

# Tema 8.

## Introducción al desarrollo vegetal

- Introducción. Conceptos
- Generación del plan corporal.
- La diferenciación celular depende del control de la expresión génica
- El cambio de fase es el principal cambio que tiene lugar en el desarrollo vegetal

Mutantes con defectos específicos en el desarrollo de los meristemos apicales del tallo



La mutación en el gen *STM* (*Shoot meristemless*) impide la formación del meristemo apical (SAM)



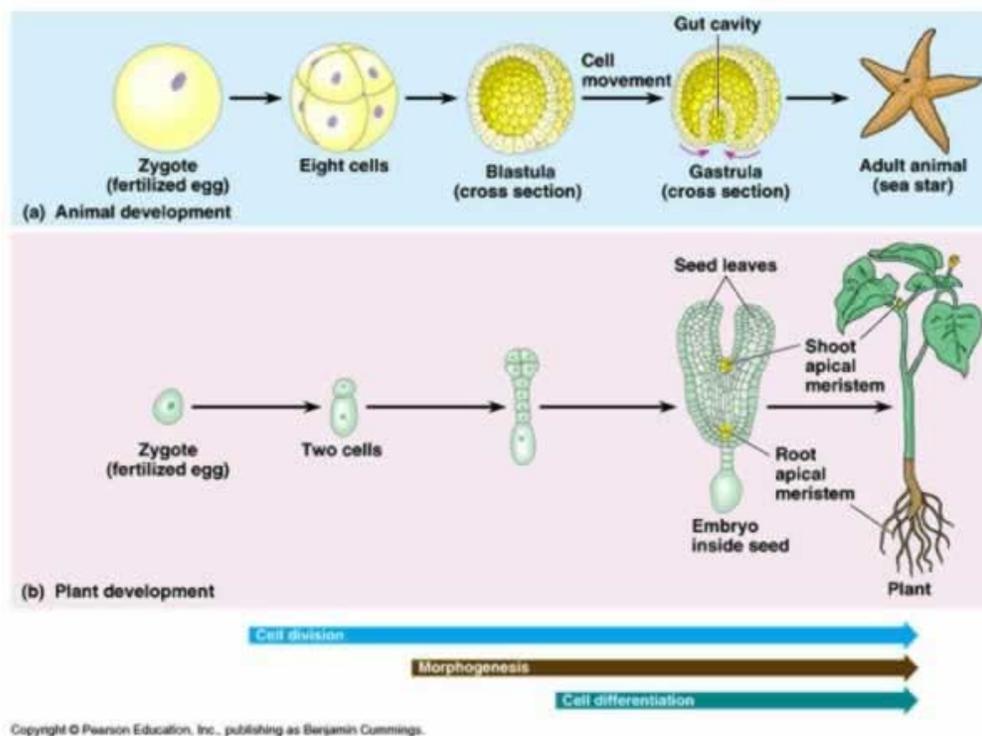
Las mutaciones en los genes *CLV* (mayor SAM) dan lugar a flores con más pétalos, estambres y un pistilo engrosado mientras que las mutaciones en el gen *WUS* dan lugar a flores con solo un estambre y sin pistilo. Tomado de: Science, 283: 1911-4 (1999). Cell, 95: 805-15 (1998).

# Terminología

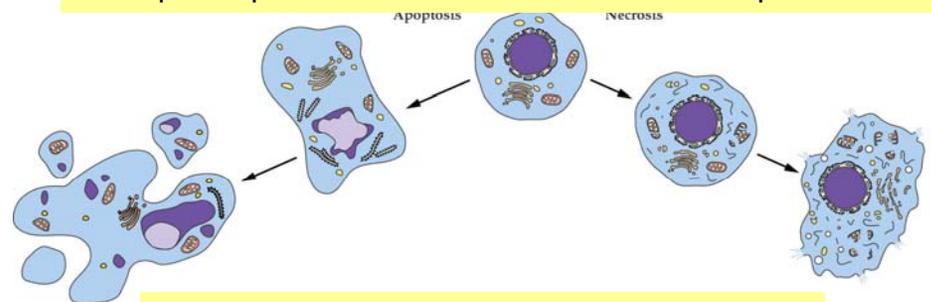
**Desarrollo:** conjunto de eventos que contribuyen a elaborar el cuerpo de la planta que comprende:

- **Crecimiento:** cambios cuantitativos.
  - Control: División y expansión celular
- **Diferenciación:** cambios cualitativos
  - Control: Expresión diferencial de genes
- **Migración celular**
  - No en plantas
- **Muerte celular programada.**
  - **Animales: apoptosis.** Caracteriza por contracción y fragmentación del ADN nuclear y formación de vesículas. Poco revelante en plantas.
  - **Plantas: otros procesos de muerte celular programada.** Senescencia, xilogénesis, protección ataque patógenos

