

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

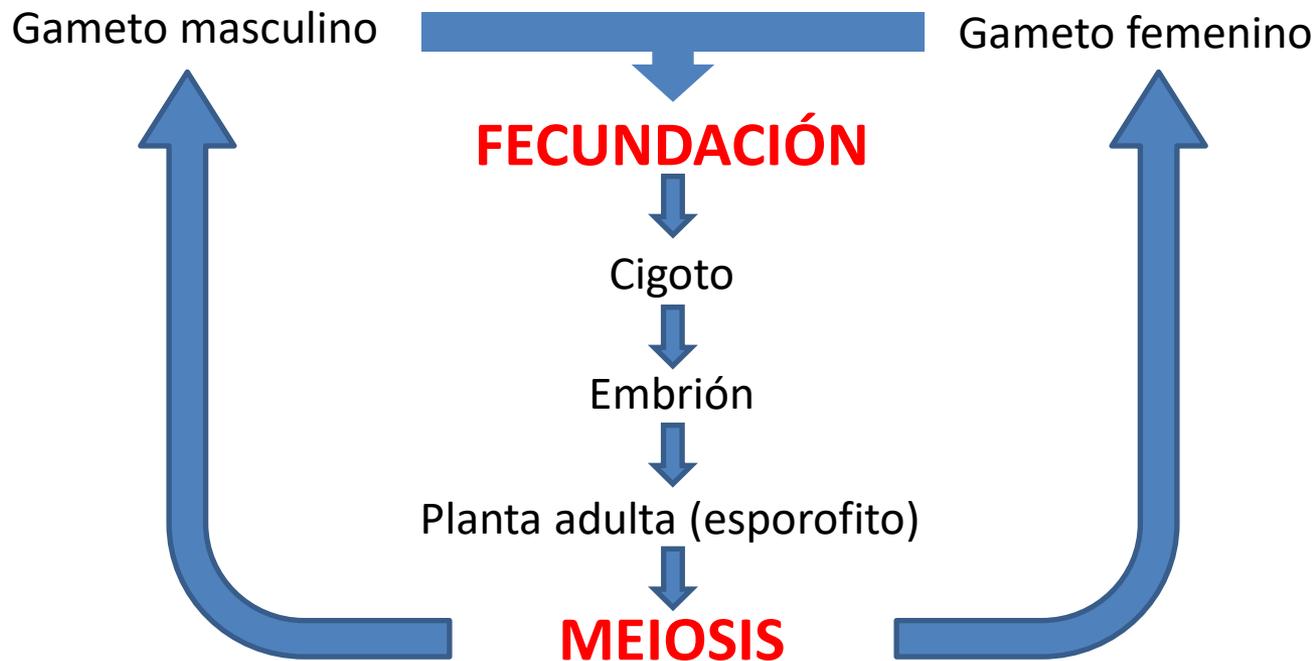
Asexual:

- 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

Aparición de dos fases o generaciones en el ciclo vital (haplo-diplonte) de un organismo que se reproduce sexualmente:

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

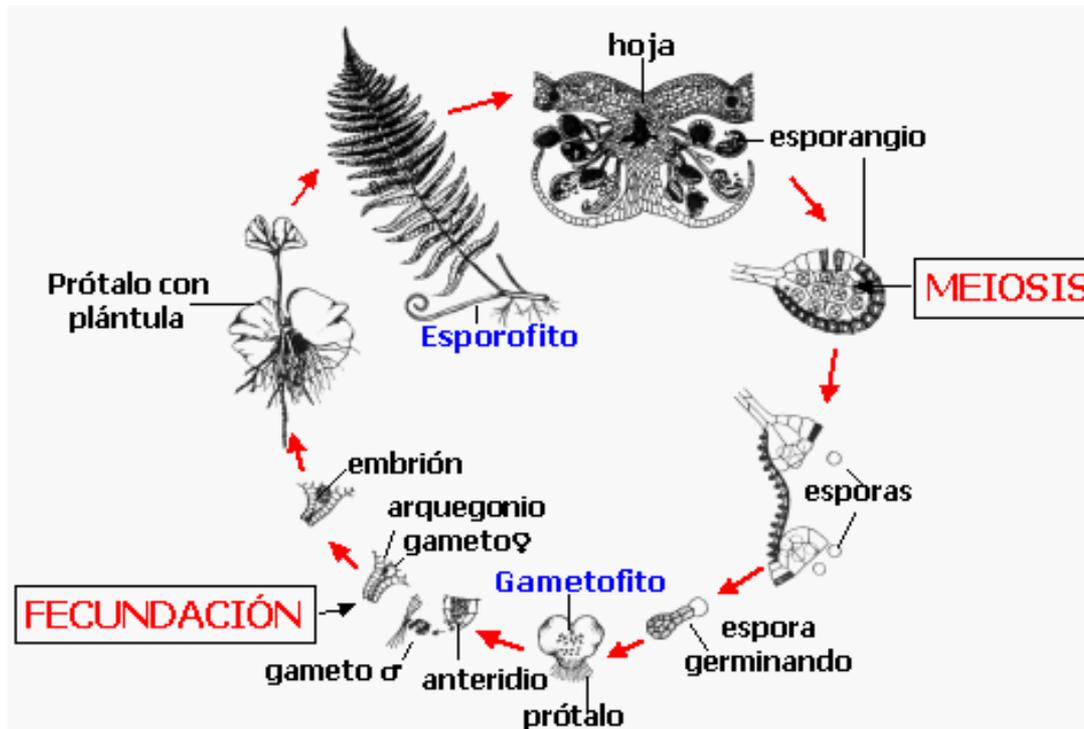
Los límites entre las dos generaciones están determinados por la MEIOSIS Y la FECUNDACIÓN



Alternancia de generaciones

En Pteridófitas (helechos)

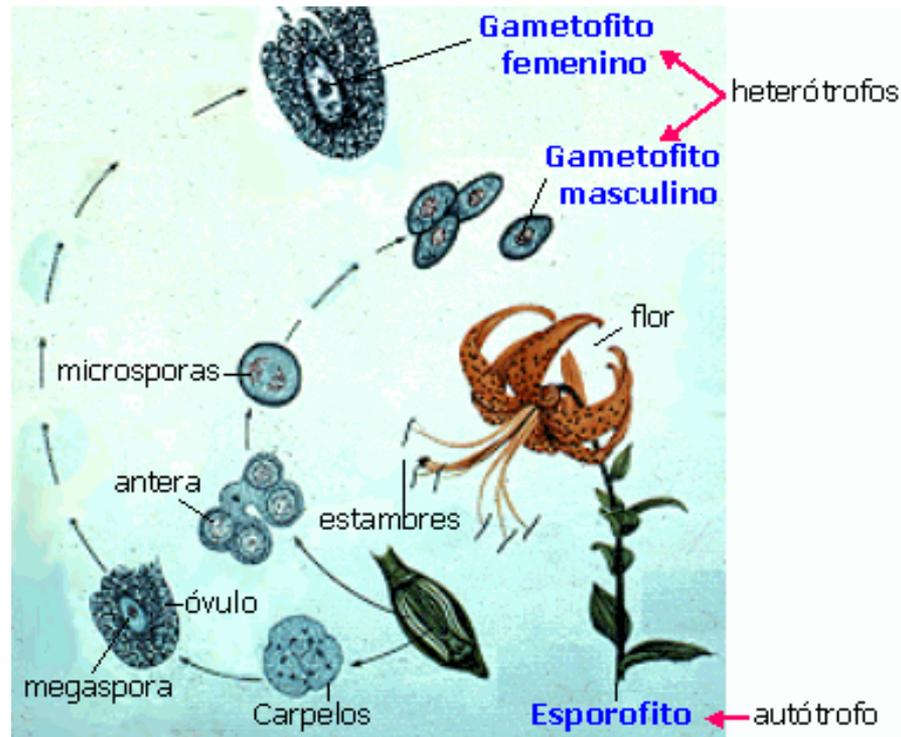
- el **esporófito** es la planta con hojas: los esporangios, órganos donde se producen las esporas están ubicados en el envés de las hojas.
- el **gametófito** es verde y autótrofo pero efímero, mide unos pocos centímetros y se llama prótalo. En su cara inferior se encuentran los arquegonios y anteridios,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



