

## Anatomía 5: Anatomía de la semilla

### *Subunidad B: Gametofito masculino y femenino en Angiospermas*

- Alternancia de generaciones
- Microsporogénesis y microgametogénesis.
- Megasporogénesis y megagametogénesis, saco embrionario.
- Polinización y Fecundación.

### *Subunidad C: La semilla.*

- desarrollo y embriogénesis

# Reproducción

## Reproducción:

- capacidad de todos los seres vivos de engendrar, en algún momento, otros seres semejantes a ellos.

## Sexual :

- implica la **singamia o fecundación** o sea la fusión de gametos masculinos y femeninos para producir un **cigoto** (combinación de caracteres paternos y maternos, resultando diferente genéticamente a cada uno de los padres), que al desarrollarse formará un embrión y a partir de este una nueva planta.
- permite **la variación por recombinación de caracteres**, lo que facilita la selección natural

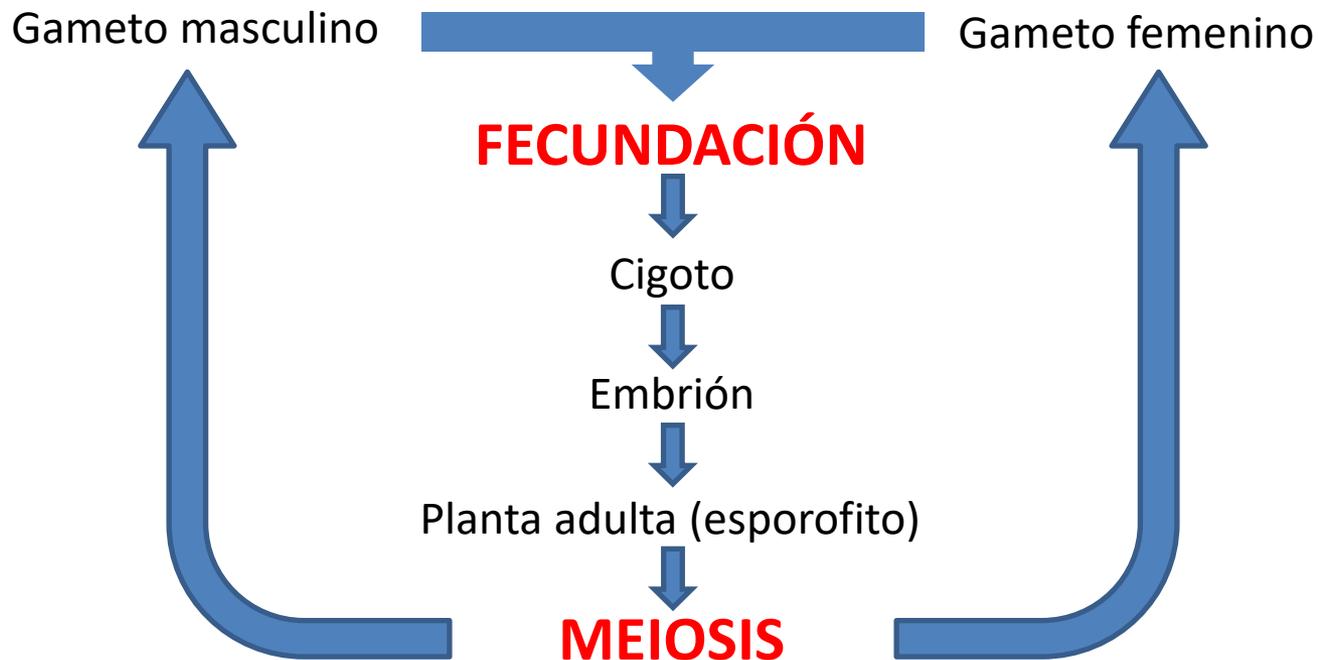
## Asexual:

- ocurre exclusivamente con la intervención de divisiones mitóticas, **sin fusión de gametos**

# Reproducción sexual

Para producir gametos a partir de células somáticas, tiene que ocurrir en algún momento del ciclo vital una división reduccional llamada **MEIOSIS**:

- a partir una célula madre se originan cuatro células hijas con el número cromosómico reducido a la mitad (número gamético).



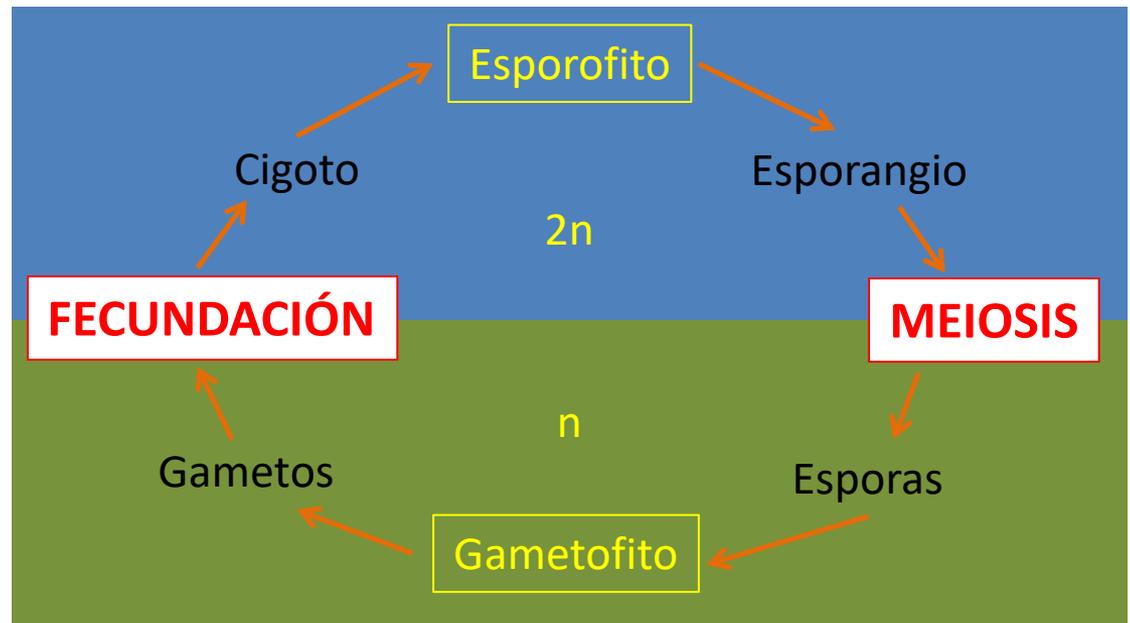
# Alternancia de generaciones

El **ciclo de vida haplodiplonte** es un ciclo reproductor en el que se alternan una generación diploide con otra haploide. Es el más generalizado en las plantas

**2 fases o generaciones** en la reproducción sexual que se alternan:

- **Esporofito:** generación que produce las esporas (son las plantas que hemos estado describiendo y estudiando hasta ahora, cuyas células presentan número cromosómico  $2n$ , diploide)
- **Gametofito:** generación que produce los gametos, y son plantas reducidas, cuyas células presentan número cromosómico  $n$  (haploide).

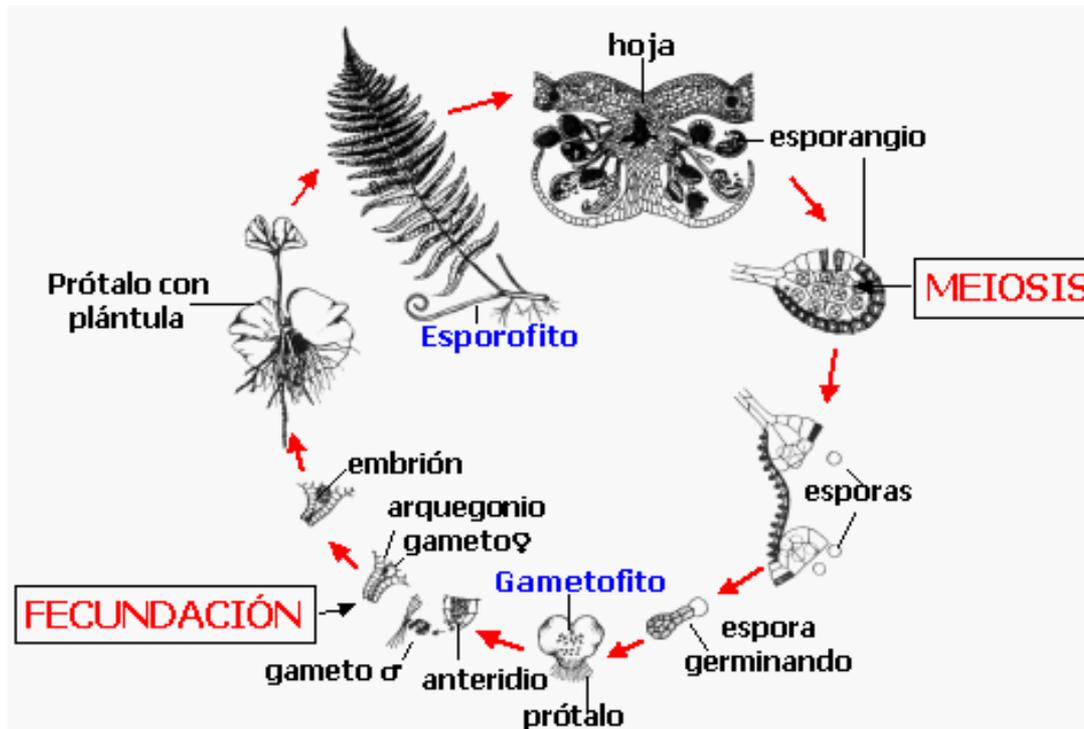
Los límites entre las dos generaciones están determinados por la MEIOSIS Y la FECUNDACIÓN