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

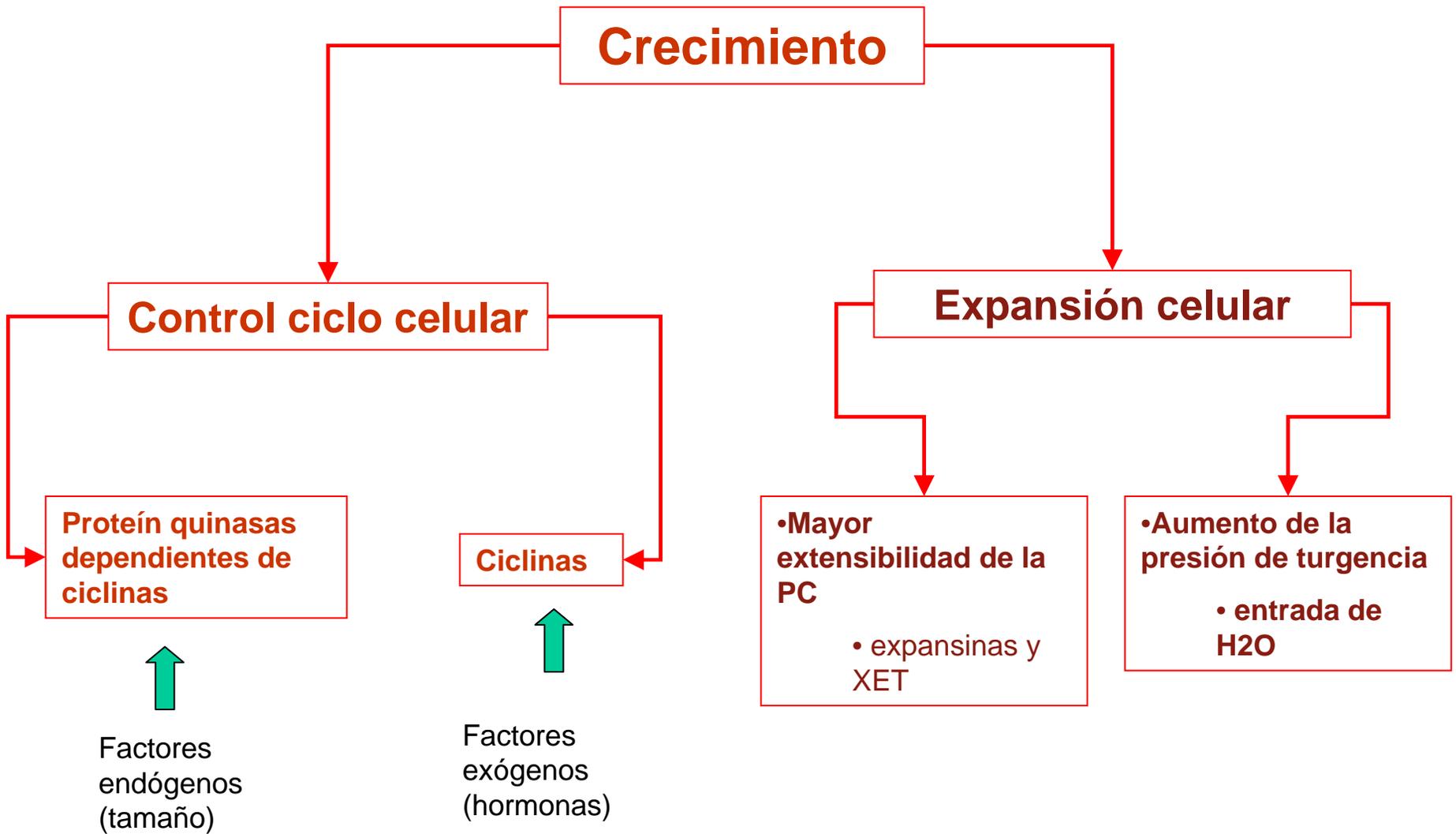


En las plantas, pero no en los animales, la morfogénesis y el crecimiento no se limitan a los periodos embrionario y juvenil, sino que se producen durante toda la vida de la planta.

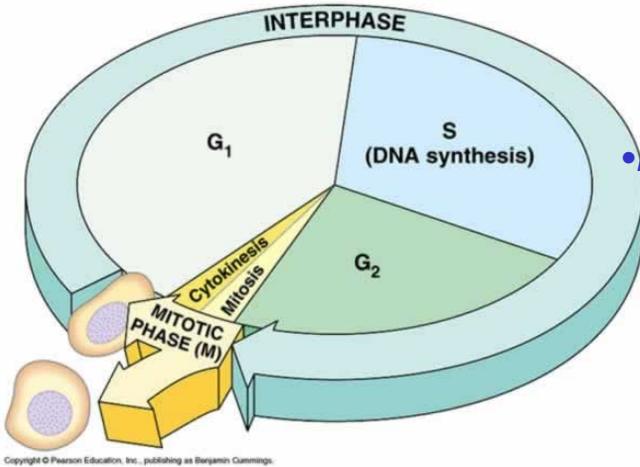


La necrosis ocurre cuando las células se dañan físicamente: la membrana se rompe, se libera el contenido celular y se produce la inflamación del tejido

Tomado de: Buchanan et al. (2000). Biochemistry & Molecular Biology of Plants. ASPP.



## Ciclo Celular



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

### •Fase mitótica (M)

- Comprende la división del núcleo (mitosis) y citoplasma (citocinesis)

### •Interfase (90% del ciclo)

- Crecimiento, duplicación de orgánulos; replicación y condensación del ADN
  - fase G<sub>1</sub> (G= “gap, intervalo, lapso),
  - fase S. síntesis de ADN
  - fase G<sub>2</sub>

### •Proteín quinasas dependientes de ciclinas o Cdk

- Fosforilando proteínas inducen los procesos subordinados del ciclo celular
- Sus niveles durante el ciclo son casi constantes. Solo son activas cuando están unidas a **ciclina**,

### •Ciclinas:

- Sufren un ciclo de síntesis y degradación en cada ciclo
- Tipos:
  - Mitóticas**: unión a Cdk en G<sub>2</sub>. Necesarias para entrar en mitosis
  - G<sub>1</sub>**: unión a Cdk en G<sub>1</sub>. Necesarias para entrar en la fase de S.