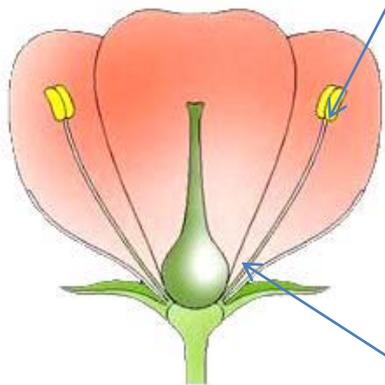
Alternancia de generaciones

En 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



Estambres
(**micro**sporofilos)
Constituyen el
Androceo (♂)

Carpelos
(**mega**sporofilos)
Constituyen el
Gineceo (♀)

Esquema de:
<http://www.ugr.es/~mcasar es/Organografia/Flor/Flor% 20index.htm> y
<http://www.criba.edu.ar/m orfologiavegetal/>



Microesporogénesis

Megaesporogénesis

Ambos implican
MEIOSIS o división
reduccional



Microgametogénesis

Megagametogénesis

Microesporogénesis

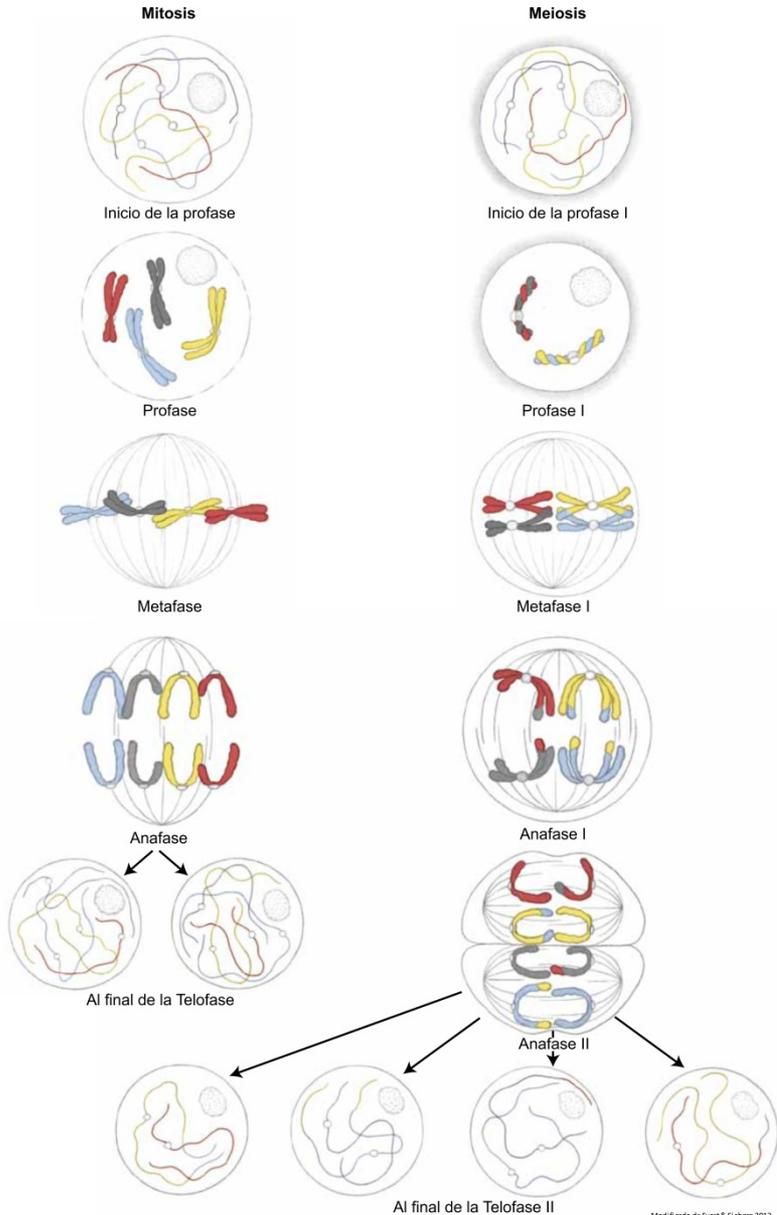
Proceso de **formación de tétradas de micrósporas** a partir de una célula madre de las micrósporas o del polen (microsporocito) a través de la MEIOSIS:

GIMNOSPERMAS

ANGIOSPERMAS

los granos de polen en estado uninucleado son las micrósporas

Microesporogénesis: meiosis

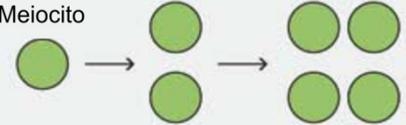
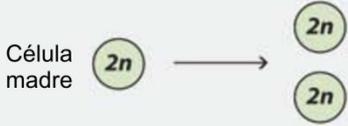
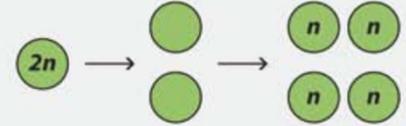
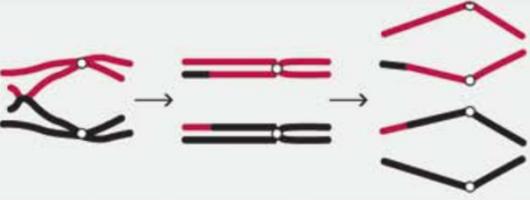


DIVISIÓN REDUCCIONAL

- **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 son cuatro células haploides. Reducción del número de cromosomas, reestructuración de los cromosomas y recombinación de los genes maternos y paternos.

Microesporogénesis: meiosis

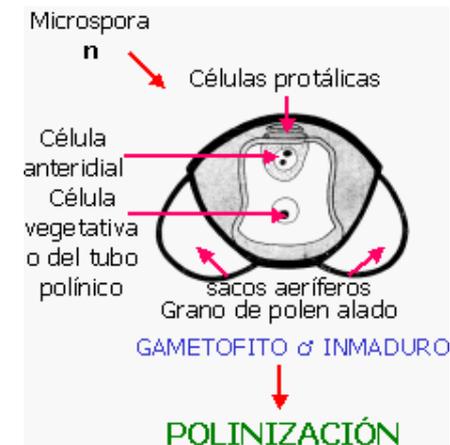
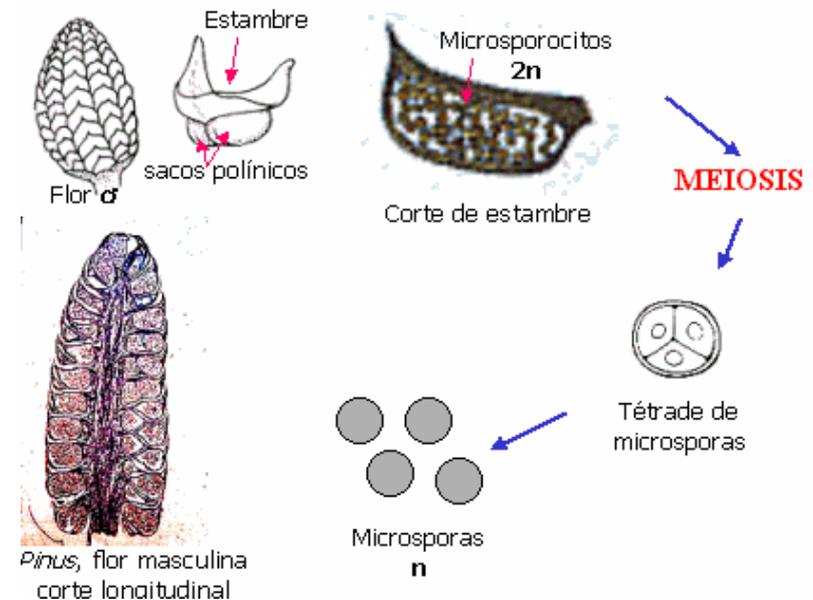
Comparación de las principales características de Mitosis y Meiosis