# Alternancia de generaciones en traqueófitas

## En Pteridófitas (helechos)

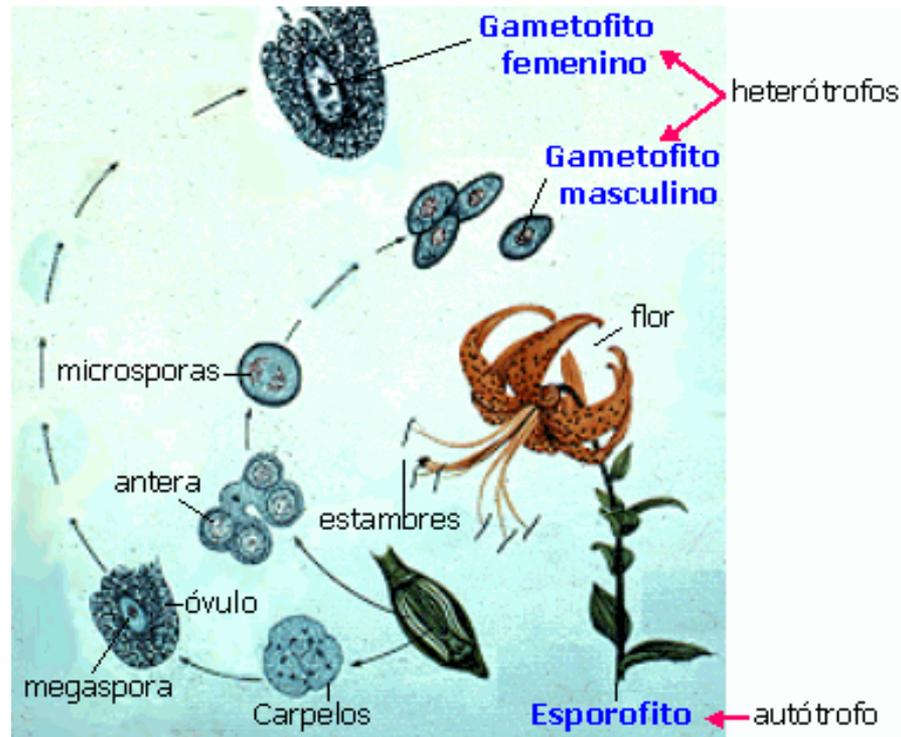
- el **esporófito** es la **planta con hojas**: los esporangios, órganos donde se producen las esporas están ubicados en el envés de las hojas.
- el **gametófito** es verde y autótrofo pero efímero, mide unos pocos centímetros y se llama **prótalo**. En su cara inferior se encuentran los arquegonios y anteridios, órganos donde se forman los gametos femeninos y masculinos respectivamente.



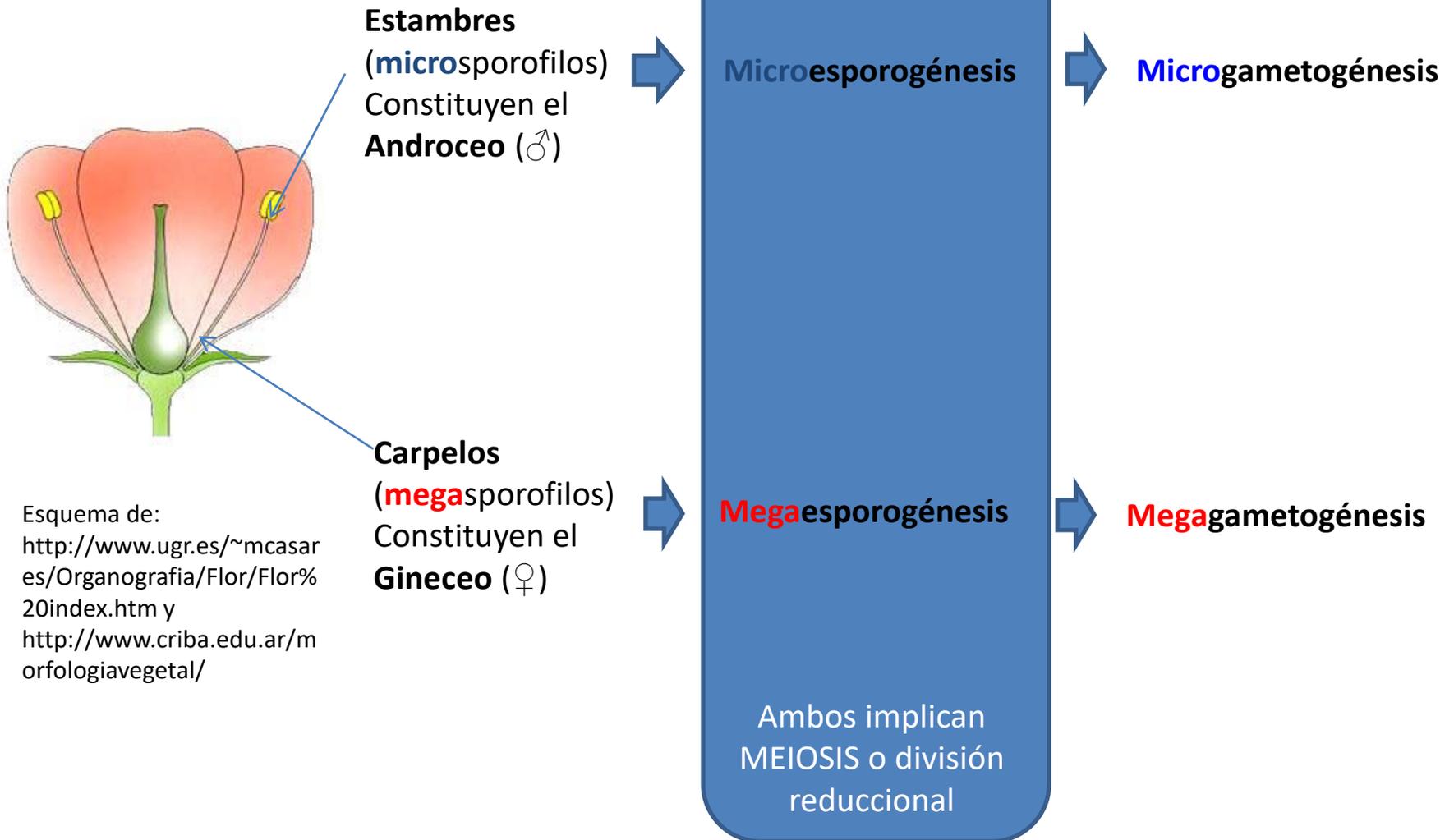
# Alternancia de generaciones en traquéofitas

## En Espermatófitas (plantas con semillas)

- los **esporófitos** son las **plantas verdes, con hojas**. En las flores se producen dos tipos de esporas: microsporas y megasporas.
- los **gametófitos no son verdes, no tienen vida independiente**, son plantas parásitas, heterótrofas, que viven a expensas del esporófito. Según que tipo de gametos produzcan, hay **gametófitos masculinos y femeninos**.



# Alternancia de generaciones



# Microesporogénesis

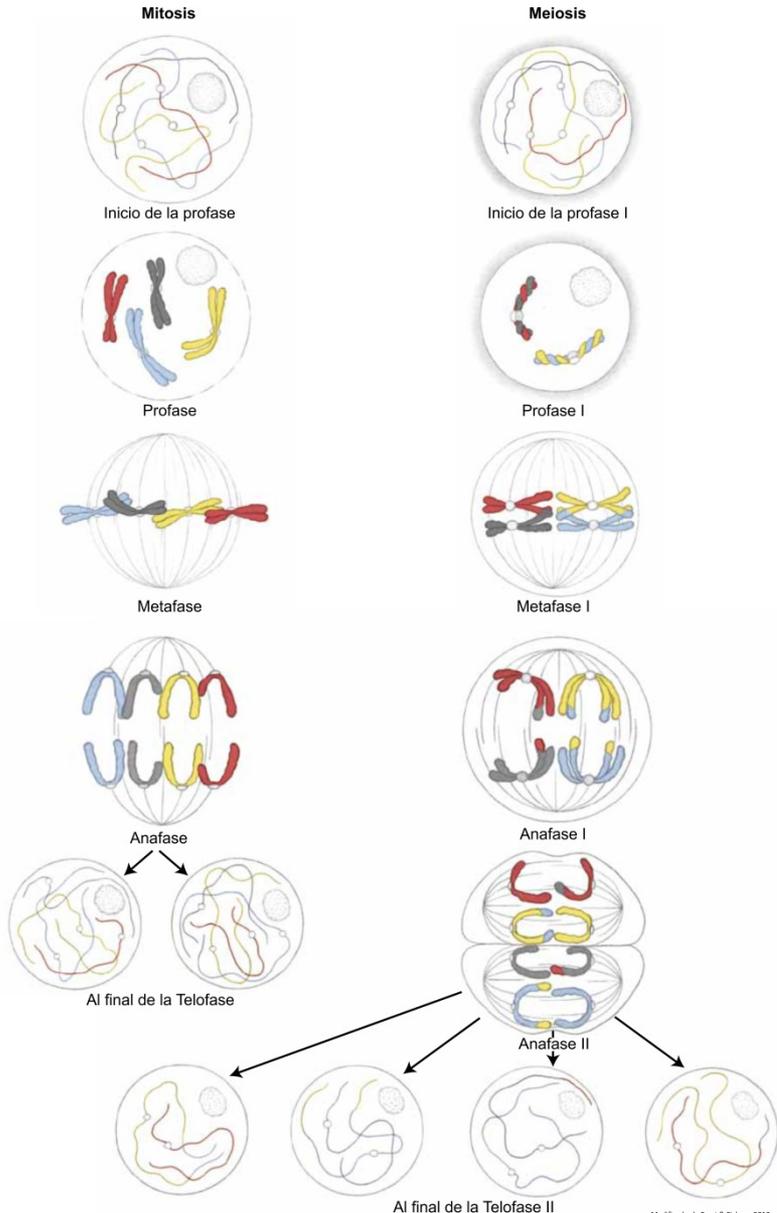
Proceso de **formación de tétradas de micrósporas** a partir de una célula madre de las micrósporas o del polen (microsporocito) a través de la MEIOSIS:

GIMNOSPERMAS

ANGIOSPERMAS

**los granos de polen en estado uninucleado son las micrósporas**

# Microesporogénesis: meiosis

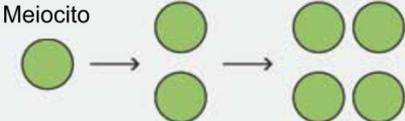
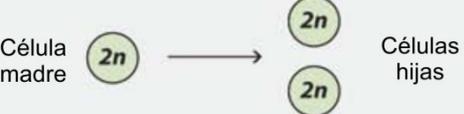
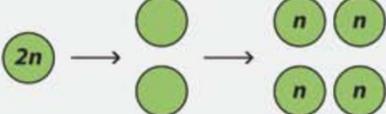
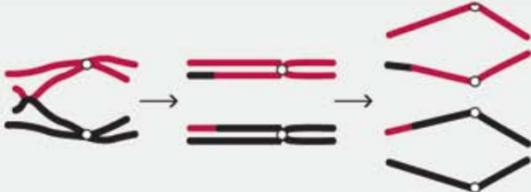


## DIVISIÓN REDUCCIONAL

- **Profase I:** Apareamiento de cromosomas homólogos (bivalentes con cuatro cromatidas o tetradas) y recombinación génica (crossing-over)
- En la **primera división** reductiva se distribuyen cromosomas enteros (**segregación de cromosomas**)
- En la **segunda división** reductiva se **separan las cromátidas** (como en la mitosis)
- **Resultado:** cuatro células haploides. Reducción del número de cromosomas, reestructuración de los cromosomas y recombinación de los genes maternos y paternos.

