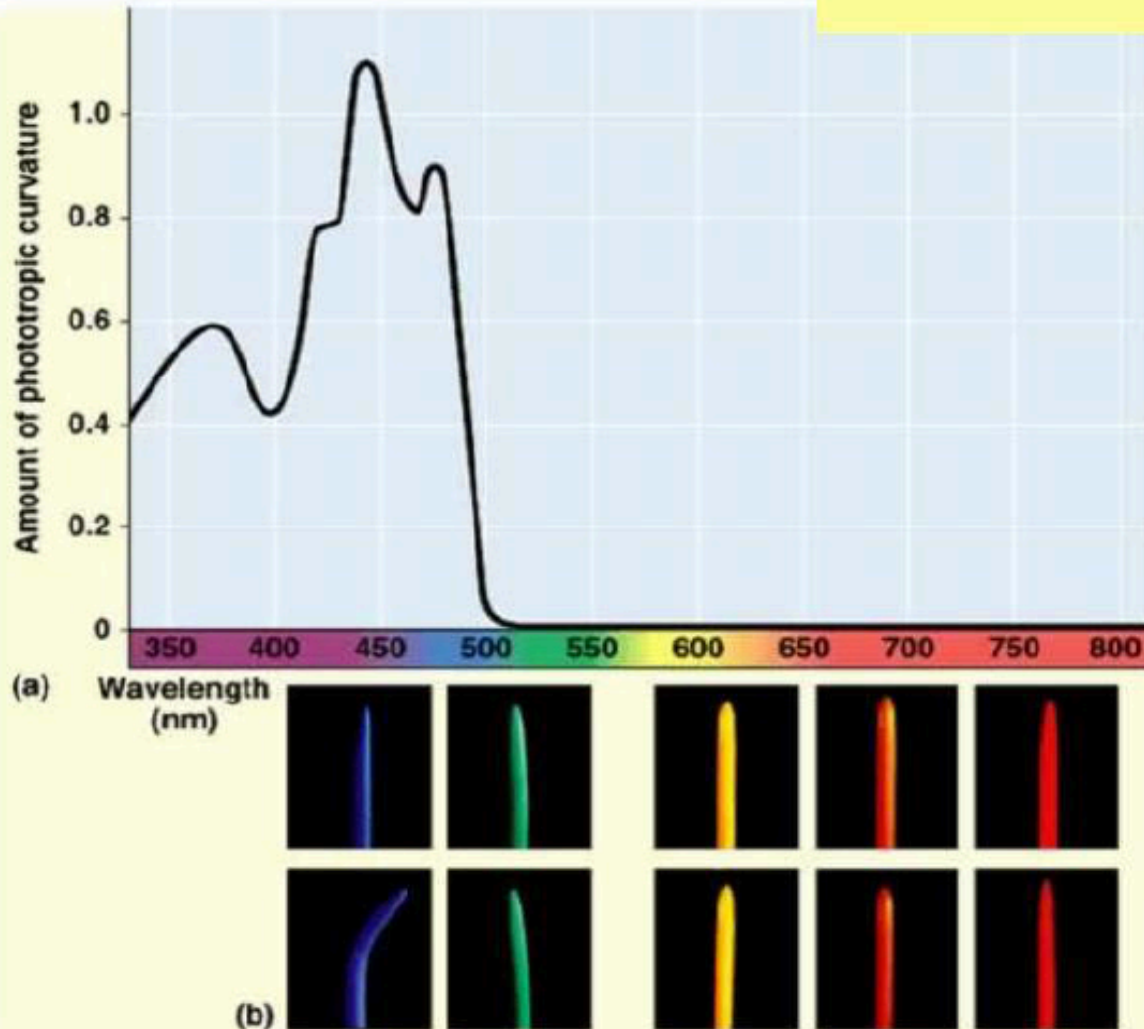
# Respuestas a la luz

**Pregunta.** ¿Qué longitud de onda estimula la curvatura del coleoptilo a la luz?

**Experimento:** Se exponen coleoptilos de maíz (*Zea mays*) a diferentes longitudes de onda para comprobar qué longitud de onda estimula la curvatura. Espectro de acción.

**Resultados.** La gráfica muestra la efectividad de la respuesta fototrópica de la longitud de onda de 436 nm. Las fotografías muestran los coleoptilos antes (arriba) y después de 90 min de exposición. La mayor curvatura se observa con luz inferior a 500 nm y es más pronunciada con luz azul.

