

## TEMA 2.1: LAS FUNCIONES VITALES EN LAS PLANTAS

- 1- LOS PROCESOS DE LA NUTRICIÓN EN LOS VEGETALES
- 2- OTRAS MODALIDADES DE NUTRICIÓN EN VEGETALES
- 3- LA RELACIÓN EN LAS PLANTAS
- 4- LA REPRODUCCIÓN ASEXUAL EN LAS PLANTAS
- 5- LA REPRODUCCIÓN SEXUAL EN LAS PLANTAS
- 6- LA REPRODUCCIÓN SEXUAL EN LAS ANGIOSPERMAS



Trampa en jarra de una nepente (*Nepenthes villosa*), planta carnívora que vive en el bosque montano del Monte Kinabalu, en Borneo (Malaysia).

## 1- LOS PROCESOS DE LA NUTRICIÓN EN LOS VEGETALES

Las plantas son organismos **autótrofos fotosintéticos**, lo que quiere decir que toman la materia inorgánica del medio para transformarla en su propia materia orgánica con el aporte energético de la luz solar.

Las plantas de organización más sencilla como las **briófitas** carecen de órganos especializados en la absorción y transporte de sustancias. Por tanto, incorporan los nutrientes a través de su superficie, transportándolos por difusión o transporte activo de célula en célula, lo que limita mucho el tamaño de estas plantas y les obliga a vivir en ambientes acuáticos o muy húmedos.

Las plantas **cormófitas** (vasculares) ya tienen una plena adaptación al medio terrestre y van a tener estructuras especializadas en la absorción de los nutrientes inorgánicos, como las raíces, y en el transporte de sustancias, como los vasos conductores de savia.

### 1.1- LA ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES INORGÁNICOS

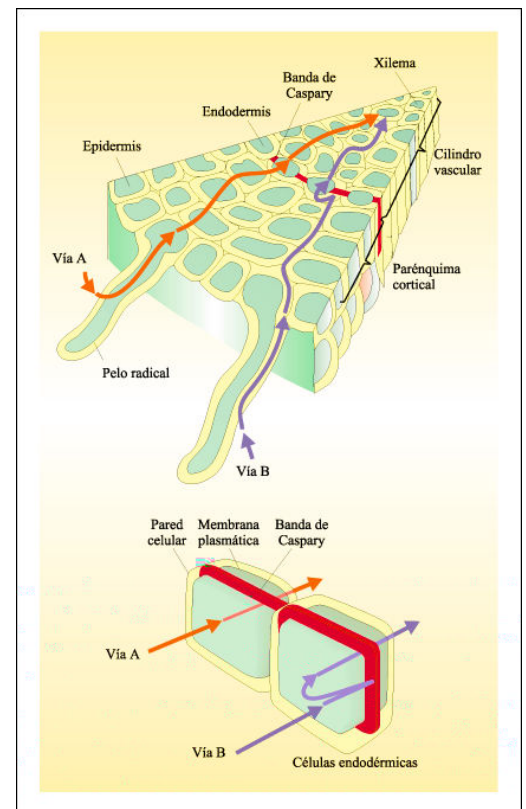
Las plantas cormófitas toman del suelo los nutrientes inorgánicos que necesitan para realizar la fotosíntesis, a excepción del CO<sub>2</sub> (que se toma por el aire). Estos nutrientes se encuentran en los poros del suelo y son una serie de sales minerales disueltas en agua, por lo que se encuentran presentes en forma iónica. Las sales minerales son la fuente de los distintos bioelementos que forman las biomoléculas que se sintetizarán en las partes verdes de la planta. Los más relevantes (los macronutrientes, necesarios en cantidades superiores la 0,05 %) son los nitratos (fuente de N), los fosfatos (P), los sulfatos (S), el magnesio (Mg), el calcio (Ca) y el potasio (K).

El agua y las sales minerales se absorben través de los **pelos radicales** de la zona pilífera de la raíz. Son expansiones libres de cutícula de las células epidérmicas de la raíz, lo que incrementa su superficie de absorción. Disolvente y soluto se absorben de forma distinta:

1. Las **sales minerales** entran en el pelo radical por **transporte activo** a través de proteínas transportadoras presentes en la membrana del pelo radical. Este transporte implica gasto de energía (en forma de ATP), pues los iones entran en contra de un gradiente de concentración.
2. El **agua** pasa del suelo al interior del pelo radical por **ósmosis**, debido a que el medio interno es hipertónico con respecto al suelo porque posee más solutos, resultado de la absorción previa de las sales minerales.

El agua y las sales minerales que se han absorbido conforman la **savia bruta**, y pasa hacia el cilindro central del interior de la raíz (donde se encuentra el xilema) mediante dos vías:

- **Simplástica:** a través del citoplasma de las células, comunicadas entre sí por los plasmodesmos.
- **Apoplástica:** se realiza a través de los espacios intercelulares presentes entre las paredes celulares. Al llegar a la **banda de Caspary** (la endodermis impermeabilizada con suberina), la atraviesan por ósmosis y transporte activo para, a partir de allí, seguir la vía simplástica.