# Microesporogénesis: meiosis

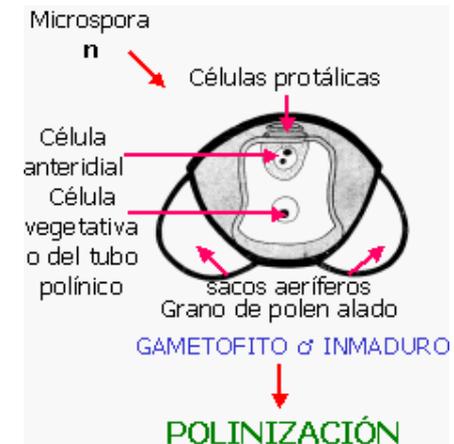
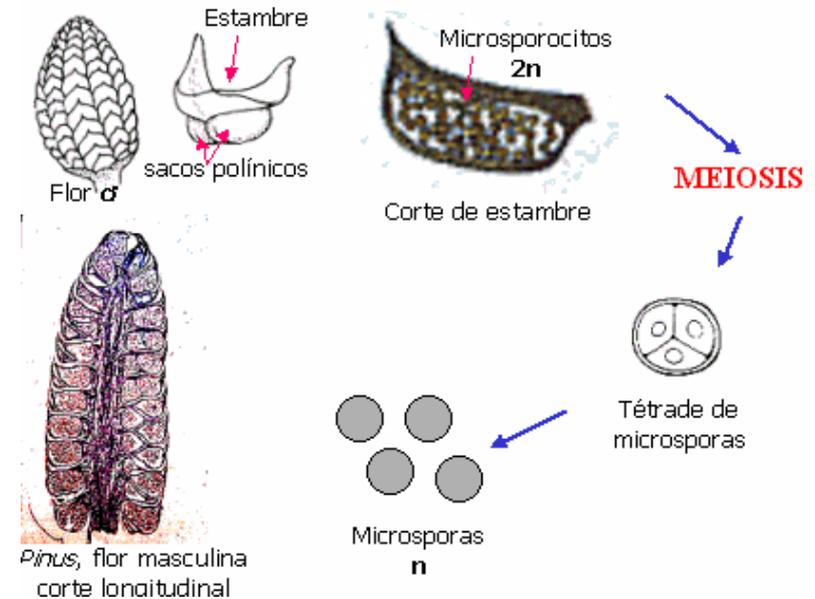
## Comparación de las principales características de Mitosis y Meiosis

MITOSIS (en células somáticas)	MEIOSIS (en células del ciclo sexual)
<p>Una división celular que resulta en 2 células hijas</p>  <p>Células hijas</p>	<p>2 divisiones celulares, generan 4 productos de meiosis</p>  <p>Meiocito</p> <p>Productos de la meiosis</p>
<p>Número cromosómico por núcleo conservado (ej. para una célula diploide)</p>  <p>Célula madre <math>2n</math></p> <p>Células hijas <math>2n</math></p>	<p>Número cromosómico dividido en los productos de la meiosis</p>  <p><math>2n</math></p> <p><math>n</math> <math>n</math> <math>n</math> <math>n</math></p>
<p>Normalmente, no hay apareamiento de homólogos</p> 	<p>Apareamiento de homólogos en la profase I</p> 
<p>No hay quiasma</p>	<p>Al menos un quiasma por par de homólogos</p> 
<p>División de centrómeros en la Anafase</p> 	<p>Centrómeros no se dividen en la Anafase I, sino en la Anafase II</p> 
<p>Proceso conservativo: genotipo de las células hijas idéntico al material parental</p>	<p>Promueve variación entre los productos de la meiosis</p>
<p>Células que sufren mitosis pueden ser diploides o haploides</p>	<p>Células que sufren meiosis son diploides</p>

# Microesporogénesis

## GIMNOSPERMAS

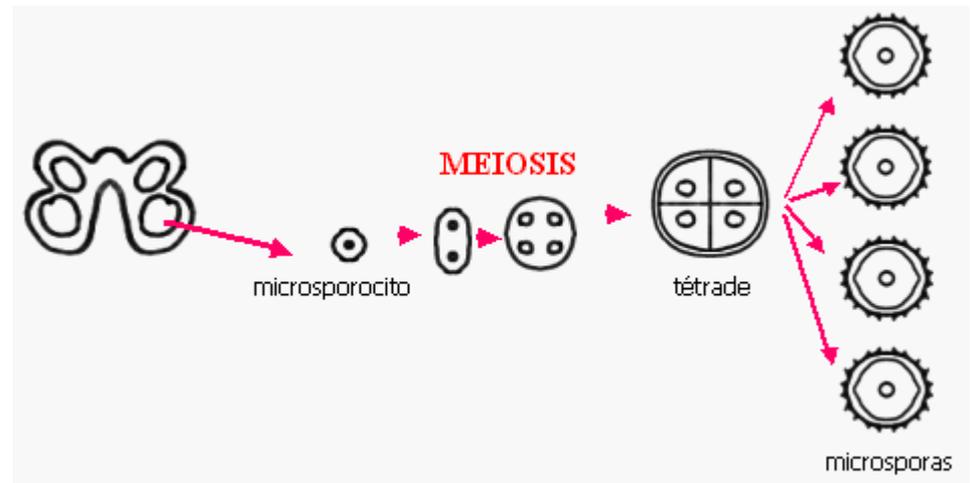
- el esporófito presenta flores masculinas desnudas formadas exclusivamente por los estambres (microsporófilos), cada uno de los cuales lleva **dos sacos polínicos** (esporangios) en la cara inferior o envés.
- los **microsporocitos o células madres del polen** (en los esporangios) por **meiosis** forman **cuatro micrósporas o granos de polen uninucleados**.
- En *Pinus* el **grano de polen maduro es alado (vesiculado)**, y contiene **cuatro células formadas por divisiones mitóticas de la micróspora**: dos células protálicas, una célula anteridial o generativa y una célula del tubo polínico. En este estado es liberado de las anteras y se produce la polinización



# Microesporogénesis

## ANGIOSPERMAS

- En los **sacos polínicos** de las anteras se encuentran los **microsporocitos** o **células madres del polen**.
- Cada célula madre sufre una **meiosis** que da por resultado **4 células** hijas que constituyen una **tétrada (o tétrade)**, es decir un conjunto de **cuatro microsporas**.



# Microesporogénesis

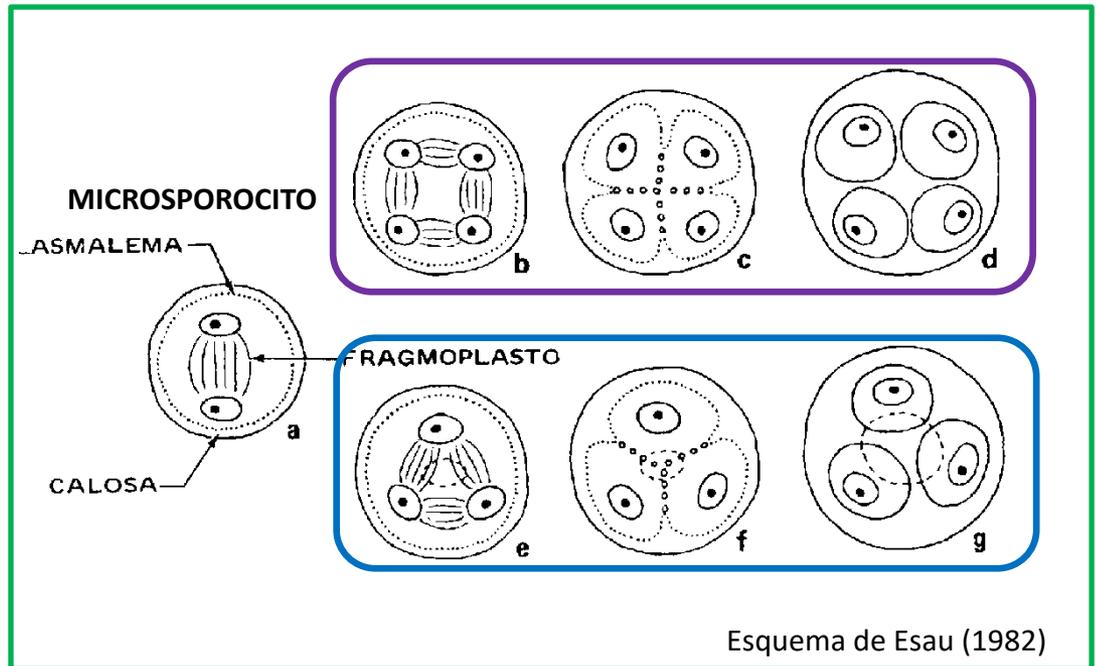
## ANGIOSPERMAS

### Citocinesis

- Es la división del citoplasma que sucede al terminar la meiosis.
- Según el momento en que se formen las paredes y como se orienten los husos acromáticos, las cuatro células resultantes de la meiosis, que forman un conjunto llamado tétrade o tétrada, pueden disponerse de distinta forma.

**Citocinesis sucesiva** :cada división es sucedida por una división de citoplasma. En **Monocotiledóneas**. Las tétradas quedan dispuestas en un mismo plano.

**Citocinesis simultánea** las paredes se forman recién al terminar la meiosis. Es típica de **Dicotiledóneas**, y las micrósporas quedan dispuestas en varios planos.