**Conclusión.** La curvatura fototrópica hacia la luz está mediada por un fotorreceptor que se estimula con luz azul y violeta pero sobre todo con luz azul.







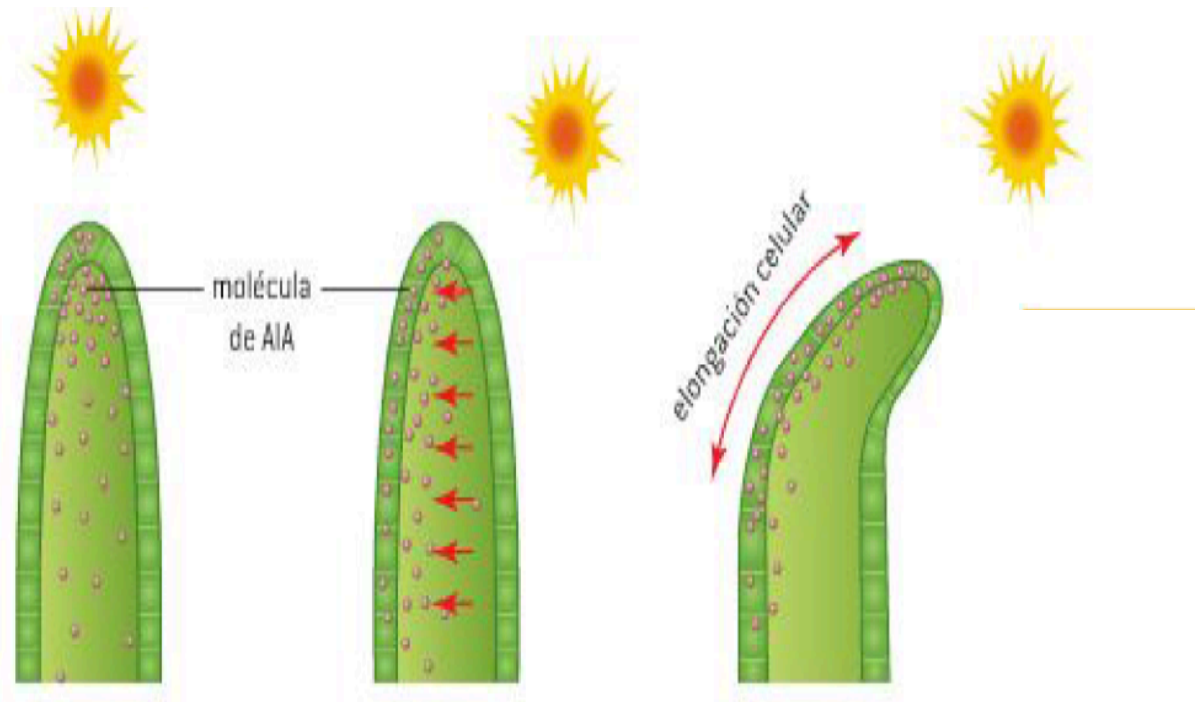
## 6. Bombas intracelulares.

### Término clave

*Las bombas de flujo de auxina pueden establecer gradientes de concentración de auxinas en el tejido vegetal.*

La **posición y el tipo de las proteínas PIN3 pueden variar para transportar la auxina allí donde la planta necesita crecer.**

Si las **fototropinas en la punta detectan una mayor intensidad de luz a un lado del tallo**, la auxina se transportará desde el lado con mayor intensidad de luz hasta el lado más oscuro. La mayor concentración de auxinas en el lado más oscuro del tallo hace que este lado crezca más; así, el tallo crece curvándose hacia la fuente de luz más intensa. De este modo, las hojas del tallo reciben más luz y pueden realizar la fotosíntesis más rápidamente.