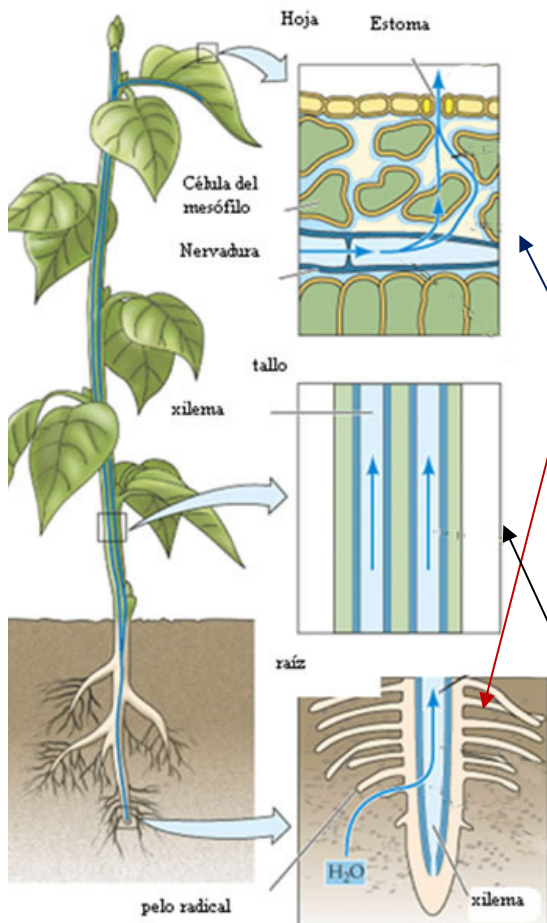
Vía A: simplástica

Vía B: apoplástica

## 1.2- EL TRANSPORTE DE LA SAVIA BRUTA

Se realiza a través de los **vasos leñosos** del xilema. Tienen un diámetro muy fino (entre 20 y 70  $\mu\text{m}$ ) porque están formadas por la alineación de células alargadas (las tráqueas) que mueren al desarrollarse, por lo que desaparece su citoplasma y la pared que las separan. El resultado es un largo tubo hueco (de hasta decenas de metros) pero con una sección microscópica.

El transporte se realiza en sentido ascendente (de raíces a hojas) en contra de la gravedad (y sin bombeo) mediante la conjunción de tres mecanismos, basados en las propiedades físicas de agua, tal como propone la teoría de la **tensión-cohesión**:



1. La **presión radicular** generada por la ósmosis en la raíz. Como la concentración de soluto de las células de la raíz es mayor que la del agua del suelo, se produce una continua entrada de agua que impulsa la savia hacia arriba.

2. La **tensión** (presión negativa) generada por la **transpiración**. La pérdida de agua en las hojas genera una demanda hídrica que se transmite por toda la columna de agua, sin que se rompa ésta gracias a la gran **cohesión** de las moléculas de agua entre sí. En definitiva, la tensión-cohesión asociada a la transpiración tira o succiona la savia hacia arriba.

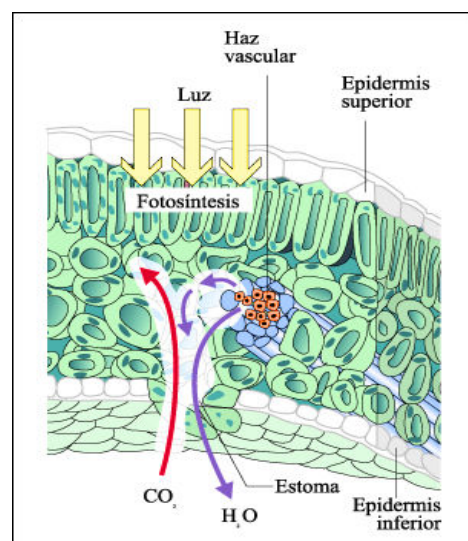
3. La **adhesión** de las moléculas de agua a las paredes del vaso leñoso, consecuencia de su elevada tensión superficial, hace que se genere una columna íntegra y muy fina de agua que permite el ascenso de la misma por **capilaridad**.

## 1.3- EL INTERCAMBIO DE GASES

Se produce entre el medio interno de las plantas y el aire de la atmósfera. Incluye tres procesos:

1. La **fotosíntesis**: entrada  $\text{CO}_2$  y salida de  $\text{O}_2$ .
2. La **respiración**: entrada  $\text{O}_2$  y salida de  $\text{CO}_2$ .
3. La **transpiración**: salida de vapor de  $\text{H}_2\text{O}$ .

El intercambio de gases se realiza a través de aperturas como las **lenticelas** (orificios presentes en tallos leñosos) o los **estomas** (presentes en hojas y tallos verdes), siendo ésta última la más importante vía de entrada.



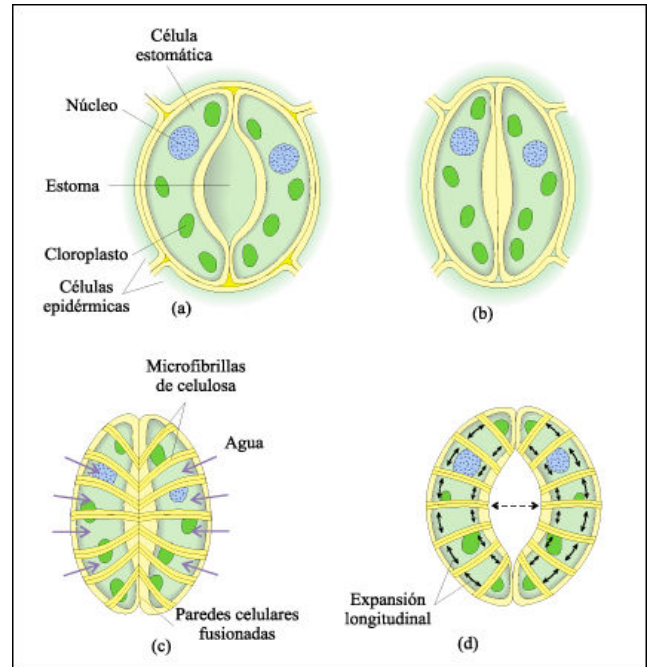
Mecanismo de apertura y cierre de los estomas:

Los estomas poseen dos **células oclusivas**, de forma arriñonada, entre las cuales hay un orificio u **ostiole**. Éste comunica con la **cámara subestomática**, que pone en contacto el medio externo con los espacios intercelulares. La apertura del ostiole se produce con la turgencia de las células oclusivas al llegarles agua y combarse. Si por el contrario pierden agua, se vuelven flácidas y el ostiole se cierra.

Las variaciones de la cantidad de agua de las células oclusivas están asociada a la entrada y salida del catión  $K^+$  procedente de las células vecinas:

1. **Apertura** (con luz): entra  $K^+$  en las células oclusivas, para entrar el agua por ósmosis, por lo que se produce la turgencia, se curvan y se abre el ostiole.
2. **Cierre** (en oscuridad): sale el  $K^+$  y el agua, lo que genera flacidez en las células oclusivas, y se produce el cierre del ostiole.