# Diferenciación



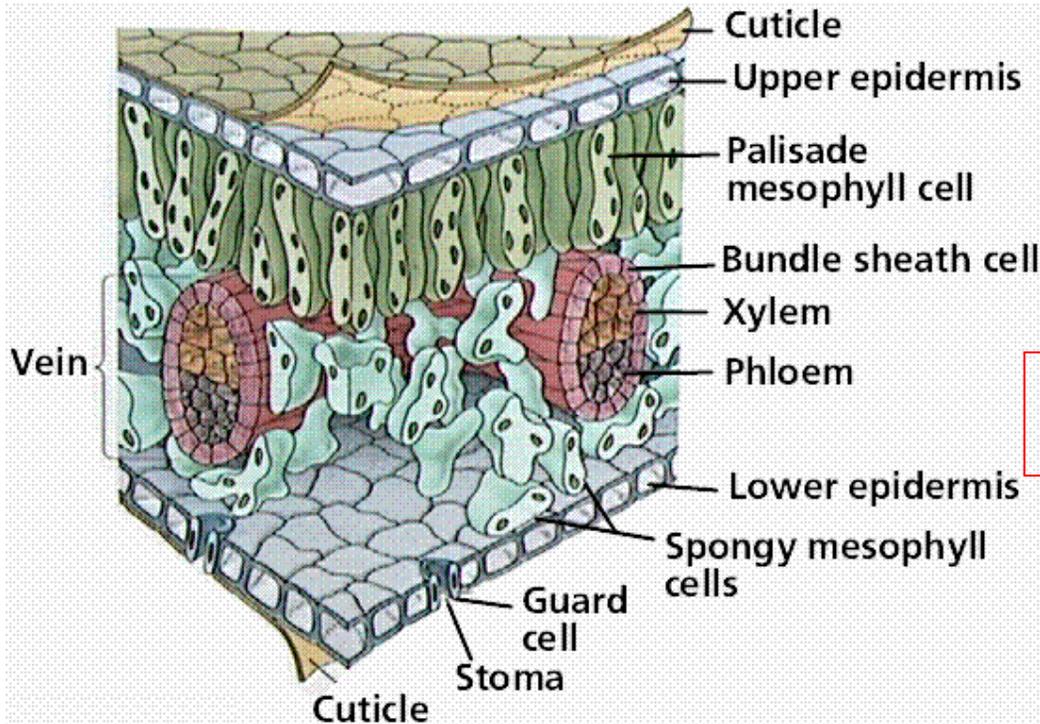
**Expresión  
diferencial de genes**



**≠ Tipos células  
→ órgano**

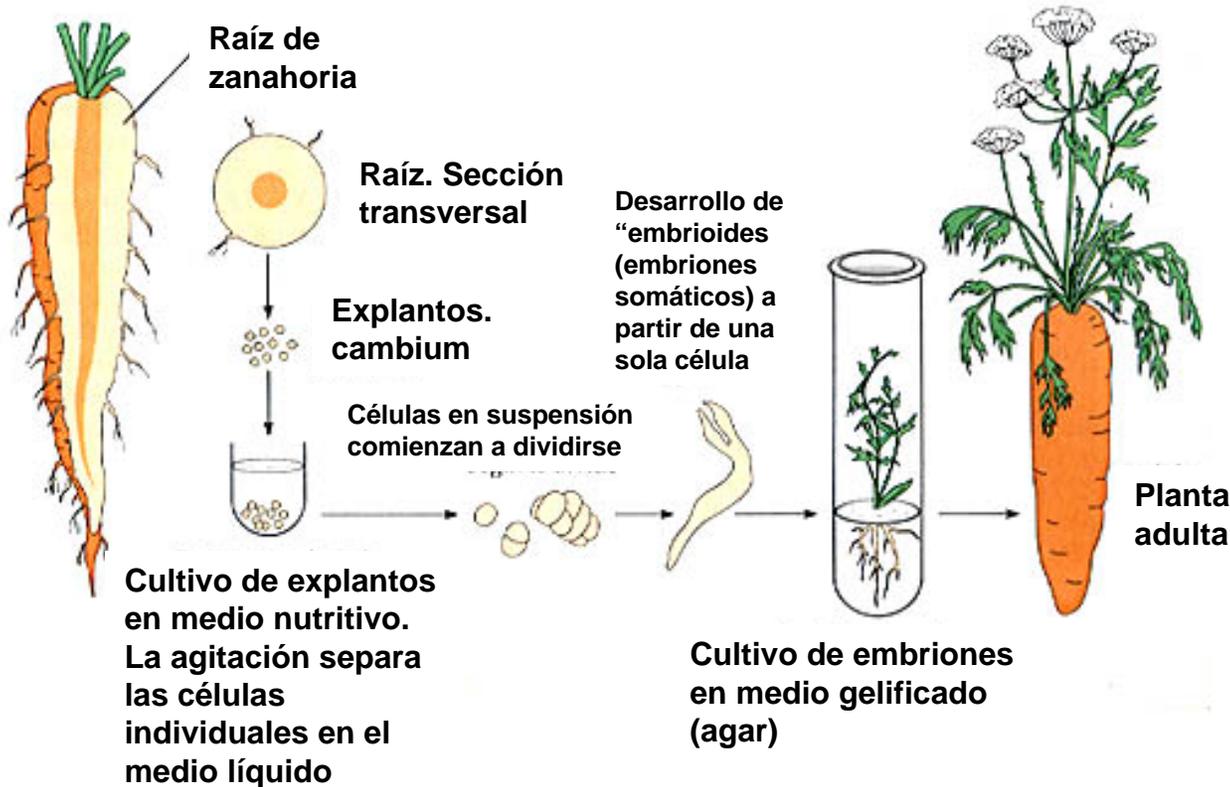


**Células  
diferenciadas  
no se dividen**



# Investigación: ¿Una célula vegetal diferenciada puede desarrollarse hasta convertirse en una planta completa?

## Experimento



**Resultados.** Una sola célula somática (no reproductiva) de la zanahoria se desarrolla hasta convertirse en una planta completa. La planta obtenida es un duplicado genético (clon) de la planta madre.

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

**Conclusión.** Por lo menos algunas células diferenciadas (somáticas) vegetales son **TOTIPOTENTES**, o sea, capaces de revertir su diferenciación y originar todos los tipos de células de una planta completa (*retienen toda la información* requerida para regenerar una planta completa y revelan que la *diferenciación no* se asocia necesariamente con *cambios irreversibles en el ADN*).

# Competencia:

- Capacidad para reconocer señales (hormonales o medioambientales)

# Determinación:

- Activación de una ruta particular de diferenciación

Célula diferenciada

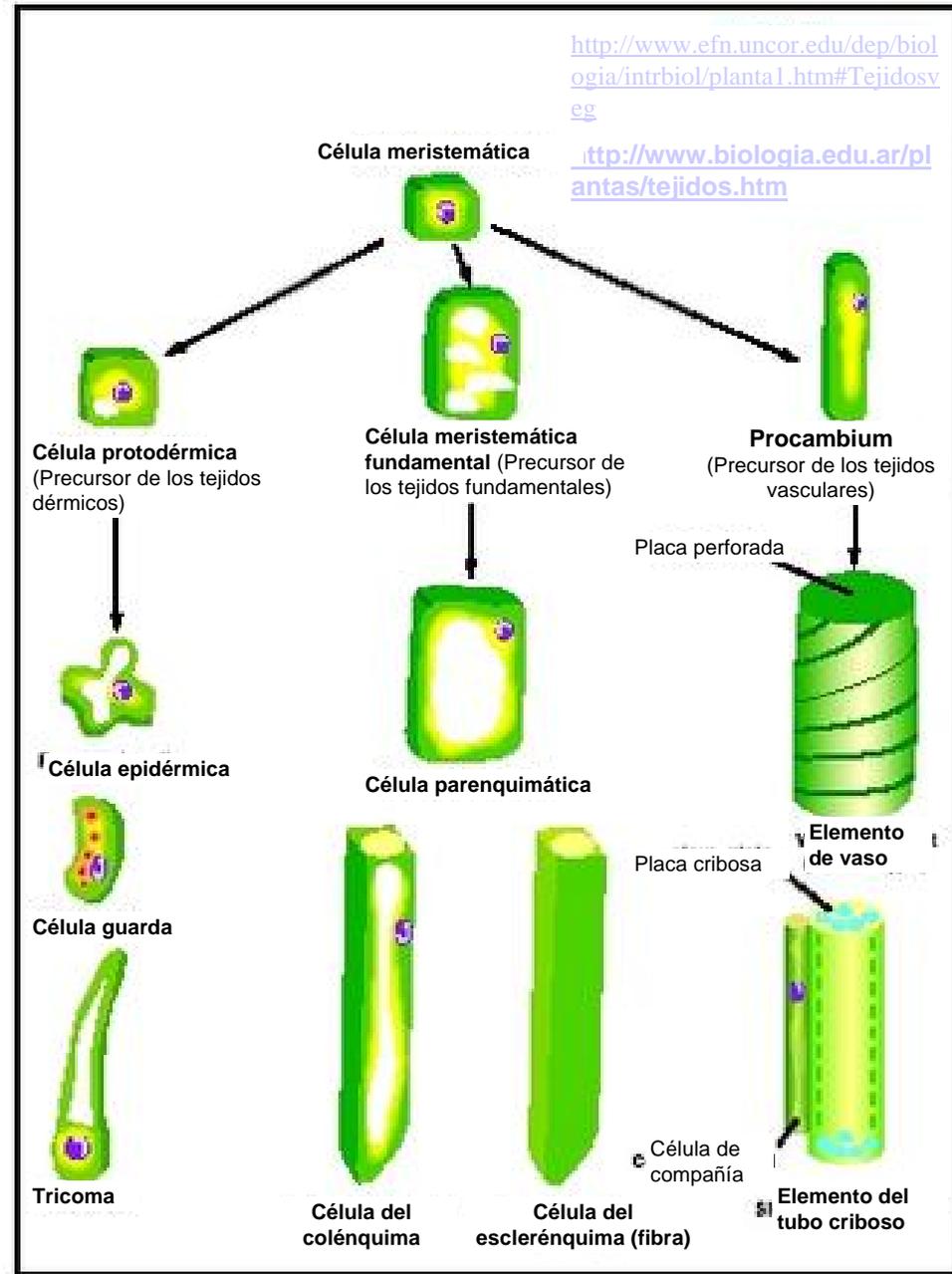
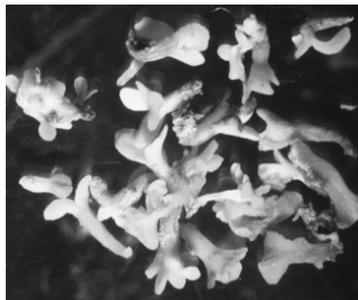