# Microgametogénesis

Transformación de las micrósporas en el **gametofito masculino y los gametos masculinos**

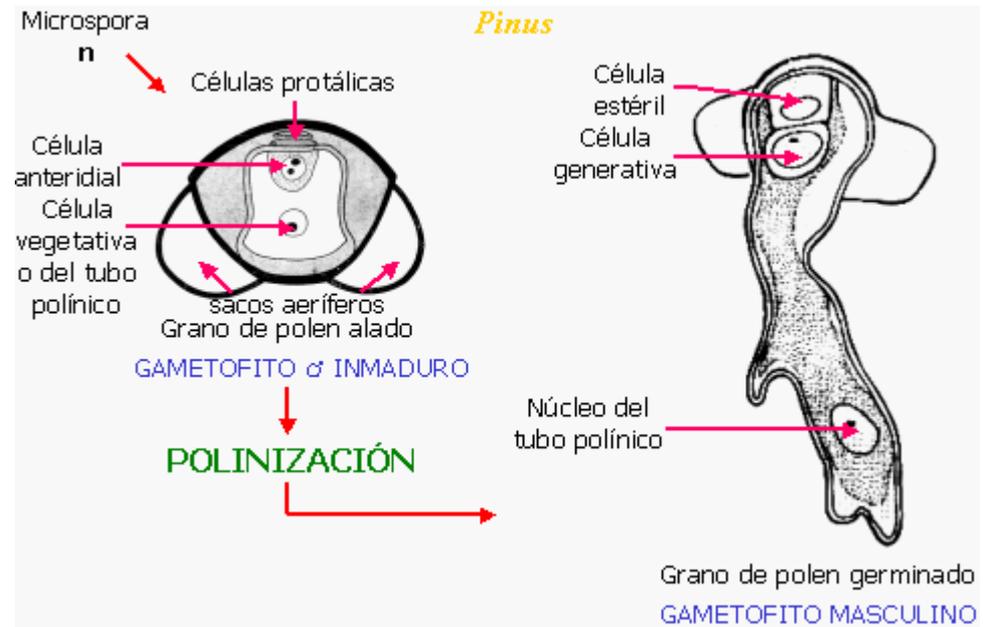
**GIMNOSPERMAS**

**ANGIOSPERMAS**

# Microgametogénesis

## GIMNOSPERMAS

- En *Pinus*, unos meses después de la polinización, el grano de polen germina, y el tubo polínico se abre paso a través de la nucela hasta el gametófito femenino.
- En su interior se produce la **microgametogénesis**: la célula **anteridial se divide** dando dos células, una célula estéril (pedicular) y una **célula generativa o gametogénica, que se divide a su vez para dar dos gametos masculinos**.
- El gametófito masculino maduro consta de varias células.

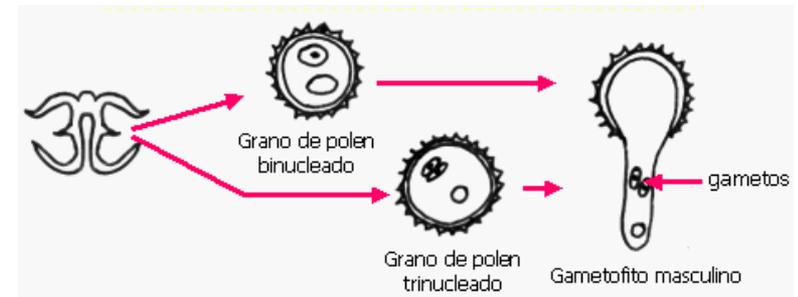
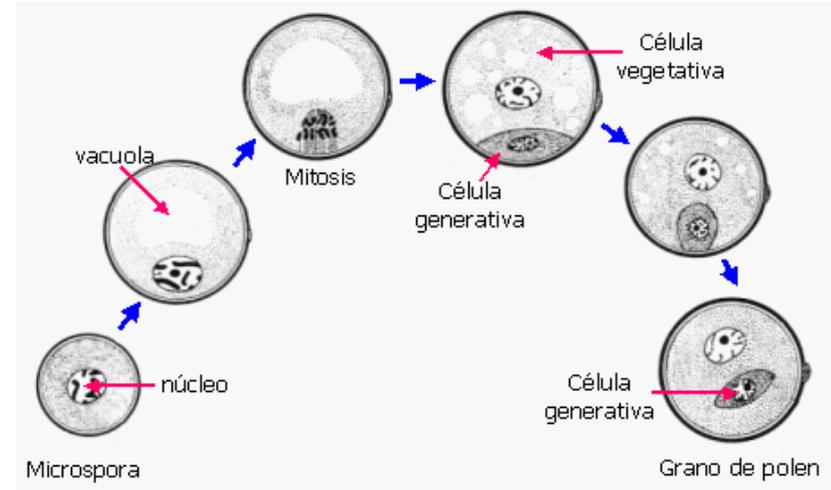


Esquemas de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Microgametogénesis

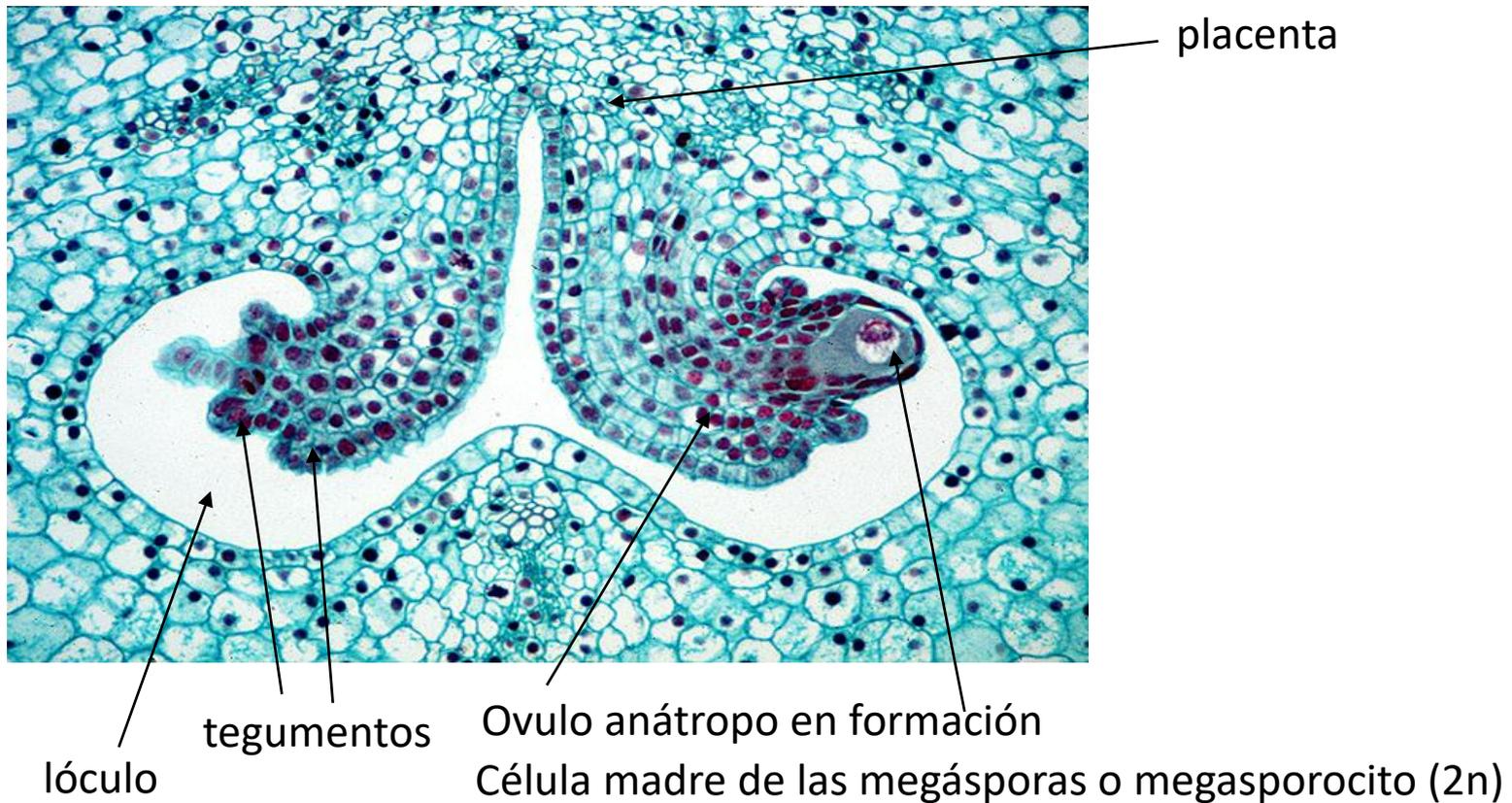
## ANGIOSPERMAS

- Cada micróspora o grano de polen unicelular sufre una **división mitótica** (2 células desiguales): una muy grande, la **célula vegetativa o célula del tubo polínico** que llena el grano casi por completo, y una pequeña célula lenticular, la **célula generativa o gametogénica**, aplicada contra la pared de la micróspora.
- la **célula generativa produce 2 células**: los **gametos masculinos**, que son desnudos, no forman pared celular. Esta división puede producirse aún dentro del saco polínico o recién después que el grano de polen germina, dentro del tubo polínico.
- **Cada grano de polen maduro es el gametófito masculino**, es decir la planta que produce gametos, reducida a solamente **dos células**.



# Megaesporogénesis y megagametogénesis

El **óvulo** que se desarrolla a partir de la placenta del ovario es el lugar de formación de las megásporas (megasporogénesis) y del desarrollo del saco embrionario (gametofito femenino) con sus gametos femeninos



# Megaesporogénesis

Proceso de **formación de 4 (tétrade inicial) megásporas** por meiosis a partir de una célula madre de las megásporas o megasporocito

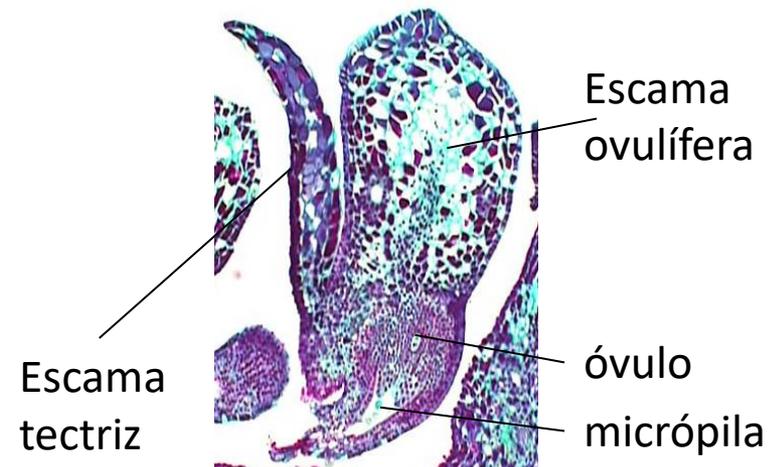
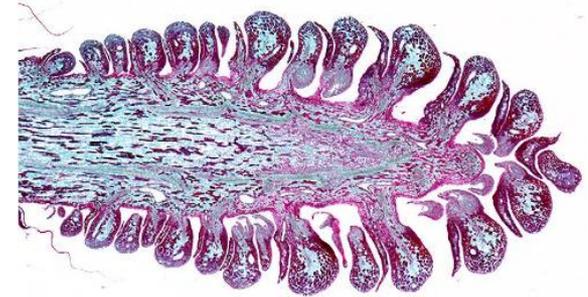
**GIMNOSPERMAS**