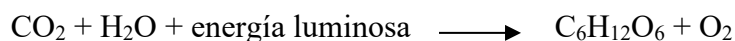
La luz regula este proceso pues en su presencia aumenta la concentración de azúcares (por la fotosíntesis) en las células oclusivas, lo que favorece la turgencia y la apertura de estomas.



Otros factores que provocan el cierre del ostiole (y el cese de la transpiración) son la escasez de agua y las altas temperaturas, pues en ambas situaciones se tiende a la flacidez de las células oclusivas.

**1.4- LA FOTOSÍNTESIS**

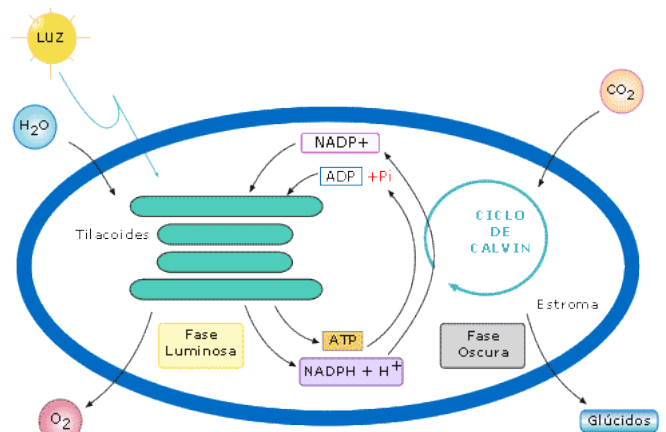
Este proceso anabólico se realiza en los cloroplastos de las células del parénquima fotosintético o clorofílico que están presentes en hojas y tallos verdes. La ecuación global es la siguiente:



La energía luminosa es captada por pigmentos como la clorofila (verde) y los carotenoides (rojos y amarillos). Las hojas constituyen órganos planos y numerosos para así aumentar la superficie de absorción de radiación visible. Por otra parte, son finas para favorecer la difusión de los gases, pues allí se realiza el intercambio de gases.

Fases de la fotosíntesis:

1. La fase **luminosa** se realiza en los tilacoides del cloroplasto. La energía luminosa captada por los pigmentos fotosintéticos se transforma en energía química (almacenada en forma de ATP). También se produce la **fotoólisis** del agua aportada por la savia bruta:



2. La fase **oscura** se realiza en el estroma del cloroplasto. Utilizando el ATP generada en la anterior fase, se fija el CO<sub>2</sub> mediante una ruta metabólica circular que es el ciclo de Calvin. Se produce glucosa y, de allí, por transformaciones químicas posteriores, el resto de glúcidos y lípidos. De las sales minerales que llegan con la savia bruta (nitratos, sulfatos y fosfatos), se obtienen los bioelementos necesarios para sintetizar el resto de biomoléculas.

Factores que influyen en la fotosíntesis:

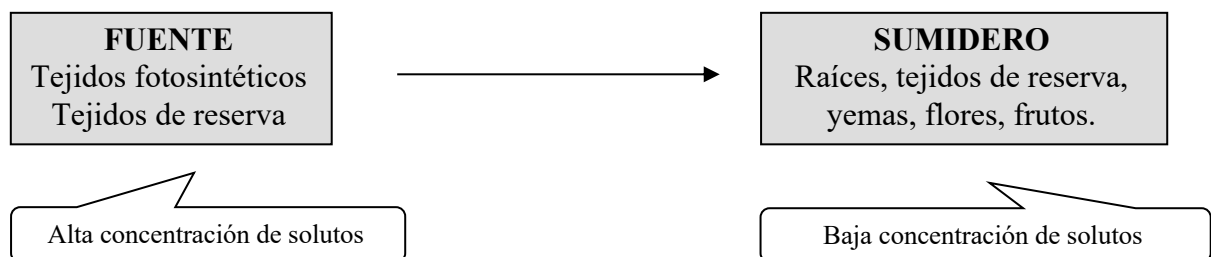
- La **concentración de CO<sub>2</sub>**: su aumento provoca un incremento de la actividad fotosintética, hasta llegar a un nivel de estabilización por saturación enzimática.
- La **concentración de O<sub>2</sub>**: en este caso, su aumento disminuye la actividad fotosintética, puesto que disminuye la actividad de una enzima clave del ciclo de Calvin.
- La **temperatura** aumenta la actividad fotosintética de forma paulatina (pues favorece la velocidad de las reacciones metabólicas) hasta alcanzar una temperatura óptima a partir de la cual disminuye bruscamente como consecuencia de la desnaturalización de las enzimas.
- La **intensidad luminosa** aumenta la actividad fotosintética, dado que supone el aporte energético del proceso, hasta alcanzar también un valor óptimo a partir del cual disminuye. Este valor es bajo en las plantas umbrófilas, mientras que plantas sometidas a altas intensidades desarrollan pelos para reflejar parte de ellas.

La importancia de la fotosíntesis:

- Transforma la materia inorgánica del medio en materia orgánica asimilable por los seres heterótrofos. La inmensa mayoría de los productores son fotosintéticos y en los ecosistemas terrestres este nivel trófico está constituido por las plantas.
- Incorpora en los ecosistemas la energía necesaria para su dinámica, transformando la energía luminosa del sol en energía química que utilizan los consumidores y los descomponedores.
- El oxígeno que se libera en la fotólisis del agua como un residuo es utilizado por los seres aerobios en la respiración celular. La fotosíntesis asegura la reposición de este gas.