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

Microesporogénesis

GIMNOSPERMAS

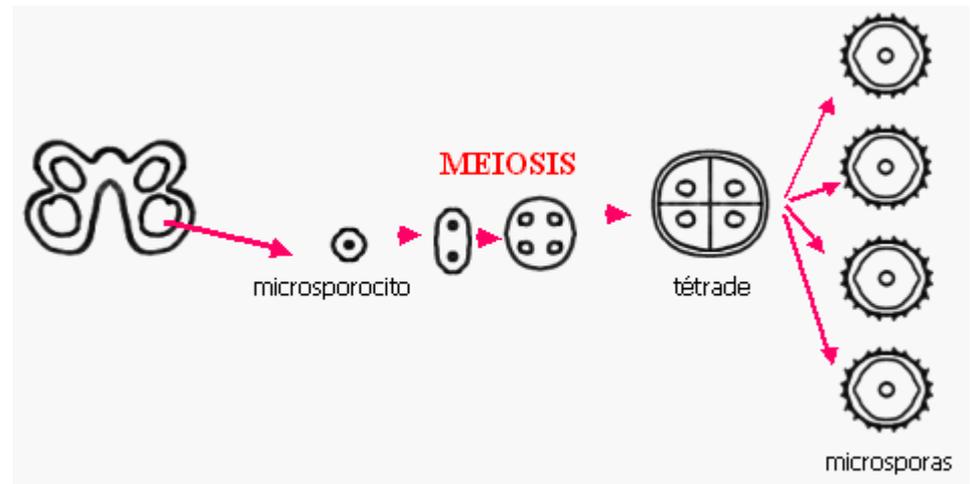
- el esporófito presenta flores masculinas desnudas formadas exclusivamente por los estambres (microsporófilos), cada uno de los cuales lleva **dos sacos polínicos** (esporangios) en la cara inferior o envés.
- los **microsporocitos o células madres del polen** (en los esporangios) por **meiosis** forman **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 anterial 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 **tétrade**, es decir un conjunto de **cuatro microsporas**.



Microesporogénesis

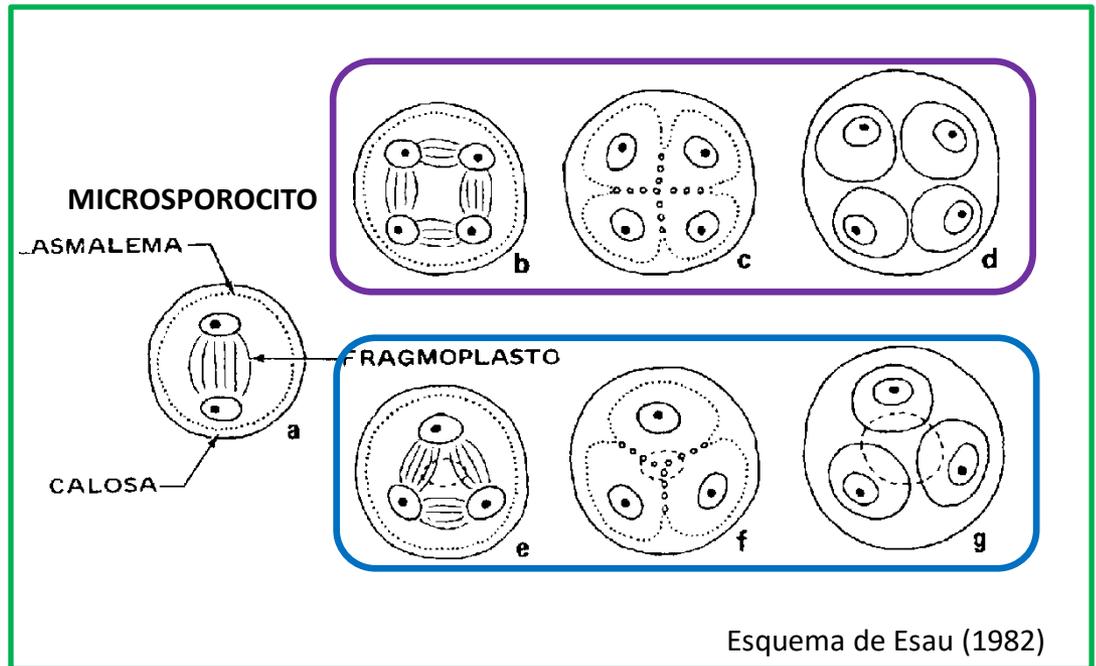
ANGIOSPERMAS

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. Las tétrades pueden ser tetraédricas o decusadas.



Microgametogénesis

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

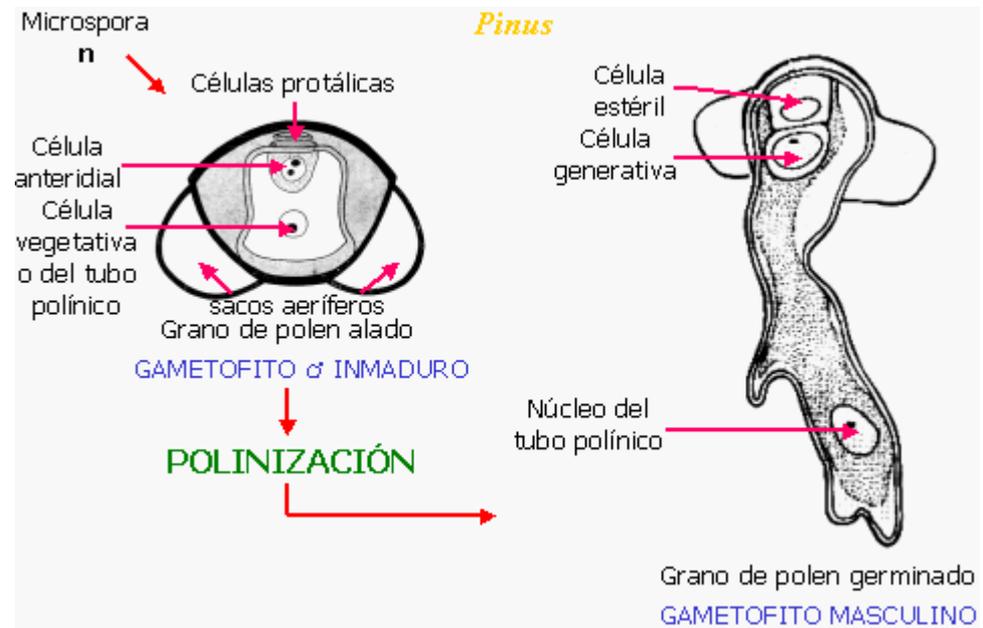
GIMNOSPERMAS

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 pues de varias células.