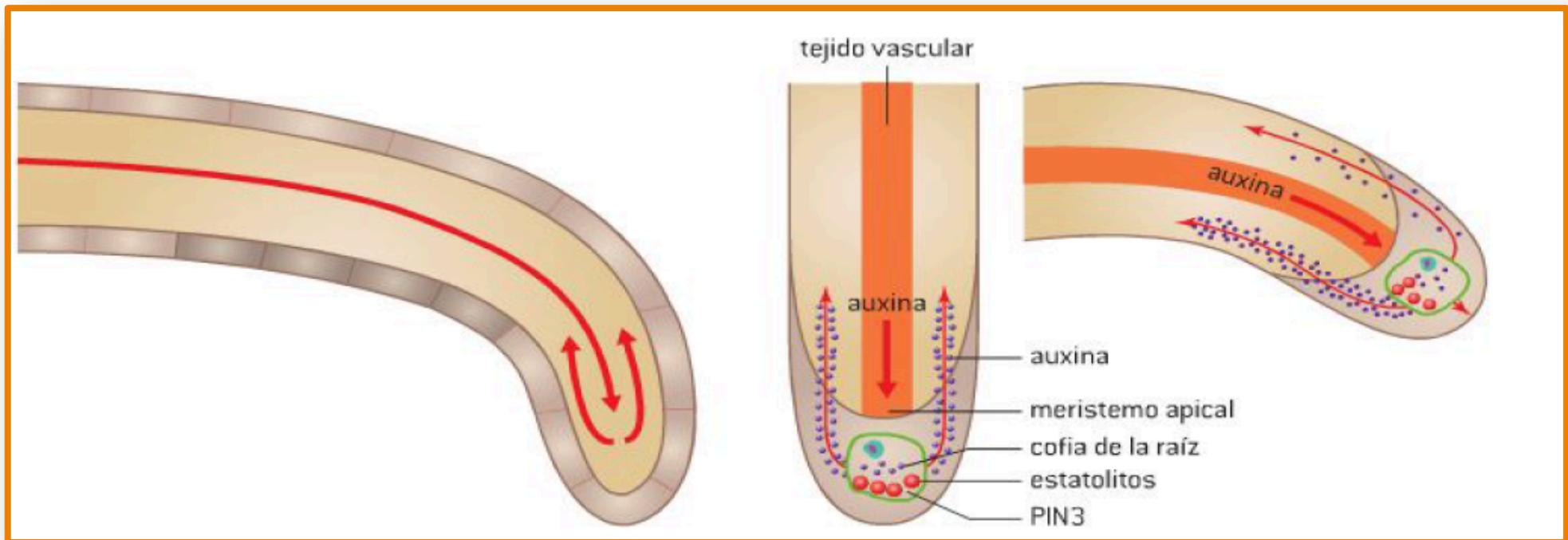
▲ Figura 10

### ACTIVIDAD. Pág 460.

Diseña experimentos para determinar si los “ojos” de las patatas tienen gravitropismo positivo o negativo. ¿Tienen fototropismo positivo o negativo? ¿Hay fototropismo si se arrancan los meristemos apicales?

## GRAVITROPISMO O GEOTROPISMO

El gravitropismo también depende de la auxina. El crecimiento del tallo hacia arriba y de las raíces hacia abajo se produce en respuesta a la gravedad. Si se coloca de lado una raíz, la gravedad hace que unos orgánulos celulares llamados **estatólitos** se acumulen en la parte inferior de las células. Esto resulta en la distribución de proteínas PIN3 que dirigen el transporte de auxinas hacia el fondo de las células. Las altas concentraciones de auxina inhiben la elongación de las células de la raíz; así, las células de la parte superior se alargan más que las células de la parte inferior, haciendo que la raíz se doble hacia abajo. ***Nótese que el efecto de la auxina es opuesto en el tallo y en la raíz: la auxina favorece la elongación en el tallo, pero la inhibe en la raíz.***



## Micropropagación de plantas

### Micropropagación de plantas mediante tejidos del brote apical, geles de agar con nutrientes y hormonas de crecimiento

La micropropagación es un procedimiento *in vitro* que produce grandes cantidades de plantas idénticas.

Se identifica una planta que generalmente tiene alguna característica deseable. La micropropagación depende de la totipotencia de los tejidos vegetales, es decir, de su capacidad para convertirse en cualquier parte funcional de la planta por diferenciación.

Se esterilizan los tejidos de la planta y se cortan en trozos llamados explantes. En la mayoría de los casos, se utiliza como tejido de origen el menos diferenciado, como un meristemo. Los explantes se colocan en medios de cultivo estériles que incluyen hormonas vegetales. Si se incluyen partes iguales de auxina y citoquinina en el medio de cultivo, se formará una masa indiferenciada llamada callo. Si la proporción de auxina con respecto a la citoquinina es mayor de 10 : 1, se desarrollan raíces en el medio de cultivo. Si la proporción de auxina con respecto a la citoquinina es menor de 10 : 1, se desarrollan brotes en el medio de cultivo. Una vez que las raíces y los brotes se han desarrollado, la planta clonada puede transferirse al suelo.