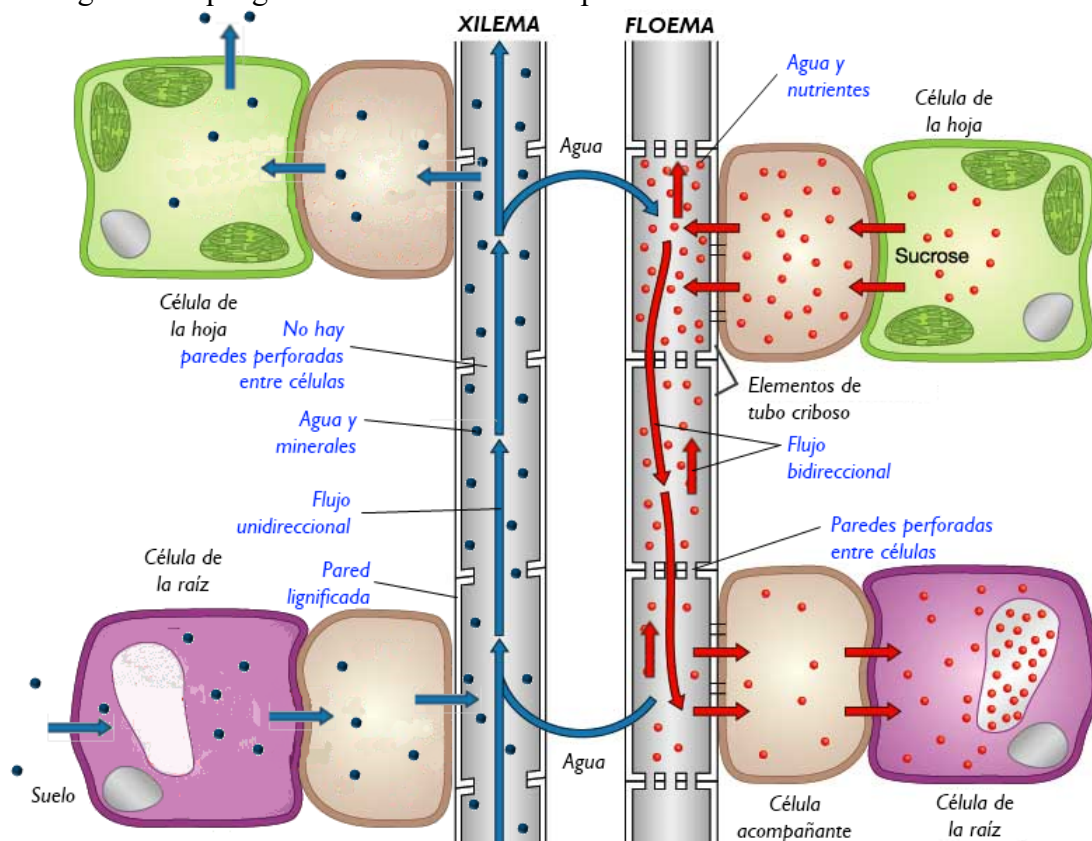
**1.5- EL TRANSPORTE DE LA SAVIA ELABORADA**

En las áreas fotosintéticas de la planta, las sustancias inorgánicas de la savia bruta se transforman en las sustancias orgánicas de la savia elaborada. La **savia elaborada** se compone de agua, sacarosa, aminoácidos, vitaminas y hormonas. Su transporte se realiza a través de los **vasos liberianos** del floema desde las hojas hacia el resto de la planta, mediante un proceso denominado **translocación**, en que los solutos van de las zonas de producción o **fuentes** (tejidos fotosintéticos y de reserva) a las zonas de consumo o **sumideros** (tejidos de reserva en formación o zonas de alta actividad fotosintética como raíces, flores, frutos, semillas y meristemos apicales).



La hipótesis de **flujo por presión** postula que la savia elaborada se desplaza gracias a un gradiente de presión hidrostática entre la fuente (alta presión por la alta concentración de solutos) y el sumidero (baja presión), aunque éste se encuentre más arriba. En resumen, el proceso es el siguiente:

- Las células fotosintéticas (la fuente) ceden los solutos al tubo liberiano a través de las células acompañantes mediante transporte activo.
- Al aumentar la concentración de soluto (sacarosa, sobre todo) en los tubos liberianos, éste capta agua del xilema (por ósmosis). El aumento consiguiente de la presión hidrostática dentro del tubo criboso moviliza la savia elaborada hacia el sumidero (donde la presión es menor).
- Las células del sumidero captan los solutos por transporte activo, lo que hace que el tubo liberiano ceda el agua (de nuevo por ósmosis) a los vasos leñosos del xilema. Esta salida de agua es la que genera la disminución de presión.



### 1.6- EL REPARTO Y USO DE LAS BIOMOLÉCULAS ORGÁNICAS

Las biomoléculas orgánicas obtenidas en la fotosíntesis y transportados en la savia elaborada, una vez que llegan a las células, se pueden utilizar de dos maneras:

1. A partir de ellas, en el **anabolismo** se sintetizan biomoléculas complejas de función estructural (proteínas, celulosa, etc) para la reposición de estructuras o el crecimiento de los tejidos. También se pueden almacenar en forma de **sustancias de reserva** como sacarosa, almidón, grasas o proteínas, que se acumulan en el parénquima de reserva de tallos o raíces, o en estructuras específicas como tubérculos, bulbos, semillas y frutos.
2. En el **catabolismo** los nutrientes orgánicos se degradan en componentes más sencillos para liberar la energía química que contienen. Se realiza por respiración celular con el O<sub>2</sub> tomado en los estomas, proceso que se realiza por el día y por la noche.

## 1.7- LA EXCRECIÓN

Los vegetales, en lugar de expulsar al exterior los productos de desecho metabólico (como hacen los animales), presentan otras estrategias:

- Acumulan los desechos en vacuolas celulares (como los cristales de oxalato cálcico)
- Eliminan metabólicamente los desechos mediante la síntesis de sustancias que realizan una función determinada en la planta como aceites esenciales, resinas, látex, alcaloides, taninos, etc. La gran variedad de sustancias obtenidas hace que el conjunto de estas reacciones químicas reciba el nombre de **metabolismo secundario**.
- En ocasiones expulsan algunas sustancias que se encuentran en exceso como la sal (plantas halófitas), a través de unas glándulas. También se podría incluir aquí la expulsión de gotas de agua líquida en las hojas de plantas de climas cálidos y húmedos, en un proceso denominado **gutación**.

Todo esto hace que las plantas carezcan de aparato excretor, aunque tienen estructuras específicas para segregar los productos del metabolismo secundario. Éstas son las bolsas oleíferas y los pelos glandulares (aceites esenciales), los nectarios (néctar), los tubos laticíferos (látex) y los canales resiníferos (resina).