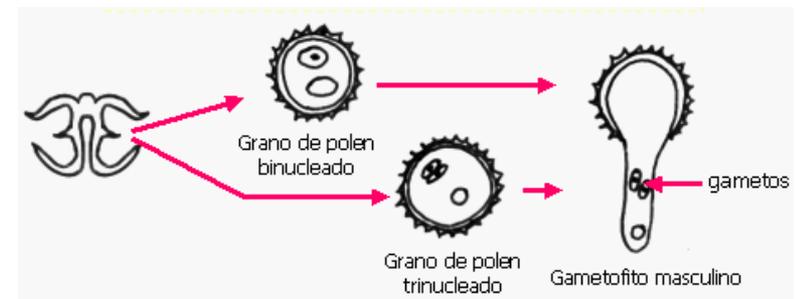
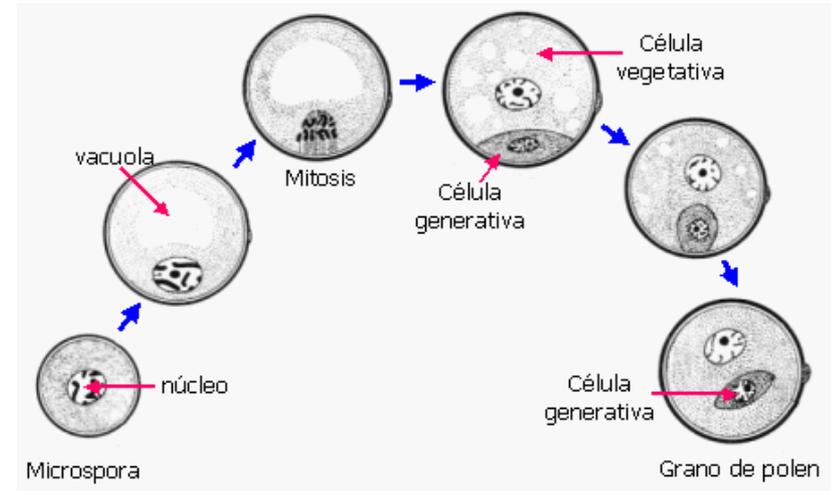


Esquemas de biologia.edu.ar/botanica

Microgametogénesis

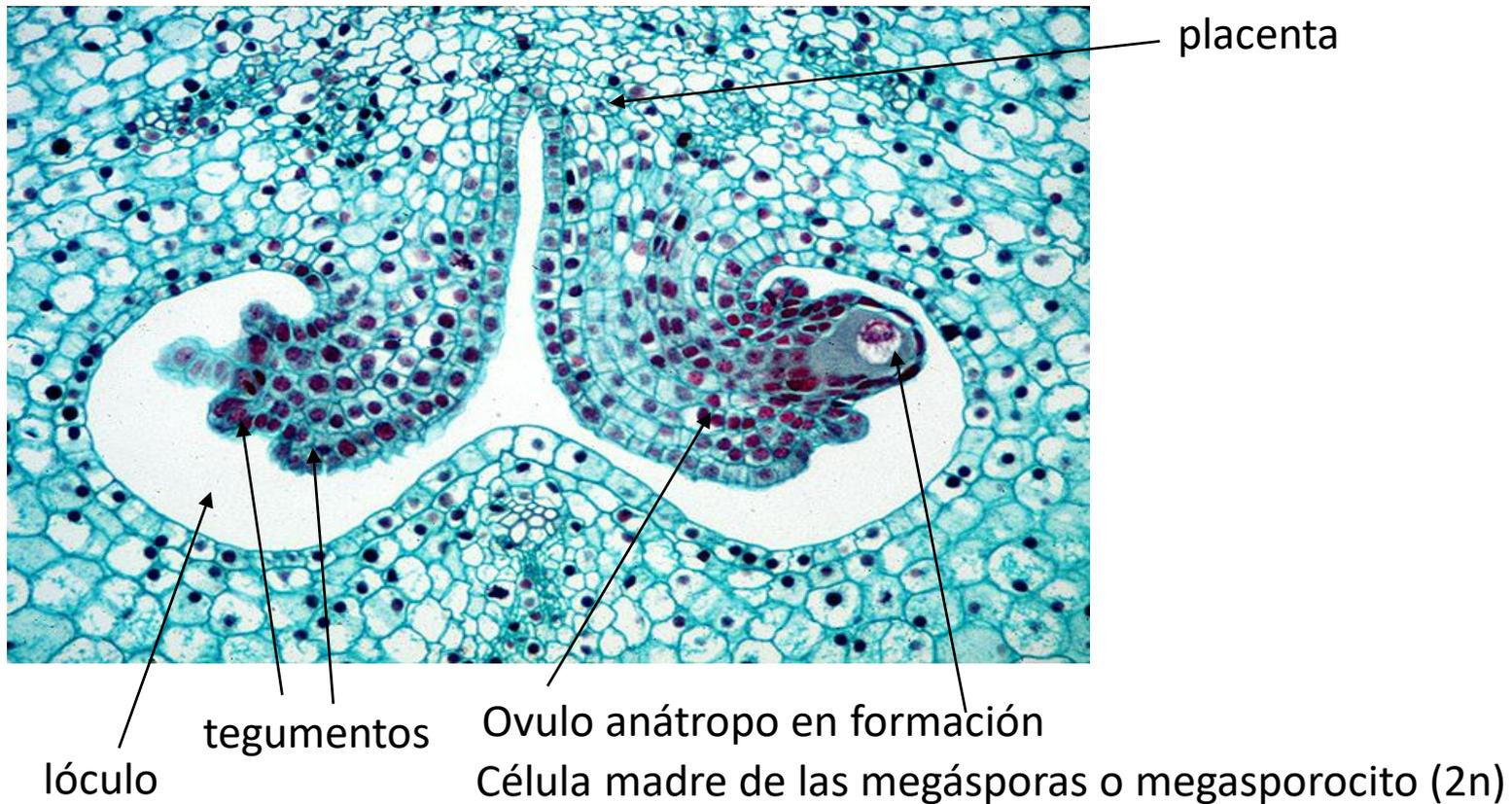
ANGIOSPERMAS

- 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

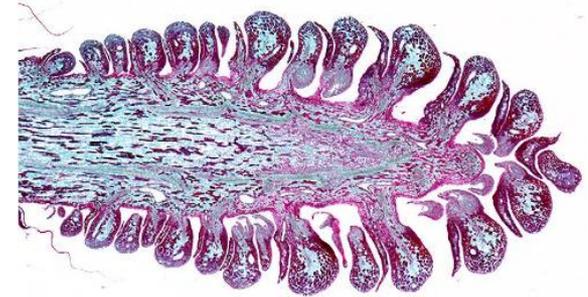
GIMNOSPERMAS

ANGIOSPERMAS

Megaesporogénesis

GIMNOSPERMAS

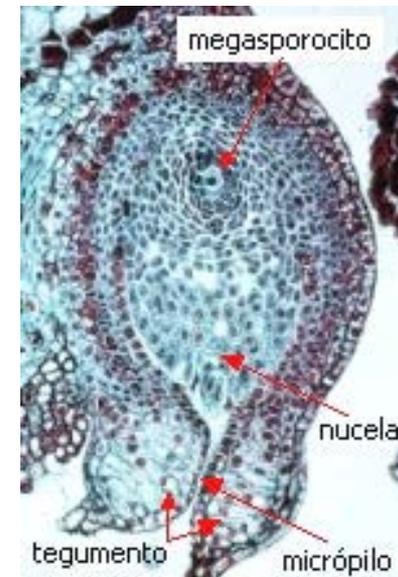
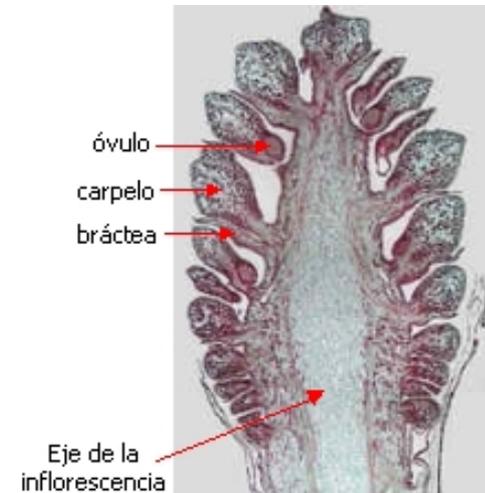
- Las **inflorescencias femeninas** de *Pinus*, los conos o piñas, son de mayor tamaño y mucho **más complejas que las inflorescencias masculinas**
- Las brácteas se disponen helicoidalmente alrededor del eje de la inflorescencia o estróbilo.
- **Cada flor femenina está inserta en la axila de una bráctea 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**