Célula desdiferenciada  
capacidad de división:  
reembrionaria



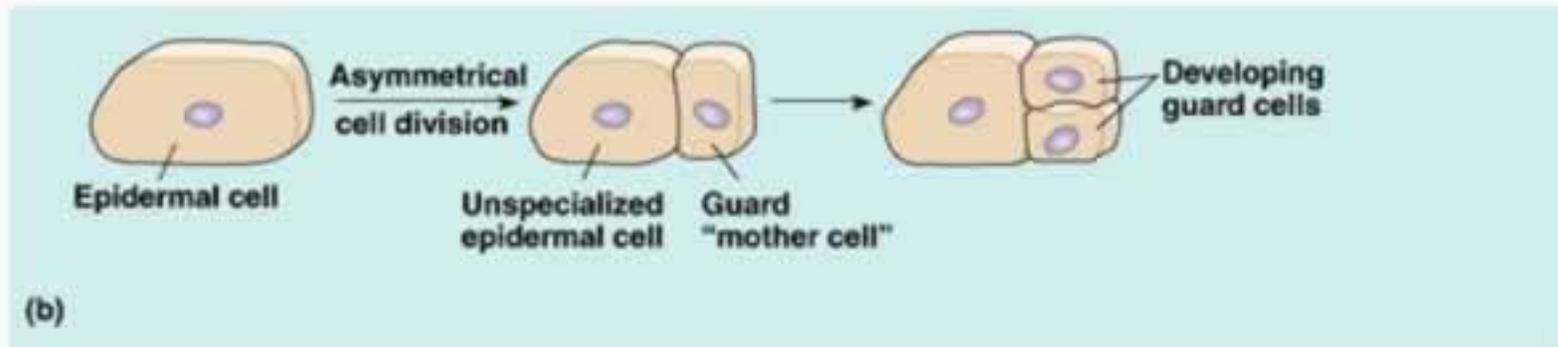
Son competentes: capaces  
de reconocer señales

Tras el reconocimiento de la  
señal: Determinación:  
Especifica un destino celular



## Diferenciación celular controlada por:

- Posición de la célula
- Comunicación
- División celular asimétrica



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

# Morfogénesis: generación del plan corporal

## Sistema modelo:

### *Arabidopsis thaliana*

- Crucífera
- Ciclo vital: 6 semanas
- Genoma (Dic 2000: AGI. Nature 408 (2000):
  - 1.5 x 10<sup>8</sup> bases (haploide)
  - 10% ADN muy repetitivo
  - 25.000 genes

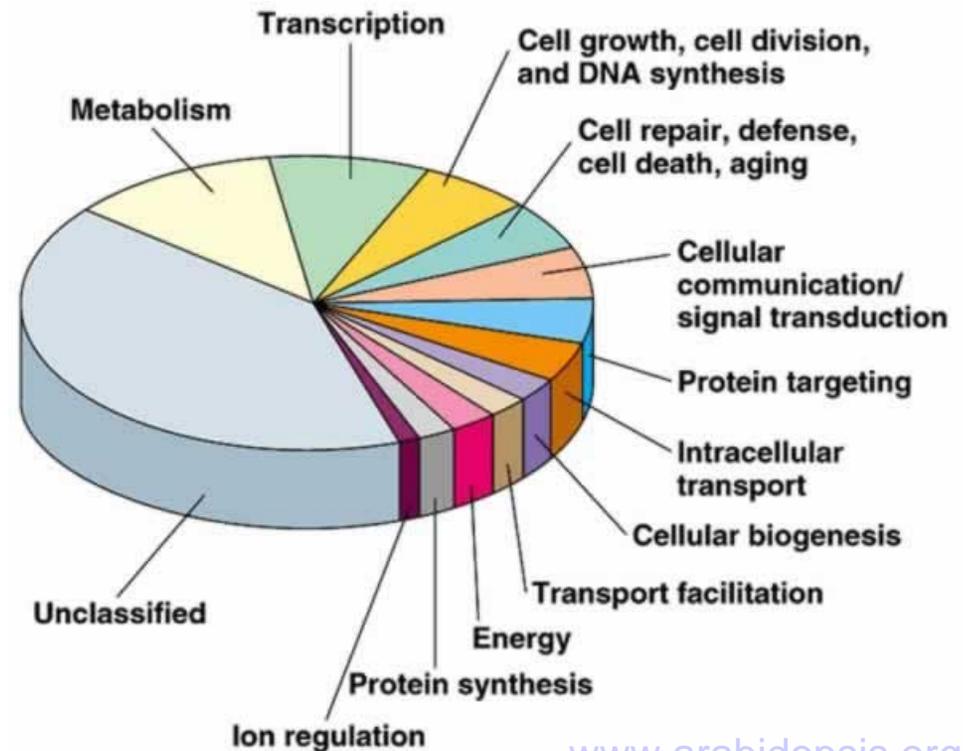


Imagen tomada de Campbell & Reece (2005).  
Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

[www.arabidopsis.org](http://www.arabidopsis.org)

# Morfogénesis: “creación de la forma”

(los procesos físicos que dan forma al organismo)

- *Primero*: **Establecer el plan corporal del organismo**: su distribución tridimensional global.
  - **Establecimiento de los ejes**
    - (Edificio nuevo)
  - **Desarrollo de estructuras específicas en zonas concretas**: formación del plan corporal.
    - Grupos células que quedan comprometidas a seguir destinos celulares específicos.
      - Destino celular está relacionado con la posición y las asignaciones de destinos se reparten entre un grupo de células colaboradoras: **área de desarrollo**



## La polaridad apical-basal del eje se establece en la primera división cigótica, que es asimétrica.

Genes *GNOM* establecen dicho eje. Este gen controla la distribución celular de las proteínas implicadas en el transporte de auxinas (PIN).