## 2- OTRAS MODALIDADES DE NUTRICIÓN EN VEGETALES

Las **plantas simbióticas** se asocian con otros organismos para obtener un beneficio mutuo. En virtud del tipo de organismo con que se asocian, se definen dos grupos:

- Con bacterias fijadoras de nitrógeno, siendo el más relevante el caso de las plantas de la familia de las leguminosas con las bacterias del género *Rhizobium*. Las bacterias infectan la raíz a través de los pelos radicales y se reproducen dentro del parénquima cortical para dar lugar a unos bultos denominados **nódulos radiculares**. Las bacterias toman las sustancias orgánicas sintetizadas por la planta y a cambio captan el N<sub>2</sub> del aire y lo transforman en amoníaco, que es el nitrógeno asimilable por las plantas. El exceso pasa al suelo, donde se transforma en nitratos que pueden ser asimilados por otras plantas.



El erizón (*Echinospartum horridum*) es una leguminosa que enriquece el suelo de nitratos.



La orquídea *Neottia nidus-avis* es una planta saprófita de carácter umbrófilo que se alimenta de la descomposición del mantillo de los bosques montanos.

- Con hongos, a través de las **micorrizas**. Son estructuras formadas por el entrelazamiento de las hifas del hongo con los pelos radicales de la planta. De este modo, el hongo aumenta la superficie de absorción de agua y sales minerales, recibiendo a cambio la materia orgánica sintetizada por la plan-

ta. Como ejemplo tenemos plantas verdes que se asocian con hongos como el níscolo (caso de los pinos) o la trufa (con las encinas). En este grupo se encuentran plantas heterótrofas como las **plantas saprófitas**, que no realizan la fotosíntesis (no tienen color verde), y se alimentan de la materia orgánica en descomposición gracias a la ayuda de los hongos con quienes están micorrizados.

Las **plantas parásitas** toman de otras plantas los nutrientes que necesitan, por lo que viven a expensas de éstas. Se distinguen dos tipos:

1. Las plantas **hemiparásitas** o **semiparásitas** absorben la savia bruta del xilema de la planta hospedadora a través de unos conductos denominados **haustorios**. Se trata de vegetales de color verde porque hacen la fotosíntesis, al transformar esa savia bruta en savia elaborada.
2. Las plantas **holoparásitas** toman directamente la savia elaborada del hospedador, por lo que no hacen la fotosíntesis, razón por la cual no son de color verde, dado que carecen de clorofila.



El muérdago (*Viscum album*) es una planta semiparásita que absorbe la savia bruta del pino, del abeto o del roble.



El jopo (*Orobanche amethystea*) es una planta parásita que toma la savia elaborada del cardo blanco (*Eryngium campestre*)

Las **plantas carnívoras** son fotosintéticas y necesitan obtener parte del nitrógeno y de las sales minerales que necesitan de la digestión de insectos y otros artrópodos. Esto se debe a que viven en suelos pobres en nutrientes como turberas, roquedos calizos muy lavados, pantanos ácidos, o zonas de rocas ultrabásicas. Presentan distintas estructuras para atrapar a los insectos:

- Trampas pasivas: hojas pegajosas (*Pinguicola*), glándulas pegajosas (*Drosera*) o expansiones de hojas en forma de jarra (*Nepenthes*).
- Trampas activas: hojas pegajosas con pelos que, al ser rozados por el insecto, se doblan para cerrarse y atraparlo.

Una vez atrapado el animal, las glándulas digestivas presentes en estas hojas modificadas liberan enzimas hidrolíticas que los digieren.





La grasilla (*Pinguicula longifolia*) atrapa insectos con sus hojas pegajosas.



La atrapamoscas (*Drosera rotundifolia*) tiene glándulas pegajosas en sus hojas.



Los insectos caen en las jarras de las plantas del género *Nepenthes*.



*Dioanea muscipula* posee trampas activas para atrapar los insectos.

### 3- LA RELACIÓN EN LAS PLANTAS

Los vegetales, como seres vivos que son, tienen la capacidad de captar estímulos del medio (externo e interno) y elaborar una respuesta. Sin embargo, la función de relación se distingue de los animales en los siguientes puntos:

- Sólo existe la coordinación hormonal, dado que carecen de sistema nervioso.
- Debido a la circunstancia anterior, las respuestas son más lentas en general, por lo que apenas aparece la excitabilidad característica de los animales.
- Existen respuestas secretoras, pero los movimientos se producen por crecimiento de partes de la planta o por cambios de turgencia en algunas células, en contraste con la contracción muscular de los animales.

Los **receptores** vegetales son células epidérmicas que captan estímulos (variaciones del ambiente) de tipo luminoso, gravitatorio, mecánico, químico, térmico o hídrico. Se definen los siguientes:

1. Células con moléculas fotosensibles (pigmentos proteicos como el **fitocromo** y las **flavinas**) presentes en la hoja. Detectan estímulos luminosos y especialmente el fotoperiodo (importante para la floración, fructificación y caída de las hojas).
2. Los **estaticistos** son células presentes en ápices radiculares y yemas apicales con amiloplastos llenos de almidón que captan la acción de la gravedad.
3. Células sensibles al tacto presentes en los **zarcillos**.

Las **respuestas** de las plantas consisten en la secreción de sustancias o el movimiento de alguna parte de su organismo, como es el caso de los tropismos y las nastias.