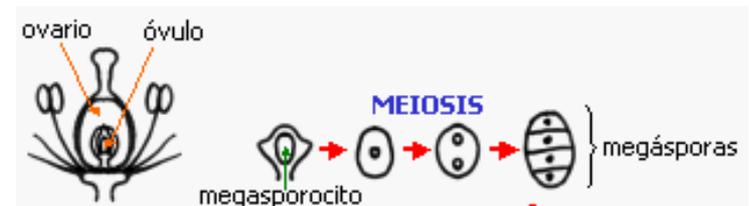
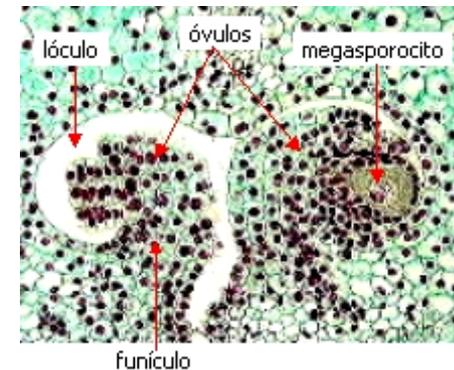
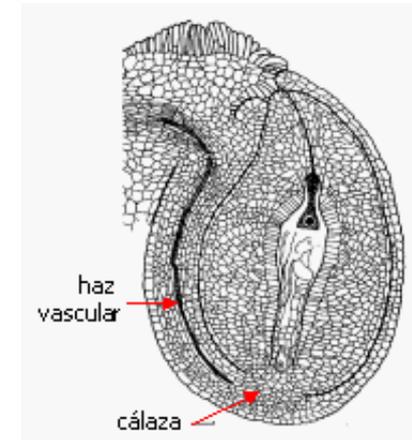


Megaesporogénesis

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)
- **El nucelo 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 (Spermatophyta) tiene lugar en la nucela del óvulo.

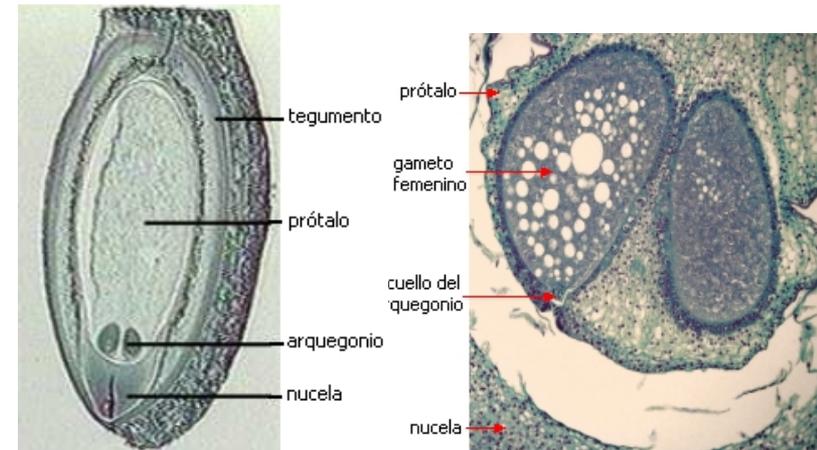
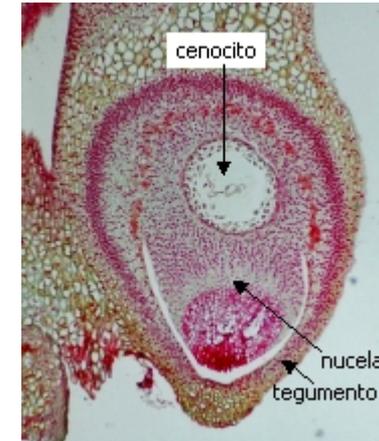
GIMNOSPERMAS

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.**

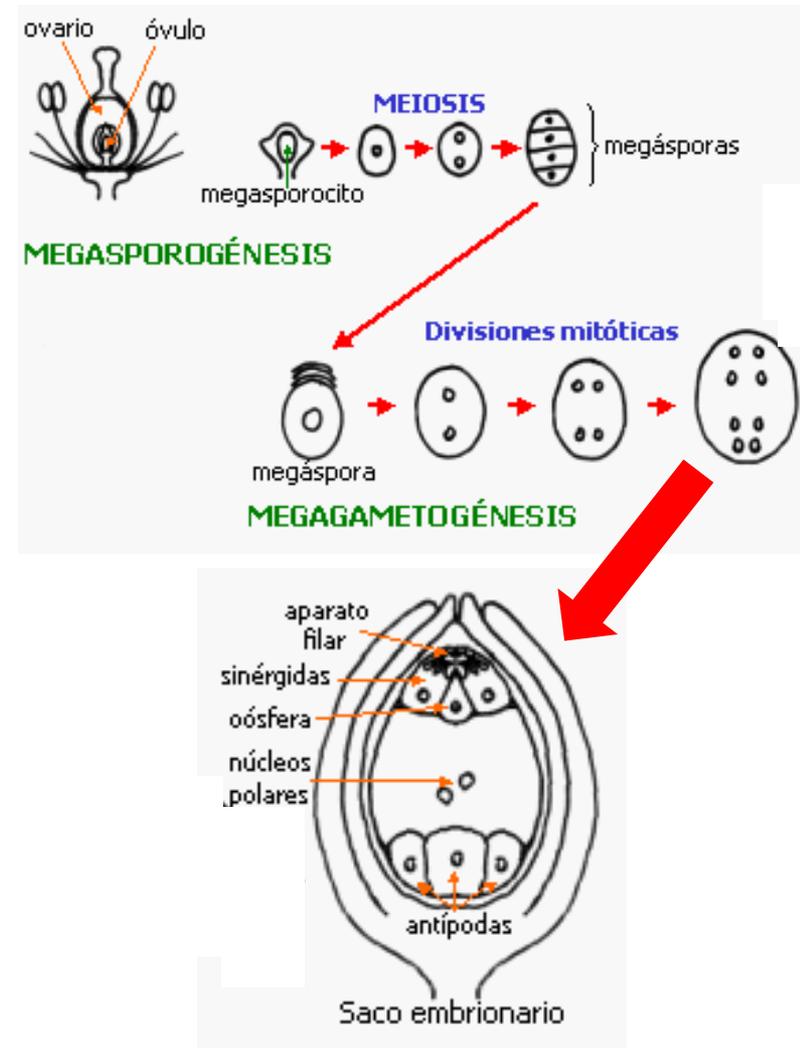


Figuras de biologia.edu.ar/botanica

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 autóгамas, 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)