▲ Figura 12





## La micropropagación se usa para la multiplicación rápida

Uso de la micropropagación para la multiplicación rápida de nuevas variedades, la producción de cepas libres de virus de variedades existentes y la propagación de orquídeas y otras especies raras

El intercambio internacional de materiales vegetales conlleva el riesgo de transmisión de patógenos. Las técnicas de micropropagación pueden utilizarse para producir cepas de plantas libres de virus. Dentro de una planta, los virus pasan de una célula a otra a través del tejido vascular y de los plasmodesmos. Por lo tanto, el meristemo apical suele estar libre de virus.

La micropropagación puede utilizarse para producir numerosos ejemplares idénticos de una planta con características deseables. Además, este proceso es mucho más rápido y requiere menos espacio que los métodos de producción tradicionales. Se está utilizando, por ejemplo, para preservar especies como las orquídeas. La micropropagación de variedades de orquídeas en peligro de extinción permite repoblarlas en la naturaleza, además de ser un método de producción comercial. Asimismo, las semillas de orquídeas son difíciles de germinar y la reproducción asexual es a menudo



▲ Figura 13 *Ophrys lutea*



más exitosa. Las plántulas micropropagadas pueden conservarse en nitrógeno líquido, una técnica denominada criopreservación cuya función es equivalente a la de un banco de semillas.

En Malta, la desaparición del hábitat de la especie de orquídea *Ophrys lutea* (figura 13), en combinación con su normalmente escasa producción de semillas y sus bajos porcentajes

de germinación con éxito, han convertido a esta especie amenazada en un objetivo de conservación. Se obtuvo de la naturaleza el material necesario para iniciar su micropropagación. Una vez finalizado el proceso de producción de plántulas, la intención es repoblar esta especie en su hábitat natural y preservar un stock.



## La genómica ha mejorado la comprensión de la función de las hormonas vegetales

Las mejoras en los métodos de análisis y deducción conllevan avances en la investigación científica: las mejoras en las técnicas analíticas que permiten la detección de cantidades residuales o trazas de sustancias han conducido a avances en la comprensión de las hormonas vegetales y de sus efectos sobre la expresión génica.

Muchas de las investigaciones clásicas sobre la acción de las auxinas, como las realizadas por Darwin y Went, implicaron experimentos con coleóptilos. La genómica moderna ha creado nuevas oportunidades para entender sus mecanismos y vías de una forma que antes no era posible.

Las micromatrices permiten a los investigadores detectar la expresión génica. Si un gen está siendo expresado, al probar el tejido en la micromatriz producirá fluorescencia.

En un estudio con micromatrices, los investigadores descubrieron que la expresión de siete genes es mayor en las células inferiores con gravitropismo y en las células del lado más oscuro con fototropismo.