### 3.1- LOS TROPISMOS

Los **tropismos** consisten en el crecimiento de una parte de la planta en determinada dirección como respuesta a un estímulo concreto. Se trata entonces de respuestas permanentes que se basan en la estimulación con fitohormonas de crecimiento (auxinas) de los meristemos de las partes afectadas. Los tropismos pueden ser **positivos** si el crecimiento se produce hacia el estímulo, o **negativos** si la planta crece en dirección contraria. En función del estímulo se definen los siguientes tipos:

- **Fototropismo:** crecimiento direccional de ciertos órganos como respuesta a la luz. Los tallos presentan fototropismo positivo, pues crecen hacia la luz, mientras que las raíces tienen un fototropismo negativo.
- **Geotropismo:** crecimiento determinado por la fuerza de la gravedad. Puede ser positivo (raíces) o negativo (tallos).
- **Quimiotropismo:** consiste en la respuesta ante determinadas sustancias químicas. Positivos o negativos, en función de la sustancia o de su concentración.
- **Higrotropismo:** crecimiento causado por la presencia de agua. Es positivo en las raíces.
- **Tigmotropismo:** respuesta, a veces muy rápida, al contacto físico. Es el caso del crecimiento en espiral de las plantas trepadoras con zarcillo (hojas transformadas en filamentos).



Tigmotropismo en una planta trepadora

### 3.2- LAS NASTIAS

Las **nastias** son movimientos no permanentes de determinadas partes de la planta ante un estímulo concreto. Se originan por variaciones reversibles de turgencia que sufren algunos grupos de células. El estímulo no impone la dirección del movimiento y suele presentar variaciones de intensidad. En función de su naturaleza, se caracterizan distintos tipos de nastias:

- **Fotonastias:** respuesta a variaciones en la intensidad de la luz, especialmente asociadas a la alternancia de día y noche. Es el caso de la apertura y cierre de flores al amanecer y atardecer (en sentido variable en función de la especie).
- **Sismonastias:** es la respuesta a contactos o sacudidas. Valgan como ejemplos el cierre de las hojas de *Dionaea* (planta carnívora), o de los folíolos de las hojas de la mimosa.
- **Termonastias,** como respuesta a variaciones de temperatura. Es la razón de la apertura y cierre de algunas flores (como los tulipanes).
- **Hidronastias:** respuesta a cambios de humedad, como en el caso de la apertura de esporangios de los helechos ante la sequedad.

### 3.3- LA SECRECIÓN DE SUSTANCIAS

Otra posible respuesta de la planta es recurrir al metabolismo secundario para producir y segregar sustancias que tengan alguna utilidad, como las siguientes:

- **Alcaloides:** tóxicos que son una defensa ante herbívoros. Muy utilizados en farmacología como drogas o medicamentos.

- **Taninos:** tóxicos presentes en la corteza que son una defensa ante microorganismos patógenos.
- **Esencias:** sustancias volátiles que atraen a animales polinizadores o dispersores de semillas.
- **Resinas:** sustancias muy viscosas de función cicatrizante y protectora ante los insectos.
- **Látex:** líquido blanquecino que protege del ramoneo, de los insectos y de la acción de hongos o microorganismos.
- **Néctar:** un líquido azucarado acumulado en los nectarios de las flores que atrae a los polinizadores.
- **Lignina, cutina y suberina:** sustancias que impregnan la pared celular, dándole ciertas propiedades (impermeabilización, protección, rigidez, etc).



Las hojas de tejo (*Taxus baccata*) contienen un alcaloide tóxico: la taxina.

### 3.4- LAS FITOHORMONAS

La coordinación de las funciones de la planta es ejercida por las **fitohormonas**, que es el nombre que reciben las hormonas vegetales. Son sustancias químicas (lípidos isoprenoides o derivados de aminoácidos y bases nitrogenadas) sintetizadas por células embrionarias de los **meristemos** que actúan como mensajeros químicos. Se distribuyen por toda la planta en muy bajas concentraciones mediante dos vías: por **difusión** (de célula en célula) o por los **vasos de savia**.

Una vez que llegan a las células diana, las fitohormonas **regulan** (activando o inhibiendo) funciones como:

- El crecimiento de la planta (tanto en longitud como en grosor).
- El desarrollo de órganos como las hojas.
- La floración y la formación de los frutos.
- La germinación de las semillas.

Existen cinco grandes familias de hormonas, agrupados por su afinidad química y por su función. La regulación de las funciones vegetales deriva de las concentraciones de cada hormona y de las acciones antagónicas o potenciadoras de una frente a otras.

Hormonas que mantienen el estado juvenil de la planta (crecimiento):

Hormona	Lugar de producción	Transporte	Acción
<b>AUXINAS</b>	Yemas apicales Semillas	Difusión descendente	<b>Dominancia apical del crecimiento:</b> estimulan el crecimiento de la planta hacia arriba por la yema apical. Determinan el fototropismo y el geotropismo. Inhiben la caída de hojas, flores y frutos.
<b>CITOQUININAS</b>	Semillas (embrión) Ápices radiculares	Savia bruta	<b>Dominancia lateral del crecimiento</b> estimulan la ramificación de la planta al promover la división celular en las yemas axilares. Evitan el envejecimiento de la planta.
<b>GIBERELINAS</b>	Meristemos del tallo y de la raíz	Savia elaborada	Inducen el alargamiento de los tallos, el desarrollo de yemas, la germinación de las semillas y la formación de flores y frutos.

Hormonas que inducen la senescencia de la planta (cambio de ciclo):

Hormona	Lugar de producción	Transporte	Acción
<b>ÁCIDO ABCSÍCO</b>	Meristemos de la raíz y frutos verdes	Savia elaborada	Detiene el crecimiento de la planta, por lo que pasa a vida latente (reposo estacional de yemas y dormición de semillas). Estimula la senescencia de las hojas.
<b>ETILENO</b>	Meristemos de la raíz y los frutos maduros	Difusión ascendente	Inducen la maduración de los frutos, la senescencia de las flores y la abscisión de las hojas.

Como se puede ver, algunas fitohormonas tienen acciones antagónicas (por ejemplo, las auxinas inhiben el desarrollo de yemas apicales mientras que las citoquininas lo estimulan). También interactúan entre sí: las auxinas inducen el crecimiento del vegetal, las citoquininas y las giberelinas mantienen el estado juvenil de la planta, y el ácido abscísico y el etileno provocan su senescencia (o estado de vejez). En resumen, la acción general de las fitohormonas puede resumirse en las siguientes fases:

- Fase juvenil: germinación de las semillas (giberelinas) y crecimiento rápido de ramas y raíces (auxinas en sentido longitudinal y citoquininas en el lateral).
- Fase de madurez: crecimiento más lento y actividad reproductora con formación de las flores (giberelinas) y su transformación en frutos (iniciado por auxinas y continuado por giberelinas).
- Fase de senescencia: maduración de frutos (etileno), caída de las hojas (ácido abscísico primero y etileno después) y dormición de la planta (detenimiento del crecimiento a nivel de las yemas por el ácido abscísico) y de las semillas (se mantienen en estado latente también por acción del ácido abscísico).