Ornitofilia (aves)



Quireptofilia
(murciélagos)



Fecundación y embriogénesis

FECUNDACIÓN: Unión de los gametos masculinos y femeninos

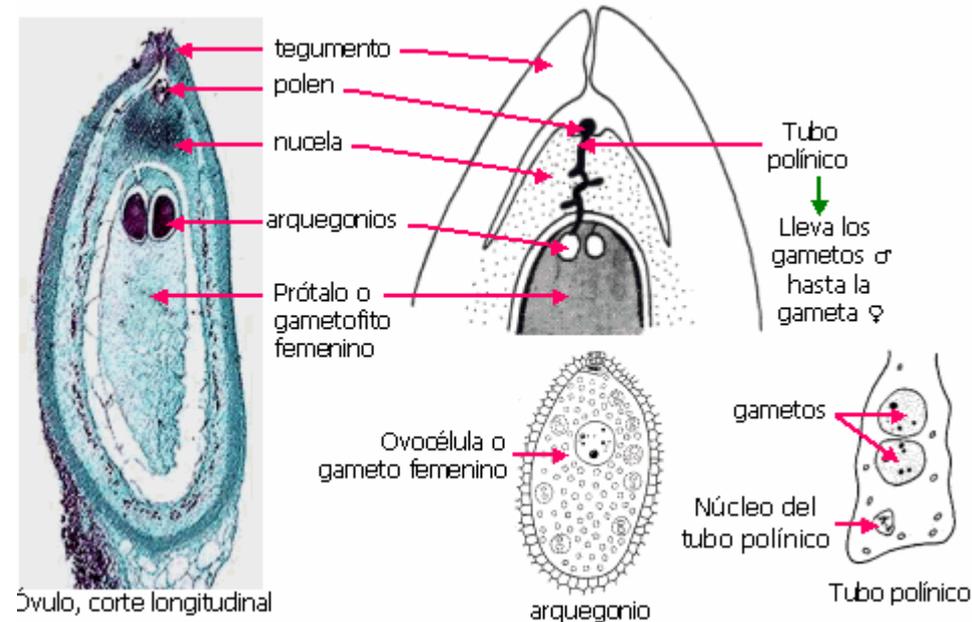
GIMNOSPERMAS

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.

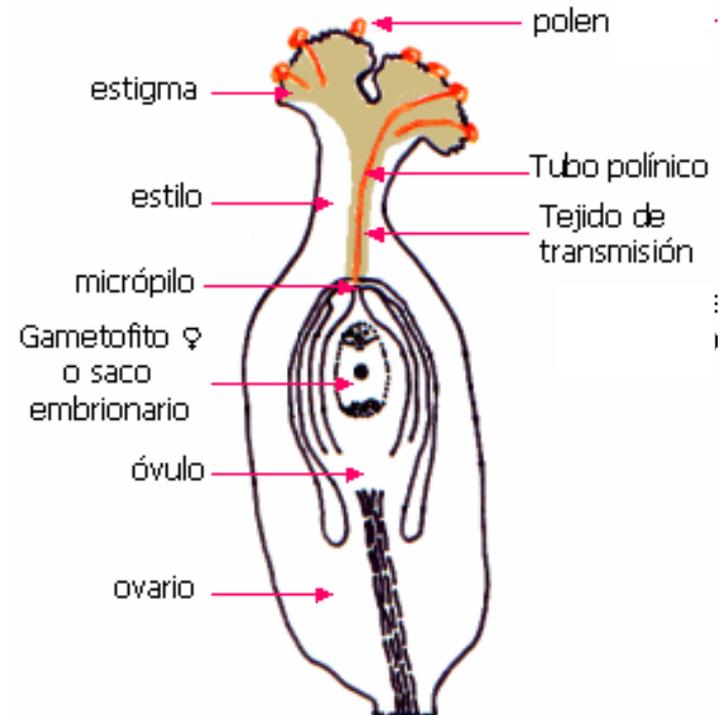
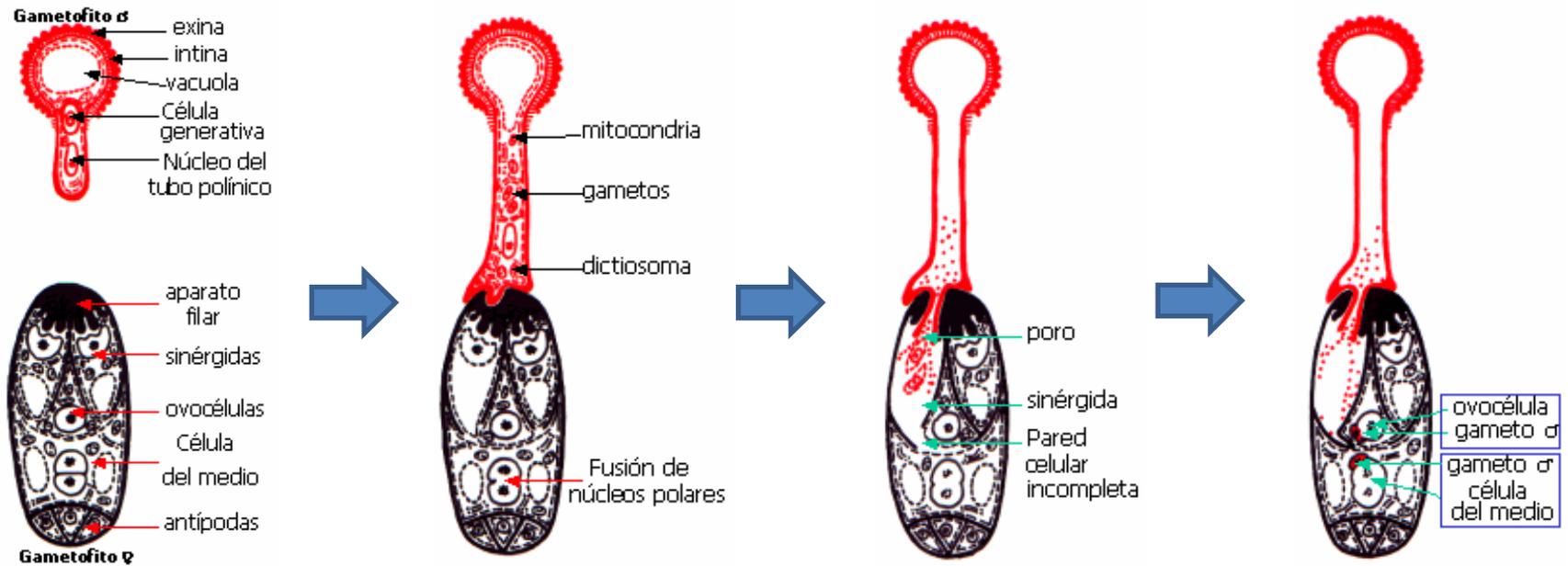