**ANGIOSPERMAS**

# Megaesporogénesis

## GIMNOSPERMAS

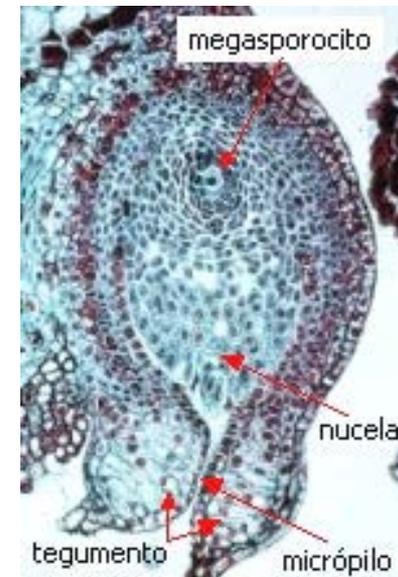
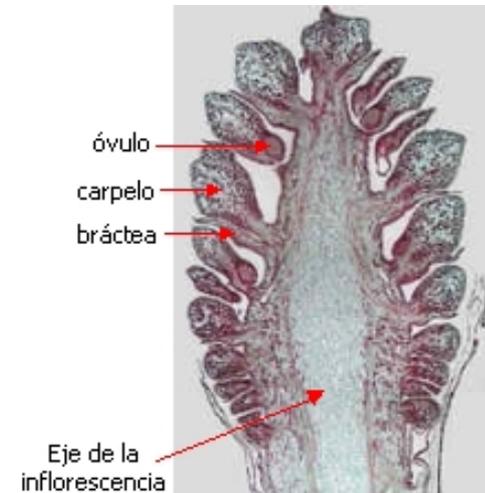
- Las **inflorescencias femeninas** de *Pinus*, los conos o piñas, son de mayor tamaño y mucho **más complejas que las inflorescencias masculinas**
- Las brácteas se disponen helicoidalmente alrededor del eje de la inflorescencia o estróbilo.
- **Cada flor femenina está inserta en la axila de una bráctea tectriz.** La flor es desnuda, está constituida solamente **por un carpelo o escama ovulífera.**
- **Cada escama ovulífera (carpelo) lleva 2 óvulos en su cara superior;** cada óvulo consiste de la nucela rodeada por un tegumento y con el micrópilo orientado hacia el eje de la inflorescencia.
- La nucela es el equivalente del megasporangio.



# Megaesporogénesis

## GIMNOSPERMAS

- En cada **megasporangio se diferencia una sola célula madre de las megásporas o megasporocito.**
- Después de la polinización el **megasporocito se divide por meiosis, formando una tétrade lineal de megásporas.**
- Las **tres orientadas hacia el micrópilo abortan, y sólo la ubicada más profundamente es funcional**

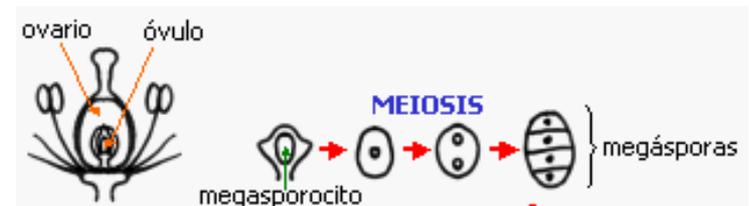
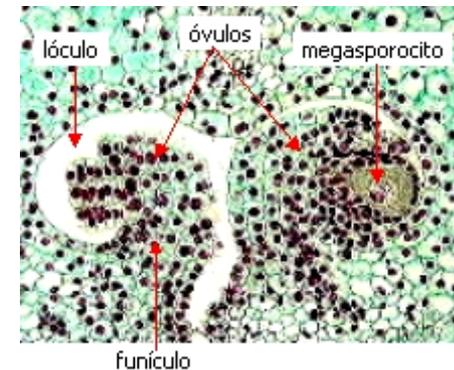
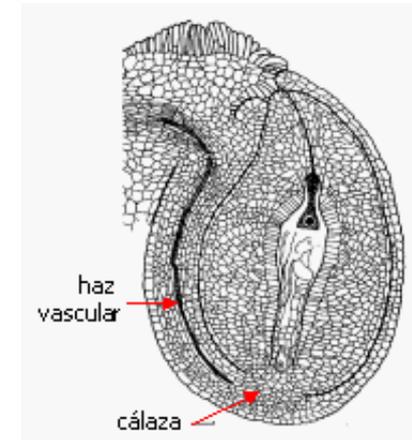


# Megaesporogénesis

## ANGIOSPERMAS

- Cada óvulo está inervado por un haz vascular que atraviesa el funículo y llega hasta la chalaza (región donde el nucelo, los tegumentos y funículos confluyen)
- **La nucela del óvulo es el megasporangio**, allí se diferencia una **célula madre de las megásporas o megasporocito**.
- El **megasporocito se divide por meiosis** formando **cuatro megásporas haploides** que se disponen en una tétrade lineal.
- Comúnmente **las tres ubicadas hacia el micrópilo, degeneran**, y la más interna **originará el saco embrionario o gametófito femenino**. A menudo se forma una pared de calosa durante la meiosis, que aísla la megáspora que sobrevive

Ovulo de *Linum*



# Megagametogénesis

Proceso de formación de los **gametos femeninos**.

- En las Pteridofitas ocurre en el prótalo.
- En las plantas con semilla (Espermatófitas) tiene lugar en la nucela del óvulo.

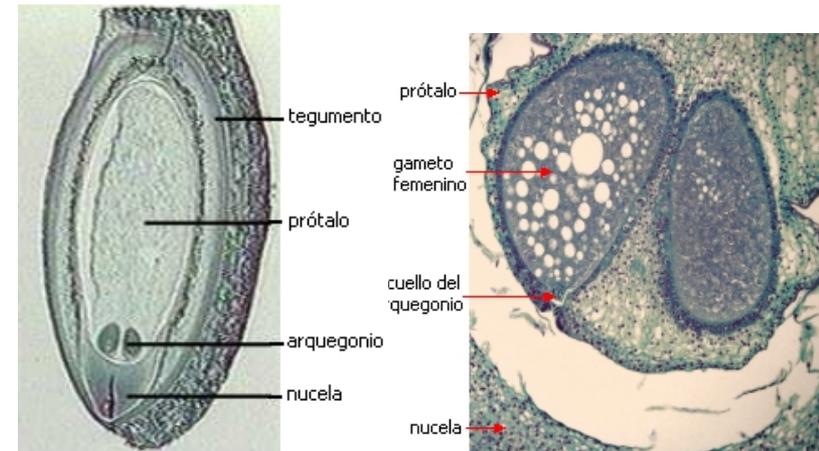
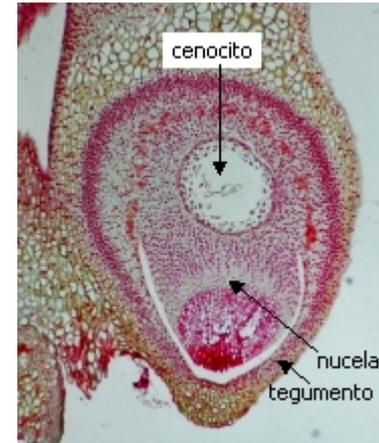
**GIMNOSPERMAS**

**ANGIOSPERMAS**

# Megagametogénesis

## GIMNOSPERMAS

- La megáspora funcional se divide por mitosis muchas veces.
- Al inicio hay de divisiones nucleares libres, sin formar paredes celulares, hasta constituir un **cenocito** con unos **2.000 núcleos** (así pasa el invierno, y en la primavera siguiente reanuda el crecimiento)
- Luego, se produce la formación de paredes entre los núcleos del cenocito, dando origen al **endosperma primario o prótalo** o gametófito femenino
- Al finalizar la formación de paredes celulares, en el prótalo se forman **2 ó 3 arquegonios** hacia el extremo micropilar. **Cada arquegonio está formado por una ovocélula o gameto femenino** voluminoso, por encima del cual están las células del canal del cuello y una célula del canal del vientre ubicada en el centro. **El gametófito femenino maduro es el prótalo con los arquegonios.**