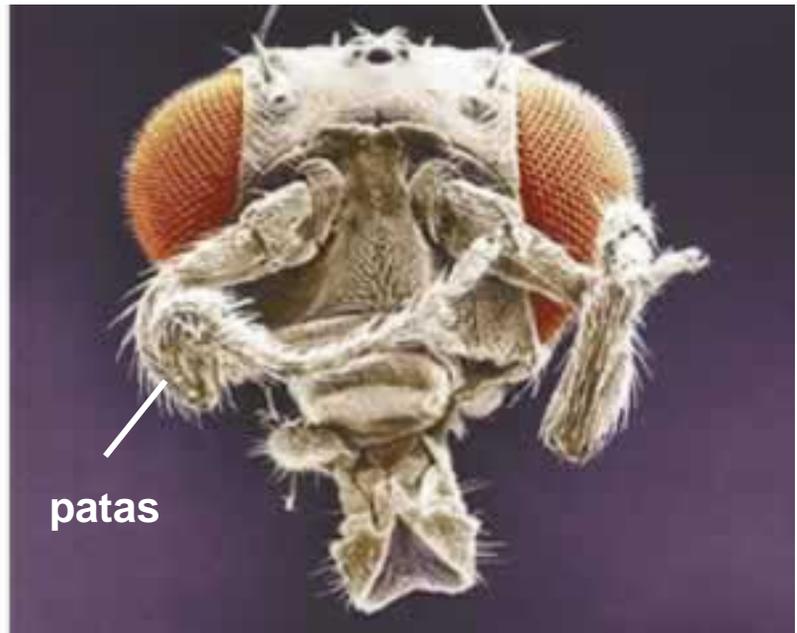
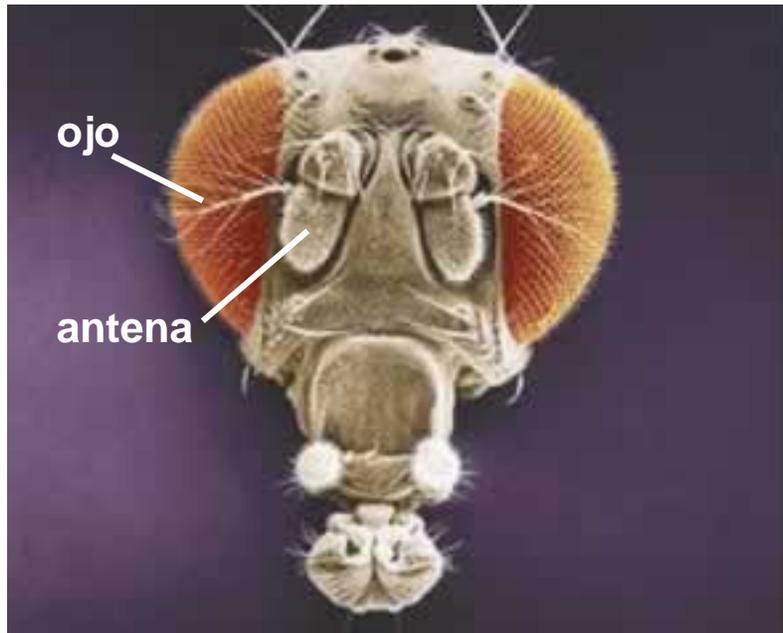
El mutante *gnom* da lugar a un embrión esférico que carece de raíces y de cotiledones.

**Información posicional:** existencia de gradientes de moléculas específicas

Primera evidencia de que los genes dirigen los procesos de desarrollo

# Genes de identidad del órgano: genes homeóticos

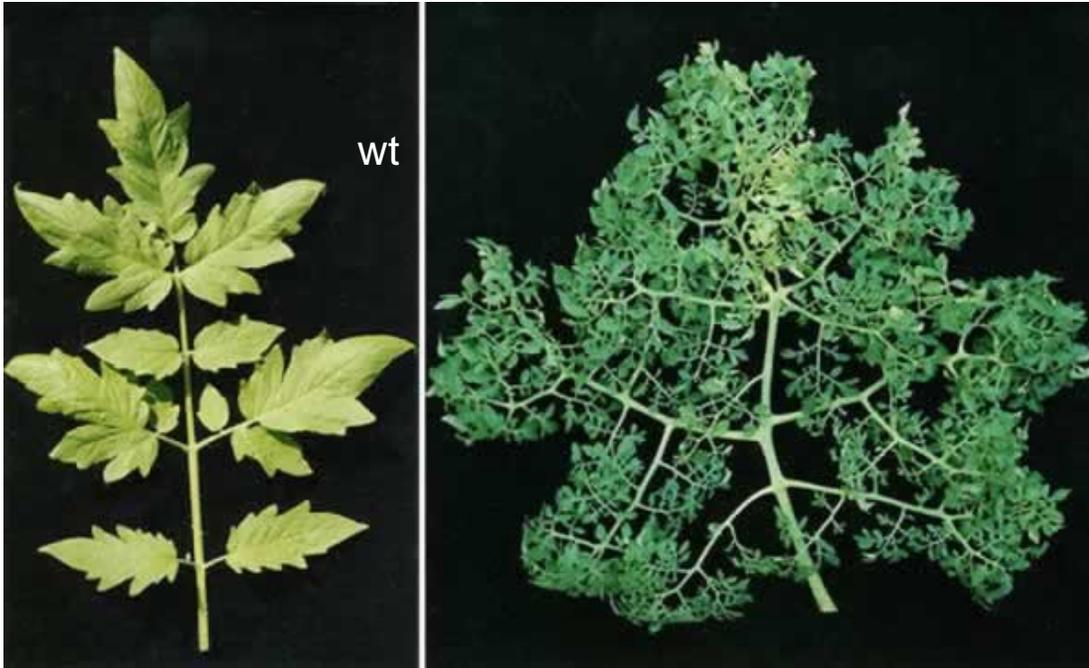
Controlan la ubicación de los órganos (posicional)



Los genes homeóticos (genes reguladores maestros) especifican los tipos de estructuras y apéndices en cada segmento de la mosca.