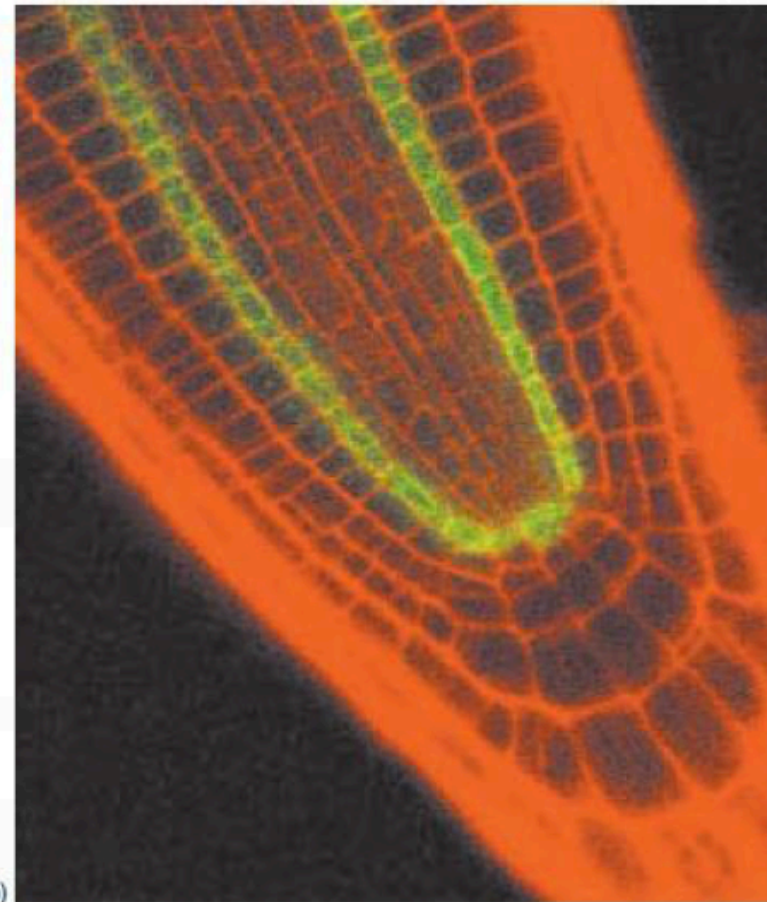
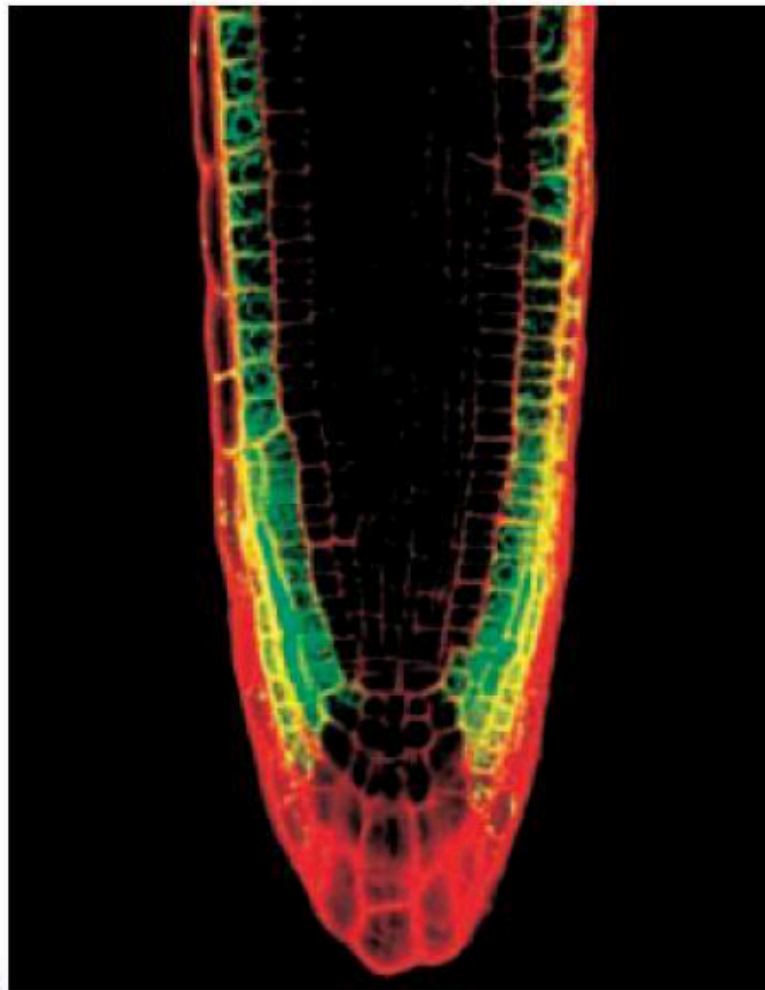
El análisis de la expresión génica aprovecha el conocimiento de plantas modelo como

*Arabidopsis thaliana* y su pariente cercano *Brassica oleracea*. Las células de plantas *Brassica* son relativamente grandes, por lo que la actividad celular es fácilmente observable.