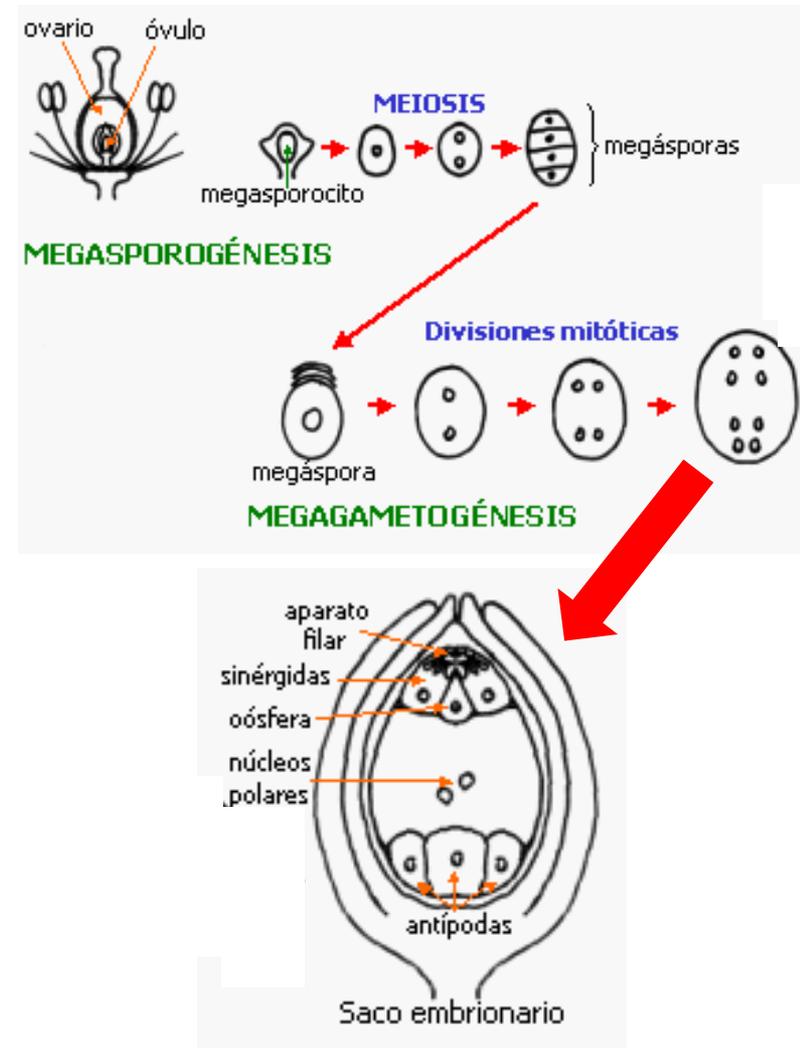


Figuras de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Megagametogénesis

## ANGIOSPERMAS

- la megáspora funcional sufre 3 mitosis sucesivas: **se forman 8 núcleos que se distribuyen en 7 células para así constituir el saco embrionario o gametófito femenino**
- **Dos grupos de 3 células**, se ubican cada uno en un polo, rodeados de pared celular:
  - El grupo que se ubica en el **polo micropilar** constituye el **aparato ovular**: una ovocélula o gameto femenino u oósfera y dos sinérgidas laterales.
  - El grupo que se ubica **hacia el polo chalazal** del saco embrionario constituye **las antípodas** que aparentemente participan en la nutrición del saco embrionario
- Los dos núcleos restantes, denominados **núcleos polares se ubican en la célula del medio**, y frecuentemente se fusionan antes de la penetración del tubo polínico, constituyendo el núcleo secundario  $2n$



# Polinización

- La polinización es el **transporte de los granos de polen desde los sacos polínicos de las anteras hasta el micrópilo de los óvulos en Gimnospermas y hasta el estigma en las Angiospermas.**
- La polinización puede producirse antes o después de la **antesis (momento de apertura del capullo floral)**:
  - **cleistogamia**: cuando la polinización **se realiza en el capullo o botón floral**. La autogamia o sea la fecundación con las gametas del propio polen, es obligada porque las flores no se abren.
  - **casmogamia**: **después de la antesis**, en flores abiertas. En las flores casmógamas puede tener lugar la autogamia o la alogamia (polinización cruzada).

# Polinización

- **Autogamia:** cuando el transporte de polen, y por ende, la fecundación, ocurre entre **flores del mismo individuo**. En especies autógamas, las flores con frecuencia son inconspicuas, con piezas florales reducidas, menor cantidad de polen, sin fragancia y sin néctar. Entre flores distintas del mismo individuo: geitonogamia
- **Alogamia o polinización cruzada:** Cuando el transporte de polen ocurre entre **flores de individuos diferentes** y por ende hay fecundación cruzada o alogamia. Las ventajas de la alogamia radican en la producción de nuevas combinaciones genéticas en la población, que aseguran la variabilidad de la especie y en consecuencia, la posibilidad de sobrevivir a los cambios de medio ambiente

# Polinización

## ABIÓTICA:

Anemofilia (viento)

Hidrofilia (agua)



<http://www.forsythnews.com/archives/29796/>

# Polinización

## BIÓTICA:

Entomofilia (insectos)



<http://www.shirleys-wellness-cafe.com/NaturalFood/Bee>

Ornitofilia (aves)



Quireptofilia  
(murciélagos)



[http://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/la-llamada-de-la-flor-2\\_8154](http://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/la-llamada-de-la-flor-2_8154)

# Fecundación y embriogénesis

**FECUNDACIÓN:** Unión de los gametos masculinos y femeninos

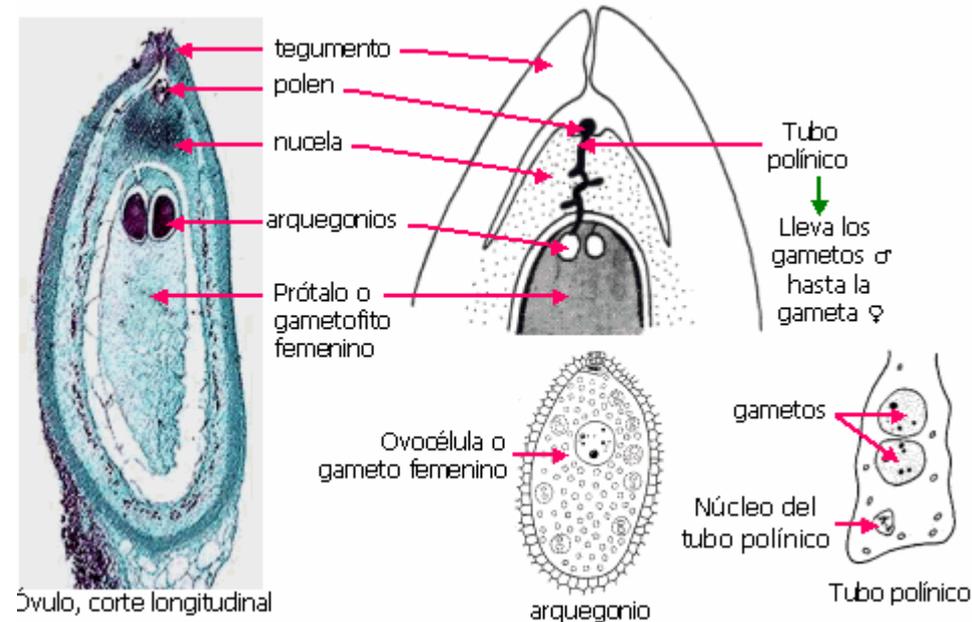
**GIMNOSPERMAS**

**ANGIOSPERMAS**

# Fecundación y embriogénesis

## GIMNOSPERMAS

- El tubo polínico crece muy lentamente, abriéndose paso a través de la nucela del óvulo. Cuando llega hasta el gametofito femenino, se abre paso entre las células del cuello del arquegonio, penetra en la ovocélula o gameta femenina y descarga en ella su contenido.
- **fecundación**: uno de los gametos se une con el núcleo de la ovocélula y el otro degenera, igual que el núcleo vegetativo y las demás células del arquegonio.



# Fecundación y embriogénesis

## ANGIOSPERMAS

- se inicia con la **germinación del grano de polen sobre el estigma**, desarrollando el tubo polínico.
- el tubo crece sobre el tejido transmisor, sobre las células, entre ellas o en las paredes mismas. Las paredes o las laminillas medias son disueltas por enzimas pectinasas producidas en el extremo del tubo.
- el citoplasma, los gametos y el núcleo de la célula vegetativa se encuentran en la porción apical del tubo polínico. Más arriba se encuentra una gigantesca vacuola que aumenta de tamaño por incorporación de agua.
- El tubo polínico hace contacto con el saco embrionario en el aparato filar de la sinérgida, lo atraviesa, y luego se forma un poro en el extremo del tubo para que pueda descargar su contenido en el citoplasma de la sinérgida. Esta recibe los gametos y parte de su citoplasma.
- Luego, el núcleo vegetativo del tubo se desorganiza.

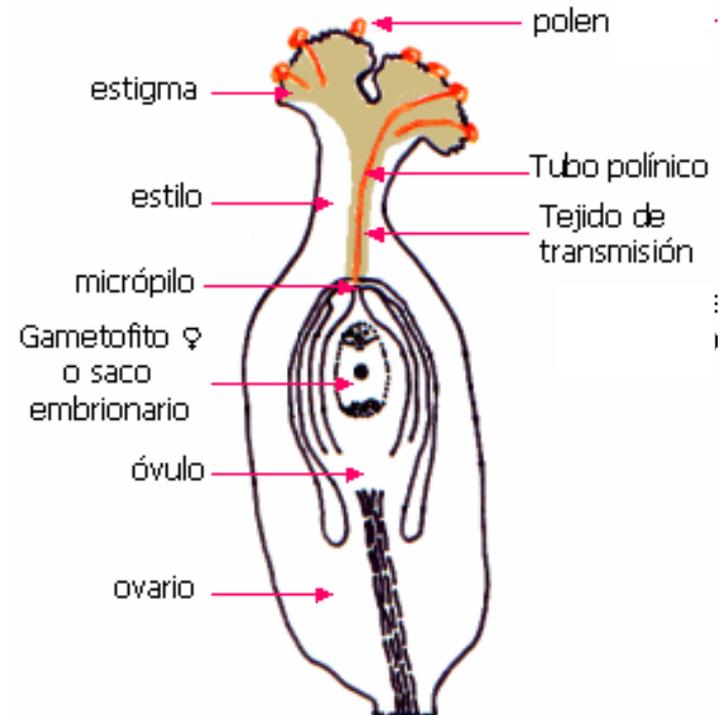
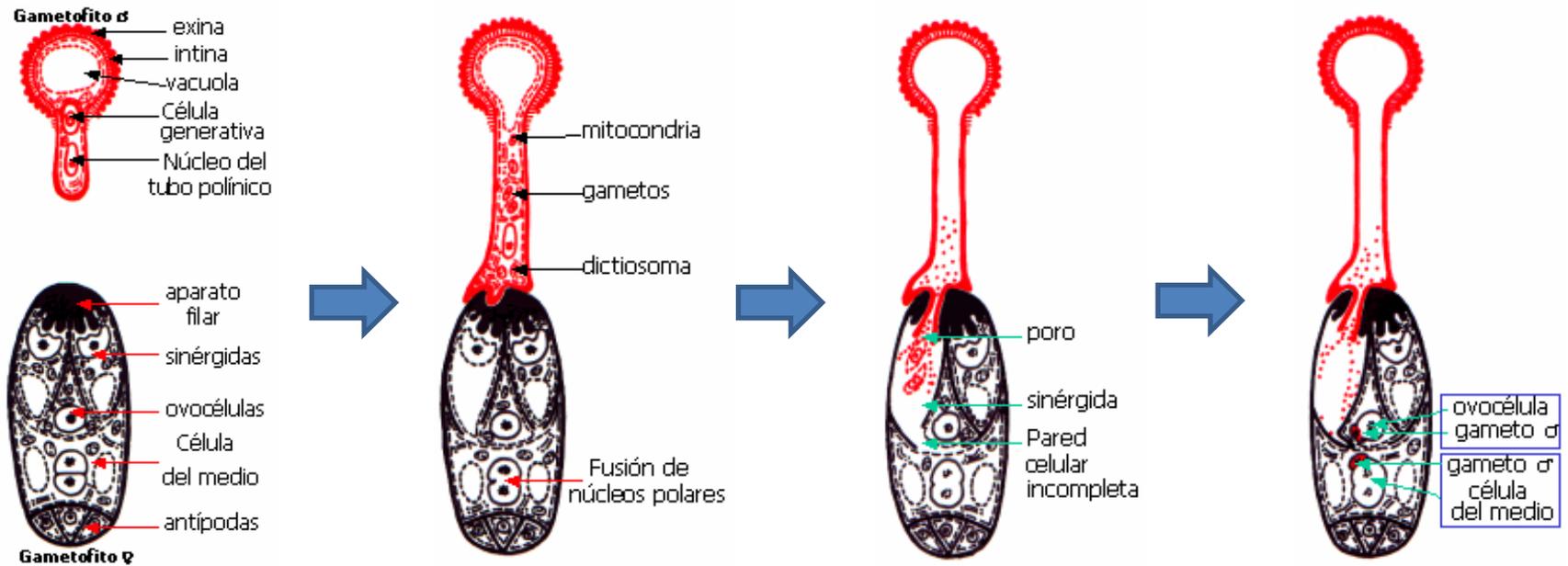