Figura de biologia.edu.ar/botanica

Fecundación y embriogénesis

ANGIOSPERMAS



Figuras de 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

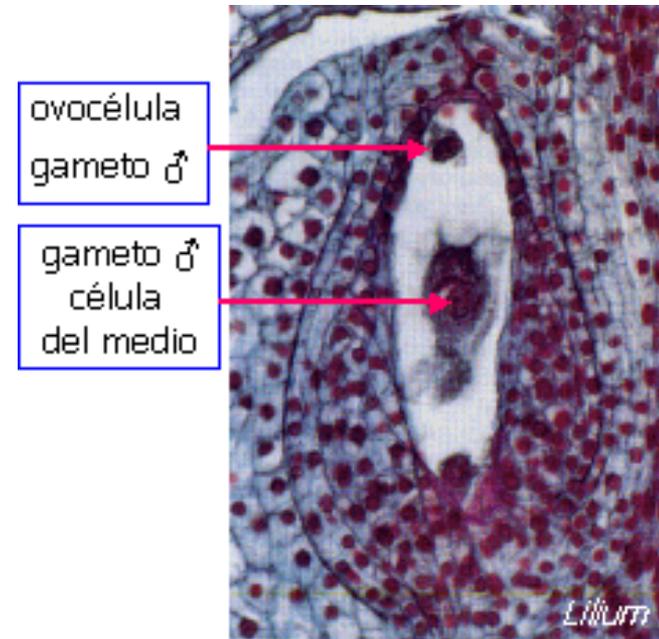
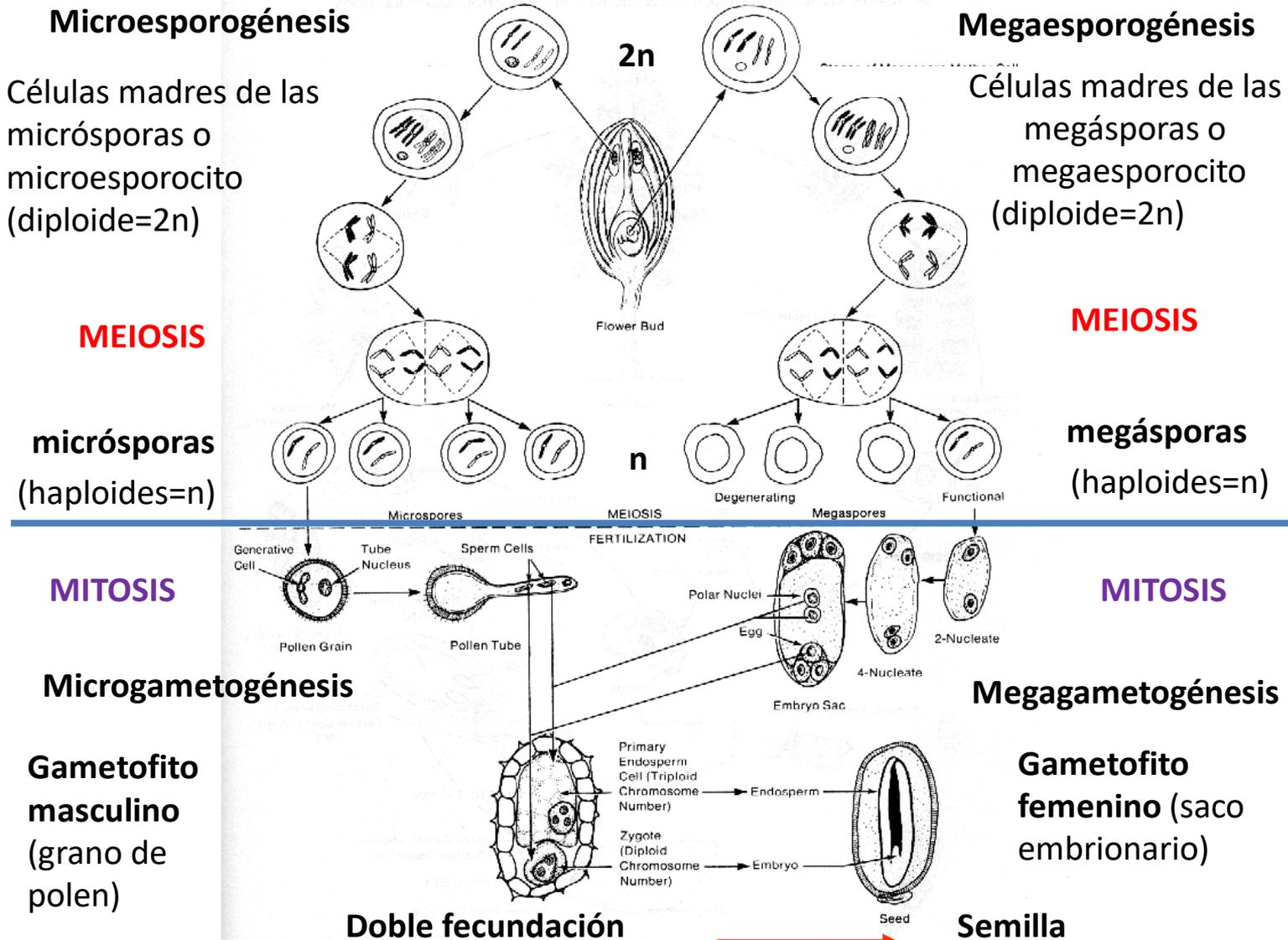


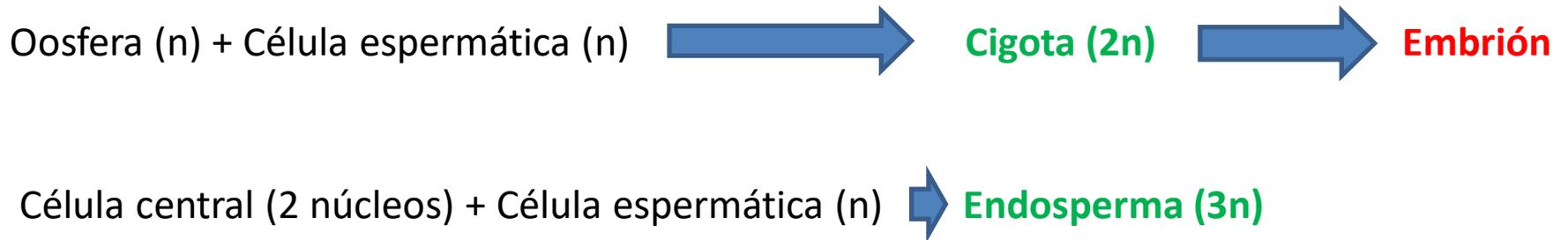
Figura de biologia.edu.ar/botanica

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 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.

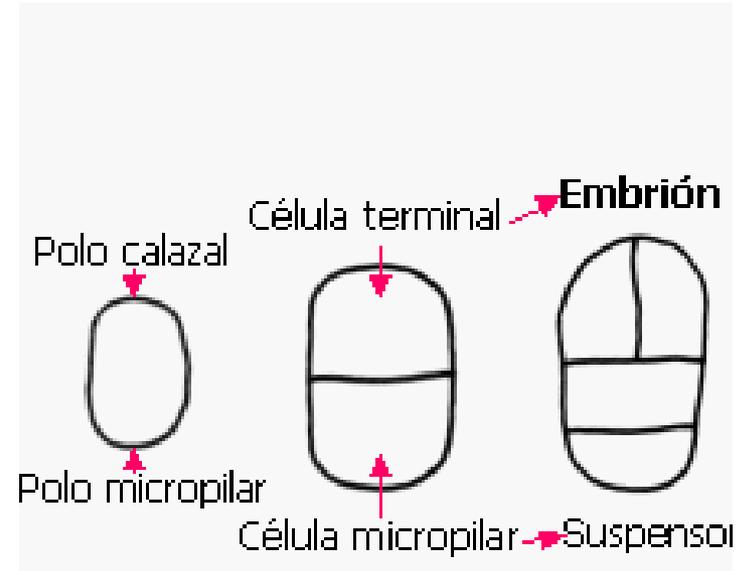
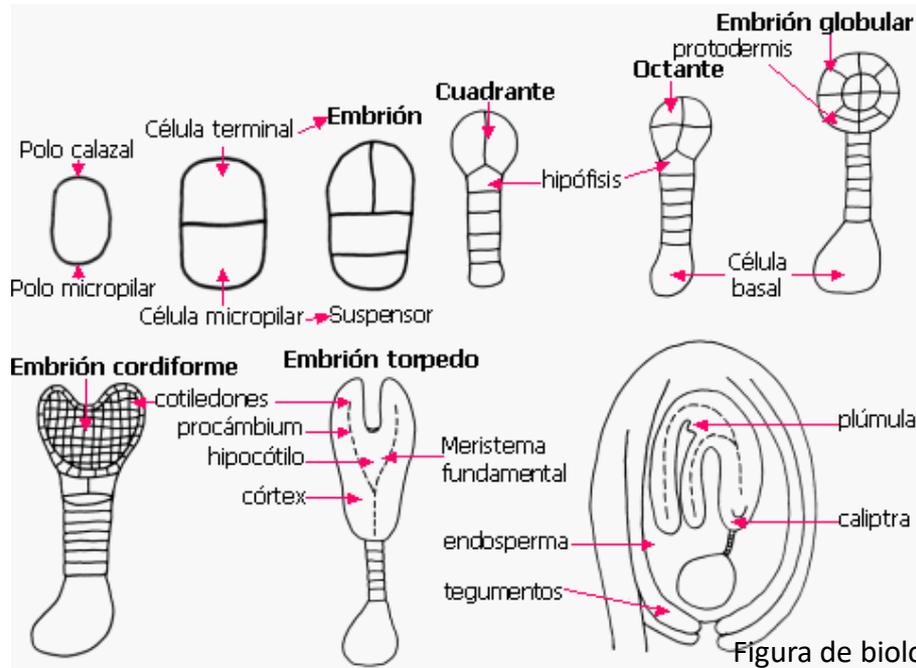