La mutación Antennapedia de la cabeza surgen patas en vez de antenas.

# Los genes *KNOTTED-1* (homeóticos) son importantes en el desarrollo foliar



El desarrollo embrionario de la mayor parte de las plantas se produce dentro de la semilla, y por tanto su evaluación es relativamente inaccesible (una semilla madura contiene un embrión totalmente formado). Sin embargo, otros aspectos importantes del desarrollo de las plantas pueden observarse durante toda su vida en los meristemas. Mediante división celular, diferenciación y morfogénesis originan nuevos órganos como por ej., hojas o flores.

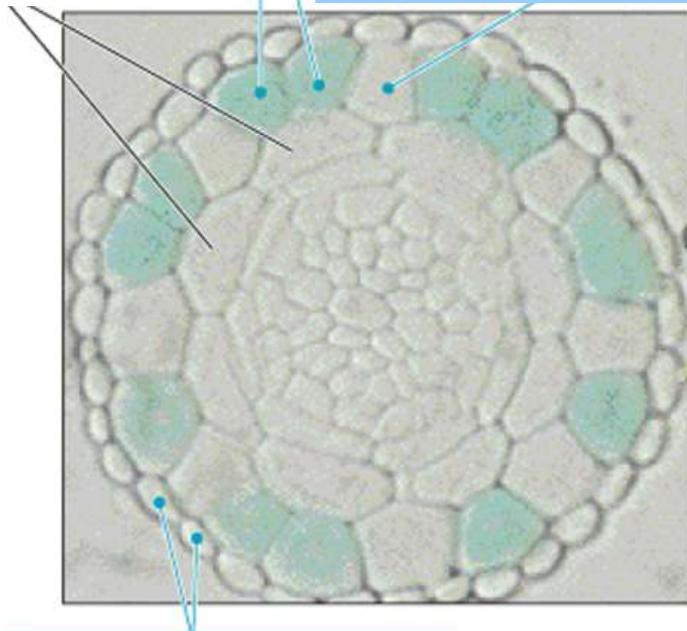
Filotaxia: alterna, decusada (disposición de las hojas opuestas cuando forman un ángulo de  $90^\circ$  con las dispuestas en el nudo siguiente), espiral (hojas en distintos plano en formando una espiral)

# Expresión génica y control de la diferenciación celular

Cuando una célula epidérmica está en contacto con una sola célula cortical se expresa el gen homeótico *GLABRA-2* y la célula carece de pelos radiculares. El color azul debido al gen *chivato* indica que la célula expresa el gen *GLABRA-2*.

Esta célula epidérmica está en contacto con 2 células corticales, el gen *GLABRA-2* no se expresa y la célula desarrollará pelos radiculares.

Células corticales



**Diferenciación celular depende del control de la expresión génica.** Ésta depende de la información posicional.

**Epidermis radicular Arabidopsis:**

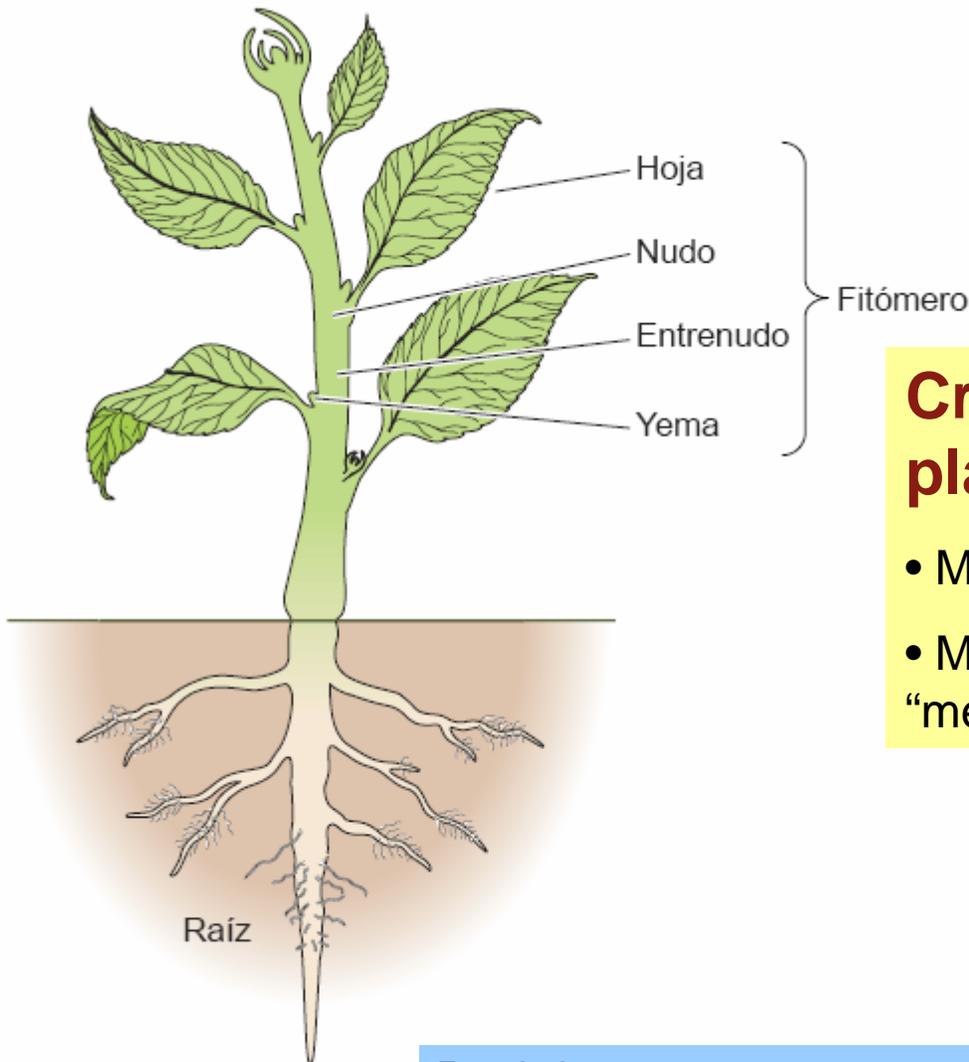
Células epidérmicas con pelos.

Células epidérmicas sin pelos.