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Fecundación y embriogénesis

## ANGIOSPERMAS



Figuras de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica), modificado de Cocucci 1969

# Fecundación y embriogénesis

## ANGIOSPERMAS

- Uno de los gametos penetra en la ovocélula, y se fusiona con ella para constituir la **célula huevo o cigoto**  $2n$ .
- **El otro penetra en la célula del medio y se fusiona con el núcleo secundario** formado por la fusión de los dos núcleos polares, constituyendo el **núcleo primario del endosperma**, generalmente triploide,  $3n$

Este proceso, llamado **doble fecundación**, es característico de las Angiospermas

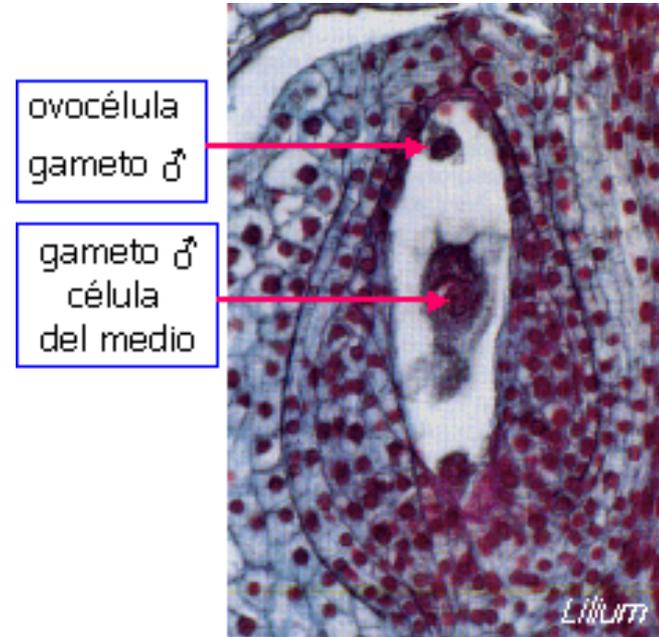
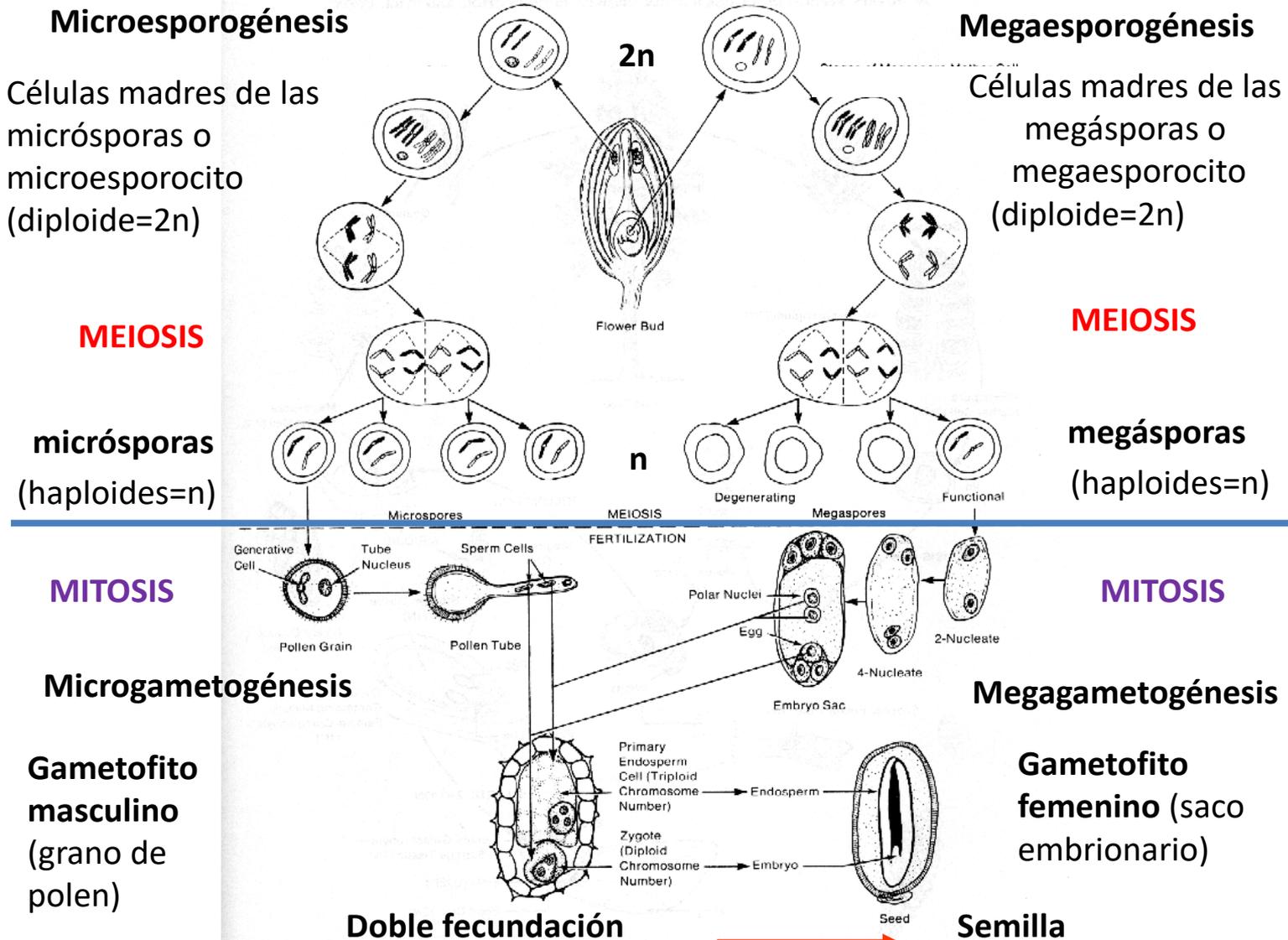


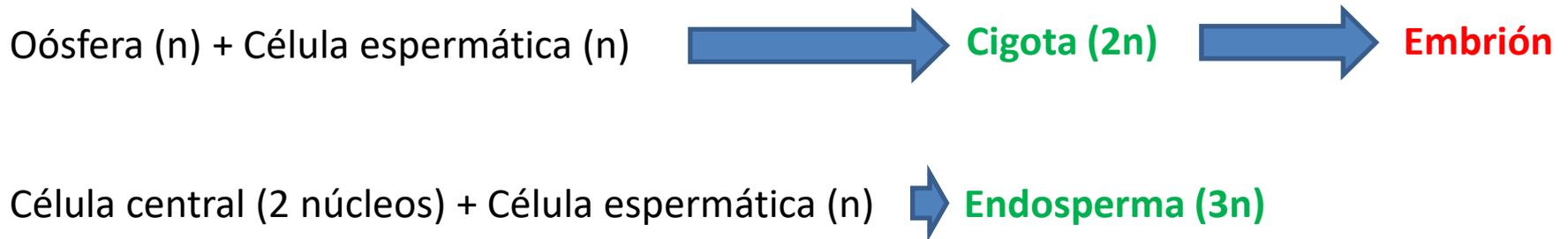
Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Reproducción sexual: resumen en Angiospermas



# Reproducción sexual: resumen en Angiospermas

## DOBLE FECUNDACIÓN



# Fecundación y embriogénesis

## ANGIOSPERMAS: embriogénesis

- La embriogénesis **comienza generalmente después que se inicia el endosperma,**
- El cigoto muestra una **diferenciación citológica entre los polos calazal o chalazal y micropilar,** es decir que se define un eje.
- La **polarización del cigoto,** proceso controlado por el complejo membrana plasmática-citoesqueleto, es la base del desarrollo ontogenético.
- El **polo chalazal** es el asiento de la mayor parte del crecimiento, el embrión se desarrolla de células formadas en este polo.
- El **polo micropilar** tiene esencialmente función vegetativa, su crecimiento produce el **suspensor** que asegura al embrión en la zona micropilar y suministra un mecanismo de transferencia de nutrientes.

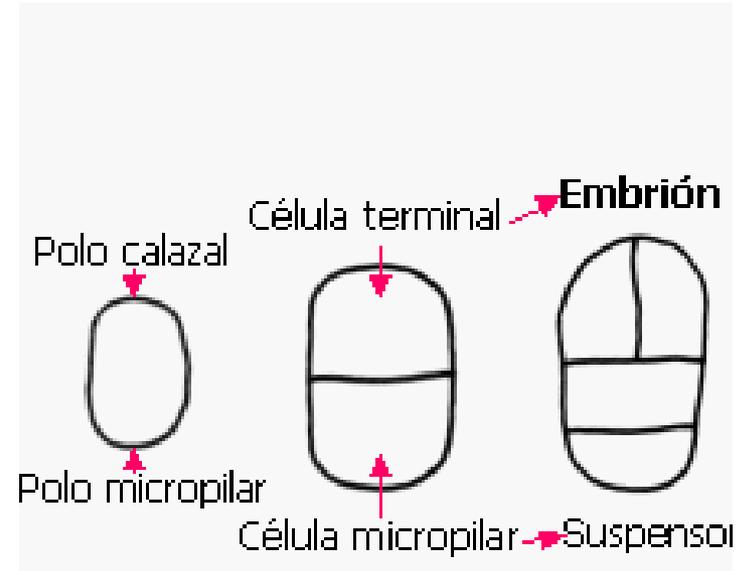


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Fecundación y embriogénesis

## ANGIOSPERMAS: embriogénesis

*Capsella bursa-pastoris* es el modelo utilizado para describir la embriogénesis de dicotiledóneas.