Figura de biologia.edu.ar/botanica

Fecundación y embriogénesis

ANGIOSPERMAS: embriogénesis

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



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.

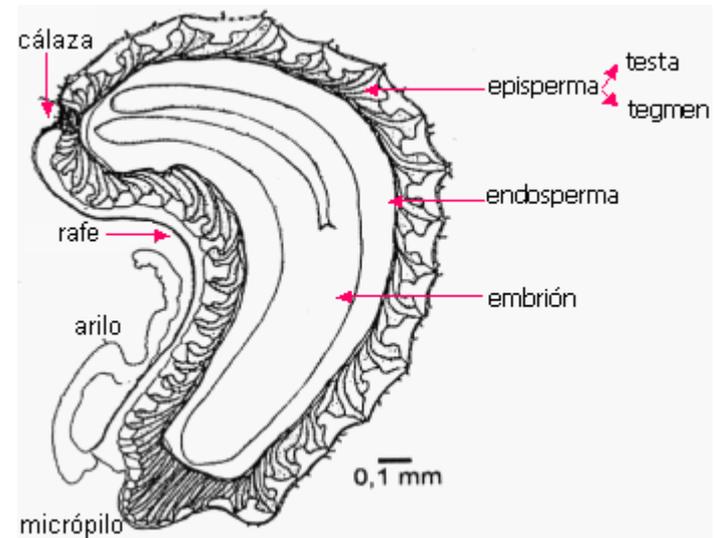


Figura de biologia.edu.ar/botanica

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

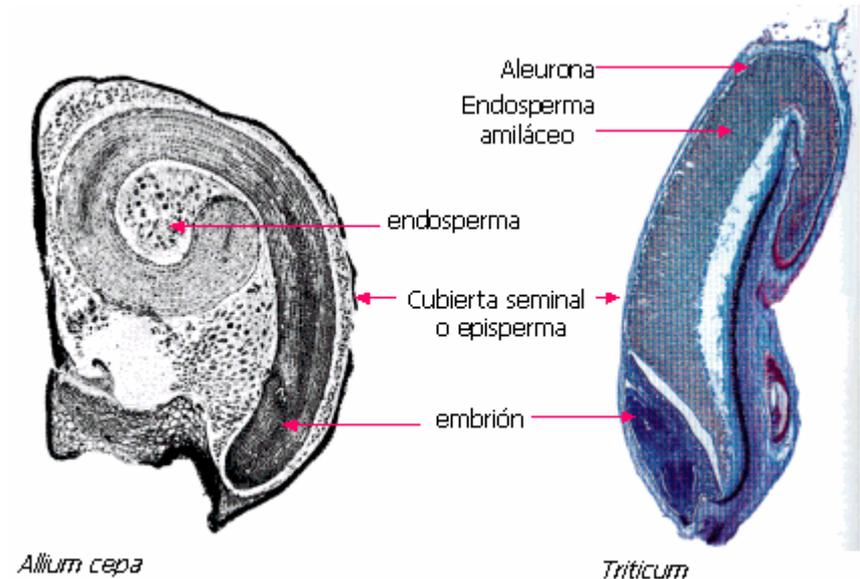


Figura de biologia.edu.ar/botanica

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.

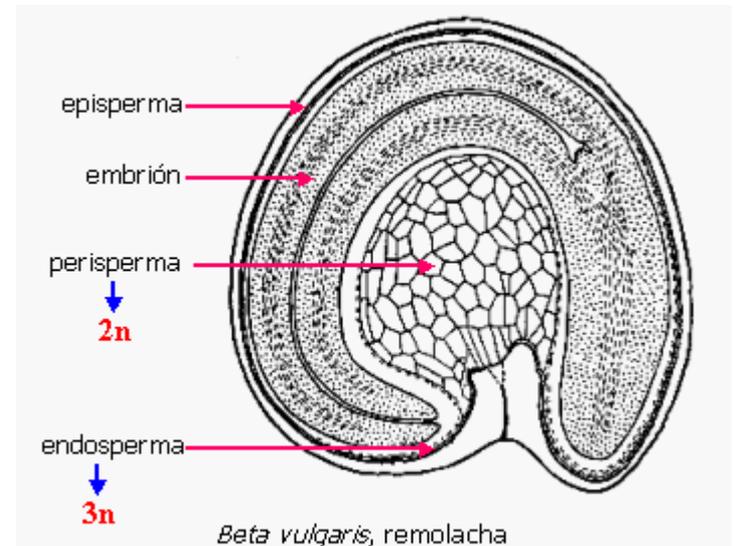
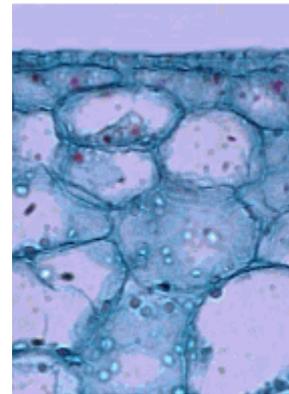


Figura de biologia.edu.ar/botanica

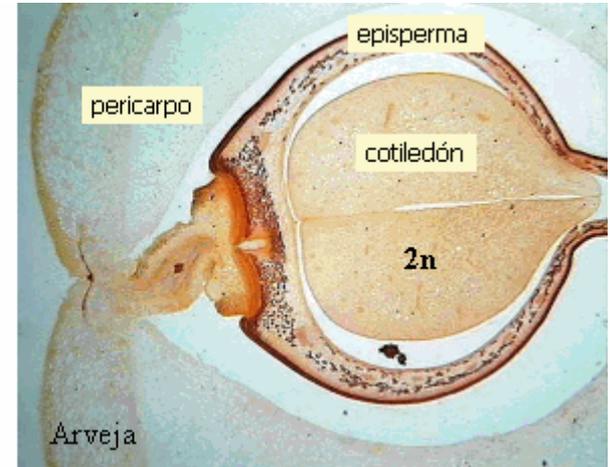
Semilla: sustancias de reserva

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

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