### 3.5- EL FOTOPERIODO

El **fotoperiodo** es la duración del periodo luminoso diario, que varía en función de la época del año y de la latitud. Junto con el termoperiodo (con el que está relacionado), regula respuestas fisiológicas relacionadas con el ciclo biológico como la floración, la germinación, formación de tubérculos y bulbos, o la salida o caída de las hojas. El pigmento que participa en la captación del fotoperiodo es el fitocromo.

En cuanto a la floración, se pueden definir las siguientes categorías de plantas:

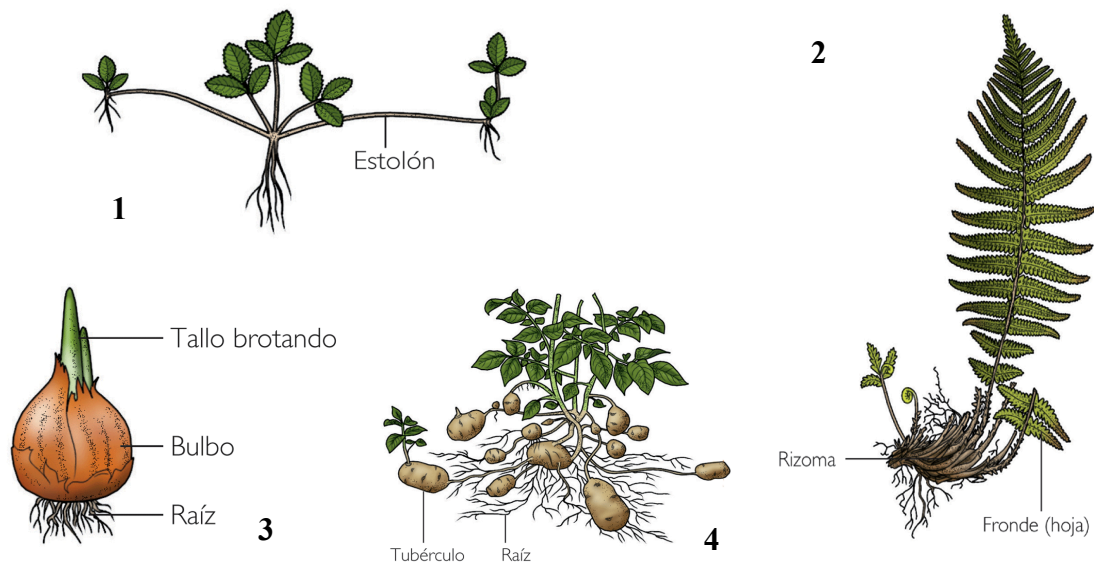
1. **Plantas de día corto** (P.D.C.): florecen cuando la duración del día es menor que un determinado valor (duración crítica del día). Propio de plantas tropicales o subtropicales (*crisantemos, dalias*).
2. **Plantas de día largo** (P.D.L.): florecen cuando la duración del día sobrepasa el valor crítico. Habitual en las plantas de zonas templadas (*trigo, lirio, trébol*).
3. **Plantas de día medio** (P.D.N.): floración independiente del fotoperiodo (patata, tomate, pensamiento).

Este esquema se complica con requerimientos lumínicos más complejos y con la participación de otros factores como la humedad y la temperatura (algunas plantas necesitan un periodo de bajas temperaturas previo para estimular su floración). De todos modos, la respuesta de las plantas al fotoperiodo en cuanto a la floración es un mecanismo de adaptación a las variaciones estacionales del medio en que viven para así florecer en el periodo más adecuado. Esto explica que, en general, las plantas tropicales y subtropicales sean PDC (florecen en otoño-primavera), mientras que las plantas templadas y subpolares sean PDL (florecen en primavera-verano).

#### 4- LA REPRODUCCIÓN ASEXUAL EN LAS PLANTAS

La reproducción asexual es un proceso importante y bastante común en las plantas. Permite la producción de un gran número de individuos genéticamente iguales al progenitor. La existencia de meristemos que permiten el crecimiento continuo durante toda la vida de la planta favorece la **multiplicación vegetativa**. Ésta se realiza mediante **propágulos**, fragmentos pluricelulares con células meristemáticas secundarias que pueden separarse o permanecer unidos al progenitor. Existen varias modalidades:

- a) **Estolones (1)**: tallos rastreros laterales que emiten raíces y se pueden separar para formar plantas independientes.
- b) **Rizomas (2)**: tallos subterráneos alargados que crecen horizontalmente. Desarrollan a su largo tallos aéreos que también se pueden separar.
- c) **Bulbos (3)**: son tallos subterráneos cortos y esféricos con hojas carnosas dispuestas en capas. Capaces de rebrotar y formar plantas separadas.
- d) **Tubérculos (4)**: tallos subterráneos con partes muy engrosadas para almacenar sustancias de reserva. Pueden separarse de la planta original para formar nuevas plantas.