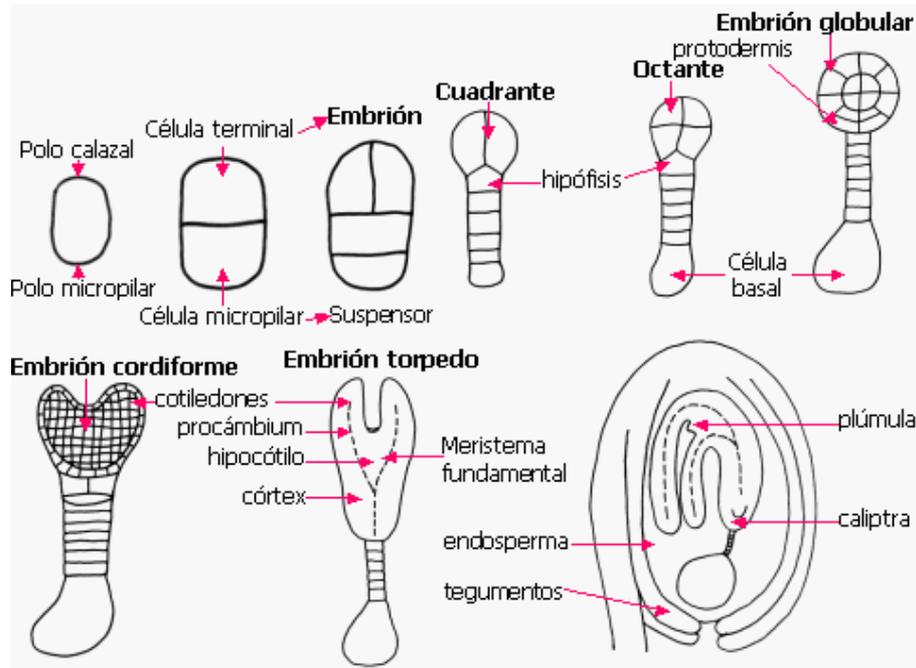


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

En Monocotiledóneas, los estadios iniciales, hasta la formación del embrión globular son idénticos. Se diferencia en que el cotiledón se desarrolla apicalmente, y el ápice caulinar está en una hendidura lateral.

# Estructura de la semilla

La semilla está formada por:

- el embrión,
- la cubierta seminal o episperma
- y a veces tejido de reserva.

# Semilla: episperma

- La cubierta seminal o **episperma** se forma a partir de los **tegumentos del óvulo**.
- A veces intervienen las capas periféricas de la nucela.
- Se observan comúnmente **dos capas**: la externa, la **testa**, derivada del tegumento externo y la interna, el **tegmen**, derivado del tegumento interno del óvulo y/o de la nucela.
- En Angiospermas, el episperma es generalmente seco.

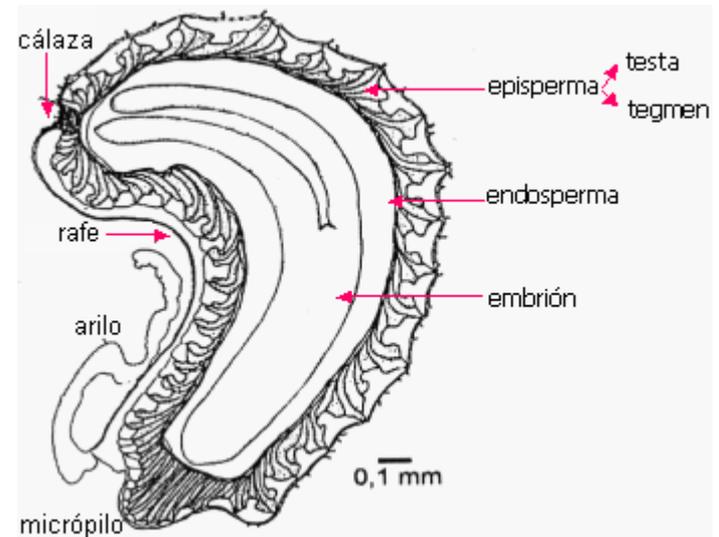


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Semilla: sustancias de reserva

- En las semillas de Gimnospermas se almacenan grasas, aceites y proteínas en el **endosperma primario, prótalo o gametófito femenino**, cuya dotación cromosómica es **haploide**.
- En las Angiospermas las sustancias de reserva generalmente están presentes. Su ausencia es rara.
- Hay tres posibilidades para la localización de las sustancias de reserva:
  1. **Semillas albuminadas o endospermadas**
  2. **Semillas perispermadas**
  3. **Semillas exalbuminadas**

# Semilla: sustancias de reserva

## 1. Semillas albuminadas o endospermadas

- Las **reservas** se acumulan en el **endosperma** originado por la doble fecundación.
- El tejido es **triploide** ( $3n$ ) generalmente, a veces con grado de ploidía aún mayor

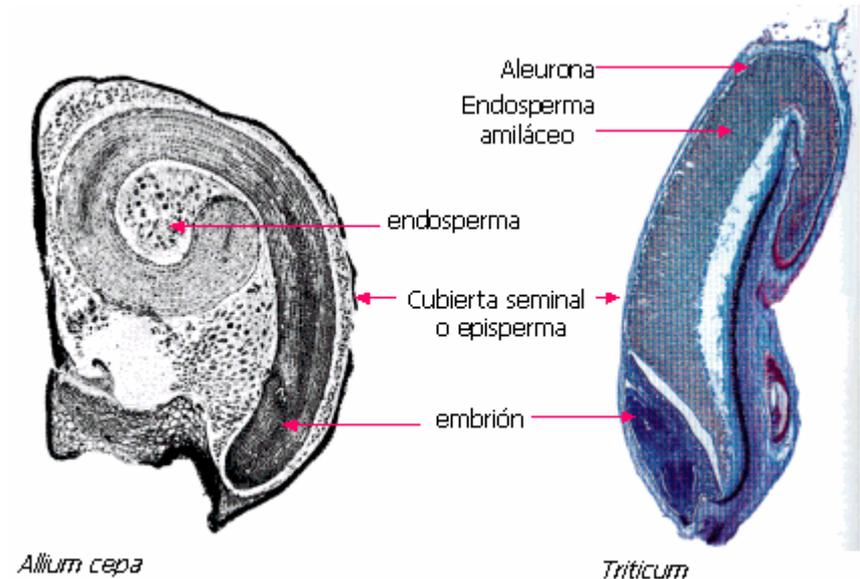


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

# Semilla: sustancias de reserva

## 2. Semillas perispermadas

- Las sustancias de **reserva** se acumulan en el **perisperma**, **tejido nucelar**, cuya dotación cromosómica es  $2n$ .
- Se presenta en semillas de Amaranthaceae, Chenopodiaceae, Polygonaceae
- A veces coexisten perisperma y endosperma como sucede en las semillas de Nymphaeaceae, Zingiberaceae, Piperaceae.

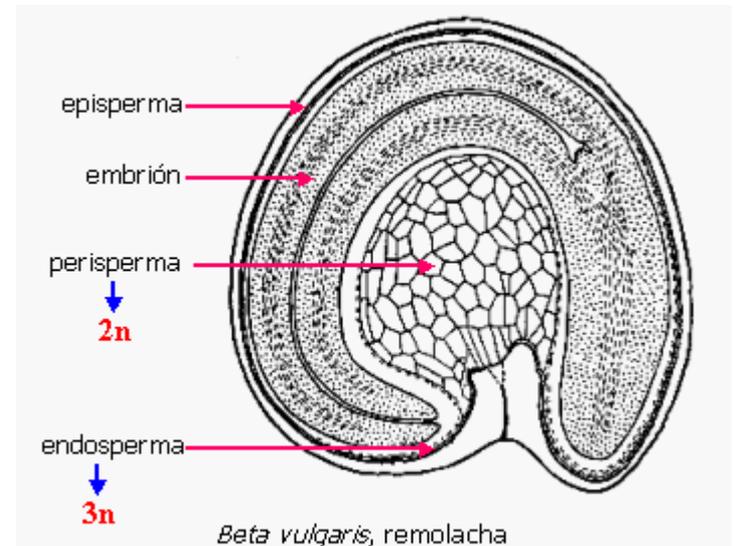
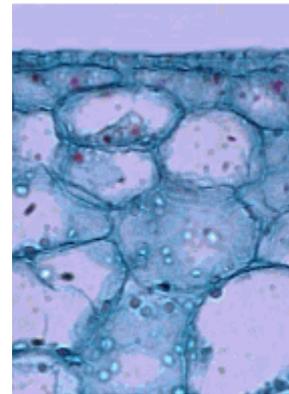


Figura de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

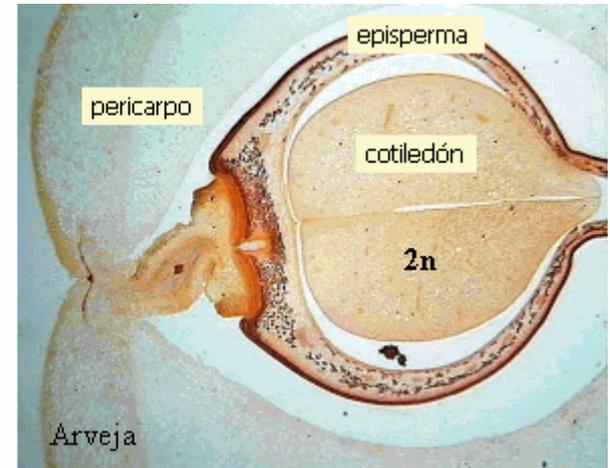
# Semilla: sustancias de reserva

## 3. Semillas exalbuminadas

- Las reservas se acumulan en **los cotiledones,  $2n$** .
- En estas semillas, el endosperma se consume durante el desarrollo del embrión.
- Las sustancias de reserva para la germinación se acumulan en los cotiledones, que se vuelven carnosos.



Cotiledón,  
parénquima reservante



Figuras de [biologia.edu.ar/botanica](http://biologia.edu.ar/botanica)

## Anatomía 5: Anatomía de la semilla

### *Subunidad B: Gametofito masculino y femenino en Angiospermas*

- Alternancia de generaciones
- Microsporogénesis y microgametogénesis.
- Megasporogénesis y megagametogénesis, saco embrionario.
- Polinización y Fecundación.

### *Subunidad C: La semilla.*

- desarrollo y embriogénesis