El anillo de células externo a la epidermis está compuesto de células de la caliptra que se eliminan tras la diferenciación de los pelos radiculares

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

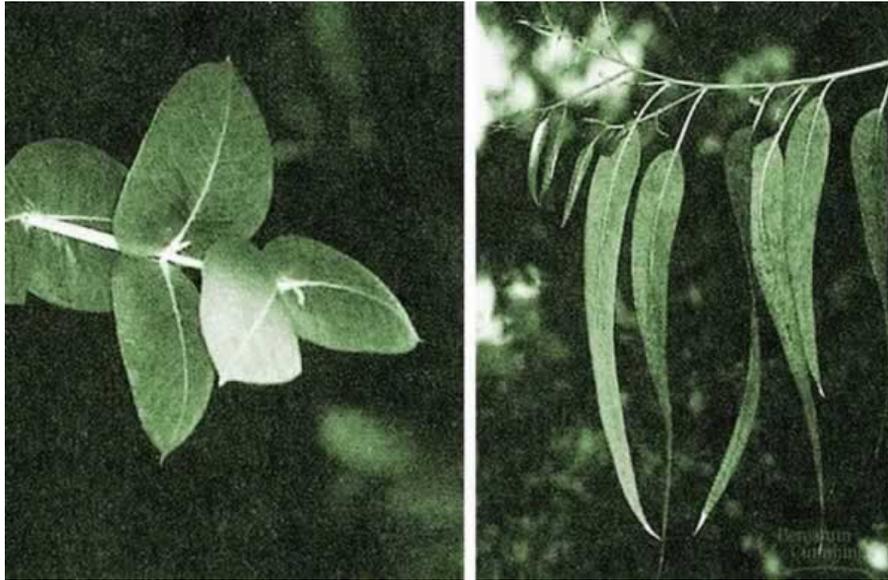
## Los cambios más drásticos en el desarrollo vegetal ocurren en los “cambios de fase”



### Crecimiento de las plantas: modular

- Meristemo apical tallo → fitómero
- Meristemo apical radicular → “metámero”

**Durante el desarrollo postembrionario el meristemo apical del tallo pasa por varias fases.**



**La transición de la fase juvenil a la adulta:  
Cambio de fase. Este cambio es gradual.**

**Cambio en la filotaxia**

**Capacidad de enraizamiento**

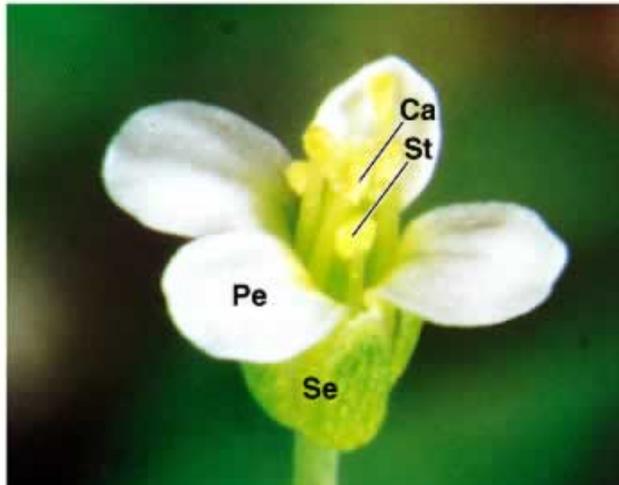
**Desarrollo de meristemos florales**

# Cambio de fase: papel de los factores de transcripción

Fase juvenil a adulta. Activación de diversos genes:

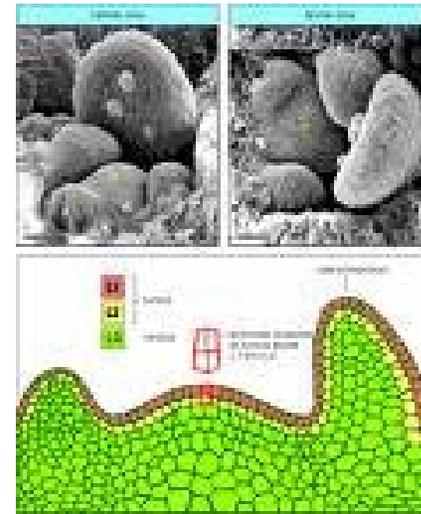
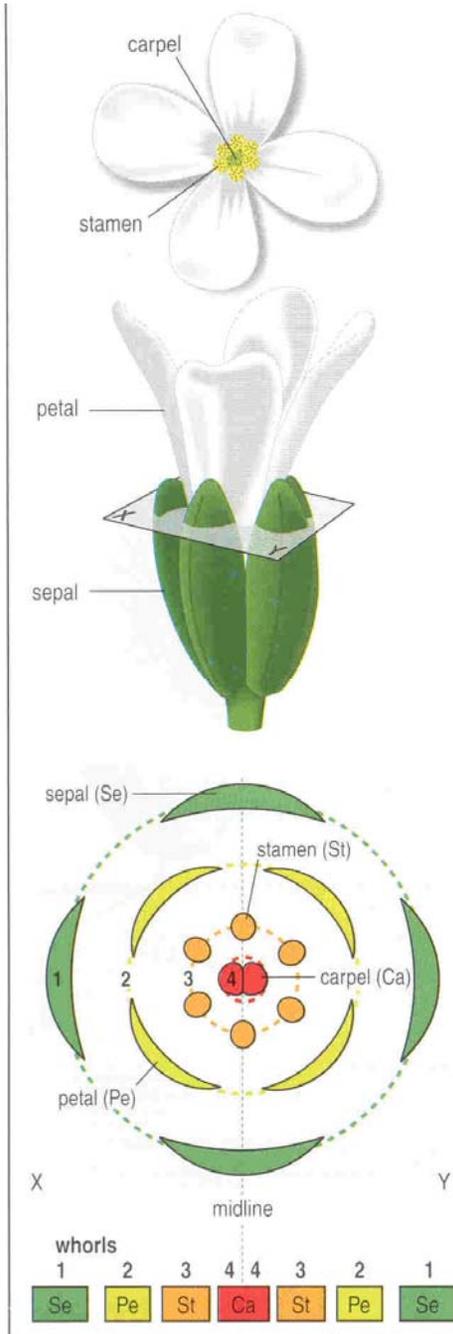
- ***Genes de identidad del meristemo:***
  - Meristemo vegetativo crecimiento indeterminado: dan lugar a meristemas que continuamente se renuevan a sí mismos (*Pinus aristata*: 4000 años; clonar realizando esquejes)
  - Meristemo floral: crecimiento determinado: crece hasta cierto tamaño y con el tiempo envejece y muere (ej., hojas, flores y frutos)
- ***Genes de identidad del órgano:***
  - Análogos a los **genes homeóticos** de animales
    - codifican factores de transcripción (proteínas que se unen al ADN): Familia MADS