Proteína codificada	Nivel de aumento lado oscuro en comparación con lado iluminado	Nivel de aumento lado inferior en comparación con lado superior
$\alpha$ -extensina	$3,9 \pm 2,2$	$3,9 \pm 2,9$
supuesta oxidasa	$5,2 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,4$
AIA-amidosintetasa (asp)	$1,6 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,3$
proteína SAUR	$1,3 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,2$
factor de transcripción bHLH	$1,7 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,9$
factor de transcripción HD-Zip	$1,9 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,4$
AIA-amidosintetasa (ala)	$4,6 \pm 1,9$	$1,9 \pm 0,4$

▲ Table 1 Efecto de la luz y de la gravedad en la expresión de siete genes

Las micromatrices permiten a los investigadores detectar la expresión génica



FIGURE

Si un gen está siendo expresado , al probar el tejido en la micromatriz producirá fluorescencia





# Investigación de factores que afectan al enraizamiento de esquejes de tallo

## Diseño de un experimento para evaluar un factor que afecte al enraizamiento de esquejes de tallo (estaquillas)

Los esquejes son trozos cortos del tallo que se utilizan para clonar plantas artificialmente. Si el esqueje desarrolla raíces, puede convertirse en una nueva planta independiente.

- 1 Se pueden clonar muchas plantas a partir de esquejes. *Ocimum basilicum* echa raíces fácilmente.
- 2 Los nódulos son las partes del tallo donde se unen las hojas. En la mayoría de las especies, el tallo se corta por debajo de un nódulo.
- 3 Se quitan las hojas de la mitad inferior del tallo. Si hay muchas hojas grandes en la parte superior, también pueden quitarse.
- 4 El tercio inferior del esqueje se introduce en abono o agua. El abono debe ser estéril y tener abundante agua y aire.
- 5 Una bolsa de plástico transparente con algunos agujeros evita la pérdida excesiva de agua de los esquejes introducidos en el abono.
- 6 El proceso de formación de las raíces tarda normalmente un par de semanas. El crecimiento de hojas nuevas generalmente indica que el esqueje ha desarrollado raíces.



- La cantidad de hojas que se dejan en el esqueje
- Si se utiliza una hormona de enraizamiento
- Si el esqueje se coloca en agua o en abono
- El tipo de abono que se utiliza
- La temperatura a que se mantienen los esquejes
- Si se coloca una bolsa de plástico sobre los esquejes
- Si se hacen agujeros en la bolsa de plástico

Las siguientes preguntas son importantes a la hora de diseñar tu experimento:

- 1 ¿Cuál es la variable independiente?
- 2 ¿Cómo medirás la cantidad de raíz que se ha formado, que es la variable dependiente?
- 3 ¿Qué variables mantendrás constantes?
- 4 ¿Cuántos tipos diferentes de planta debes utilizar?
- 5 ¿Cuántos esquejes debes utilizar para cada tratamiento?



No todos los jardineros tienen éxito cuando intentan clonar plantas mediante esquejes de raíz. A veces se dice que quienes logran buenos resultados tienen una mano especial para la jardinería, pero un biólogo rechazaría esta explicación. Los factores que determinan si un esqueje formará raíces o no pueden comprobarse mediante experimentos. Puedes diseñar y realizar un experimento para investigar uno de los factores de la lista siguiente, u otro factor de tu elección.

Posibles factores para investigar:

- Si se corta el tallo por encima o por debajo de un nódulo
- La longitud del esqueje
- Si el extremo del tallo se deja expuesto al aire para que se endurezca



# BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB

- **BIOLOGÍA.** ALLOTT, Andrew, MINDORFF, David. AZCUE, José. Editorial Oxford. ISBN 978-0-19-833873-4.
- **ECOLOGY.** GREENWOOD, Trancey. SHEPHERD, Lyn. ALLAN, Richard. BUTLER, Daniel. Editorial BIOZONE International Ltd.
- **ENVIRONMENTAL SYSTEMS AND SOCIETIES.** RUTHERFORD, Jill. WILLIAMS, Gillian. Editorial Oxford.
- **BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA.** PEDRINACI, Emilio. GIL, Concha. GÓMEZ DE SALAZAR, José María. Editorial SM.

## Bibliografía:



IB Biología: Libro del alumno.  
Versión en español. Oxford.  
Edición 2015.  
<https://goo.gl/YkkZ1q>



Biology Study Guide 2014 edition.  
En inglés.  
<http://goo.gl/yxz0kd>

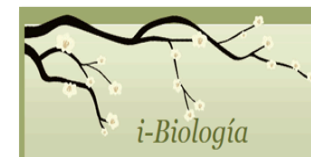
## Agradecimiento:



Parte de esta presentación ha sido confeccionada y traducida con permiso a partir de las presentaciones de Stephen Taylor disponibles en:  
<http://i-biology.net/>



## Más recursos:



<https://sites.google.com/site/iesmmibiologia/home>