# Desarrollo floral



## Flor de *Arabidopsis thaliana*

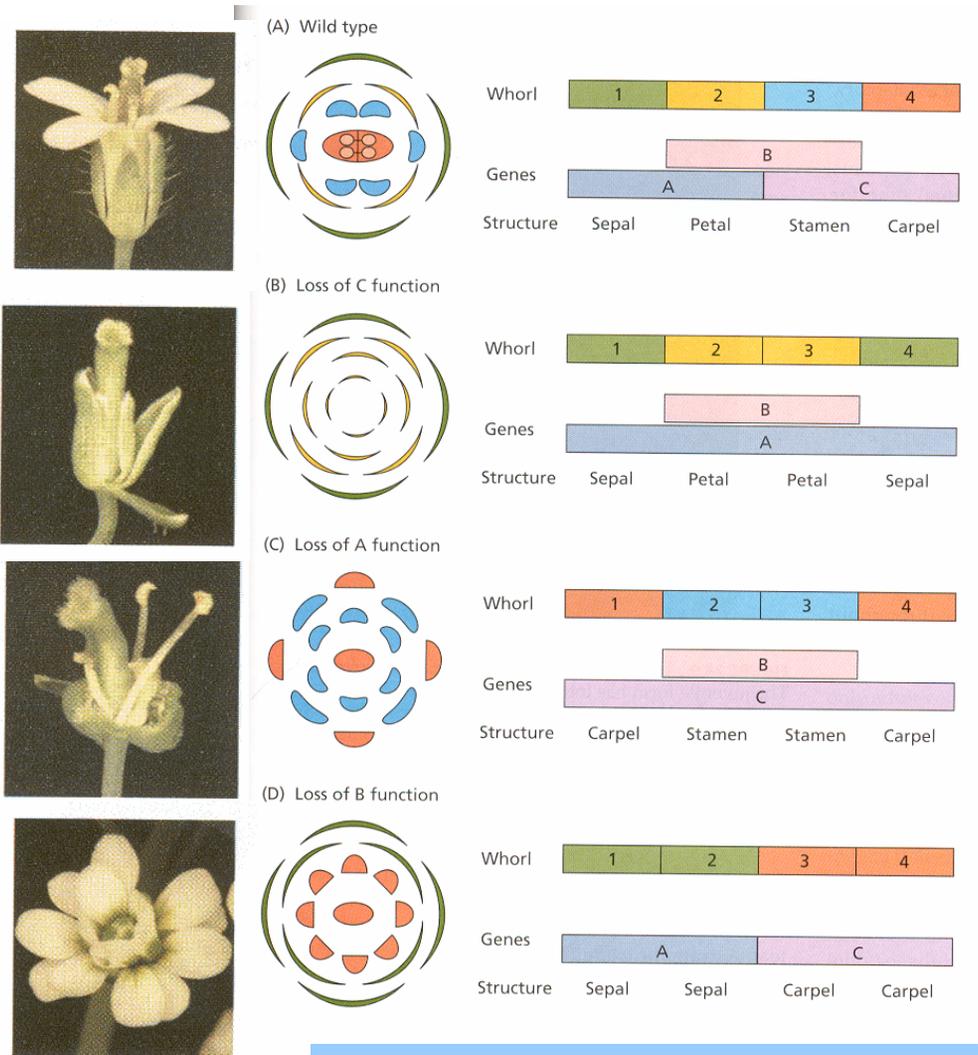
- **1er verticilo:** 4 sépalos verdes (estructura en forma de hojas).
- **2º verticilo:** 4 pétalos blancos
- **3er verticilo:** 6 estambres (que contienen el polen con células espermáticas)
- **4º verticilo:** 1 carpelo (contiene los óvulos)



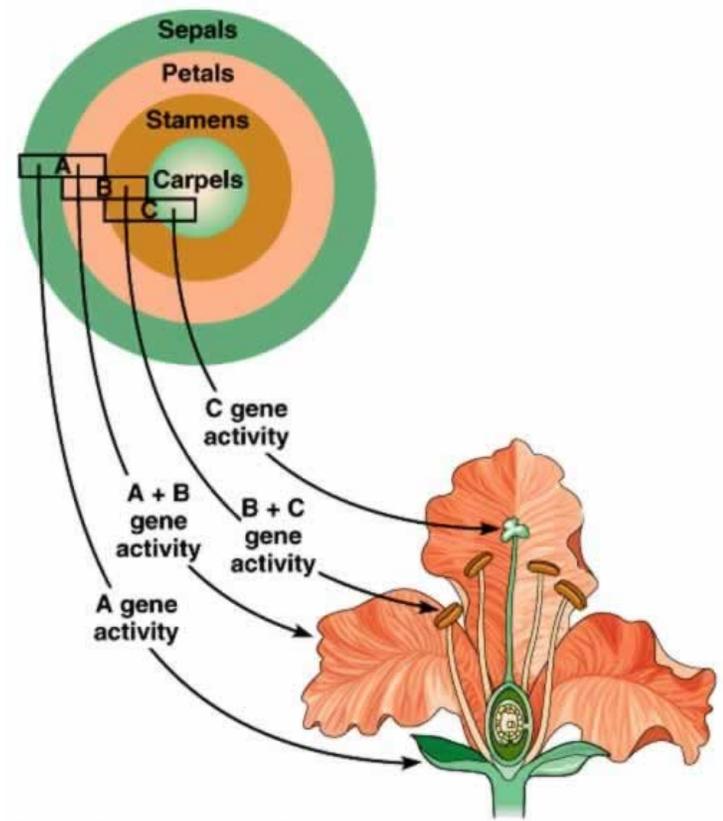
Una flor se desarrolla a partir de tres capas de células (L1-L3) en un meristemo floral. Un patrón específico de división celular, diferenciación y aumento de tamaño da lugar a una flor. Los 4 órganos que constituyen una flor están dispuestos en círculos concéntricos (verticilos). Cada especie tiene una cantidad característica de órganos en cada verticilo. El tomate tiene 6 sépalos, 6 pétalos, 6 estambres y 4 carpelos.

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

# El modelo ABC



Tomado de: Buchanan et al. (2000). Biochemistry & Molecular Biology of Plants. ASPP.

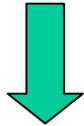


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Imagen tomada de Campbell & Reece (2005). Biology. Pearson. Benjamin Cummings.

# Resumen: desarrollo floral en Arabidopsis

**Meristemo vegetativo**



**inflorescencia**

Genes de identidad  
del meristemo



**Meristemo floral**



Genes de identidad del órgano

**4 regiones concéntricas que se solapan y en las que se establece el tipo de genes que se expresan**



**La flor consta de cuatro verticilos concéntricos: sépalos, pétalos, estambres y carpelos**