#### 5- LA REPRODUCCIÓN SEXUAL EN LAS PLANTAS

Los órganos sexuales en las plantas se denominan **gametangios** y son las estructuras en donde se producen los gametos. Los nombres genéricos que reciben son los siguientes:

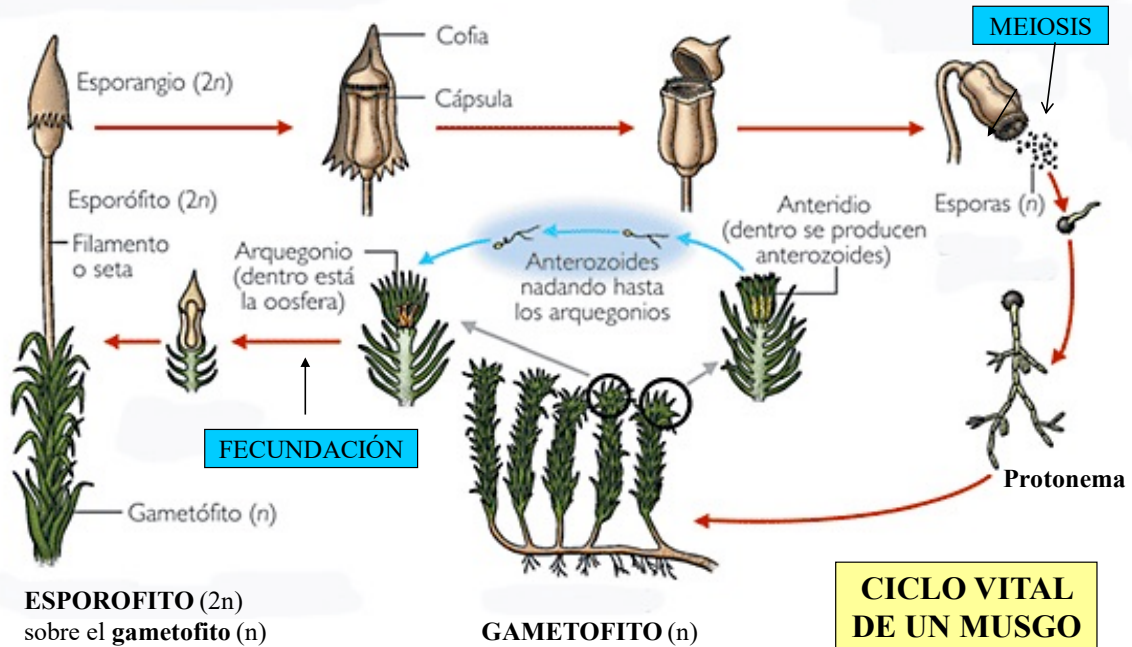
- El anteridio es el gametangio masculino y produce anterozoides.
- El arquegonio es el gametangio femenino y produce la oosfera.

El ciclo vital de las plantas es **diplohaplonte**, puesto que presenta una alternancia de generaciones: la gametofítica haploide (con un **gametofito** sexual productor de gametos) y la esporofítica diploide (con un **esporofito** asexual productor de meiosporas). La tendencia evolutiva que se observa en las plantas es la progresiva reducción del gametofito hasta llegar a ser microscópico en las espermatofitas, mientras que el esporofito se va haciendo dominante.

### 5.1 EL CICLO VITAL DE LAS BRIÓFITAS

Los **gametofitos** son dominantes y de vida independiente (con sus rizoides, cauloides y filoides fotosintéticos): Desarrollan anteridios (productores de anterozoides) y arquegonios (productores de una sola oosfera inmóvil). Es necesaria la presencia de agua libre para la fecundación, pues los anterozoides son nadadores.

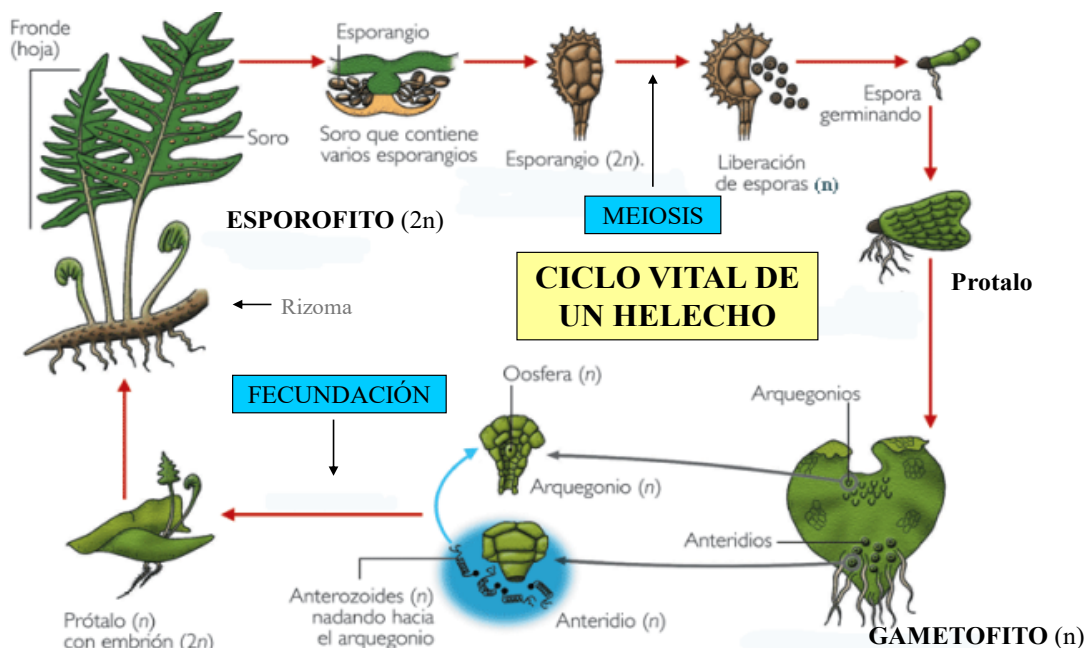
El cigoto resultante origina un **esporofito** dependiente del gametofito al que está unido. Tiene un esporangio en forma de cápsula que libera las meiosporas haploides. Éstas germinan para dar lugar a un protonema filamentososo que generará un nuevo gametofito.



### 5.2 EL CICLO VITAL DE LAS PTERIDÓFITAS

El gametofito (**protalo**) es de tamaño reducido, organización muy sencilla y dependiente de la humedad. Contiene anteridios productores de anterozoides y arquegonios que generan una oosfera. La fecundación se produce cuando existe agua que transporta los anterozoides flagelados.

A partir del cigoto se desarrolla un **esporofito** grande y dominante. En los esporangios presentes en soros o estróbilos se originan las meiosporas haploides que originarán nuevos protalos.



### 5.3 EL CICLO VITAL DE LAS ESPERMATOFITAS

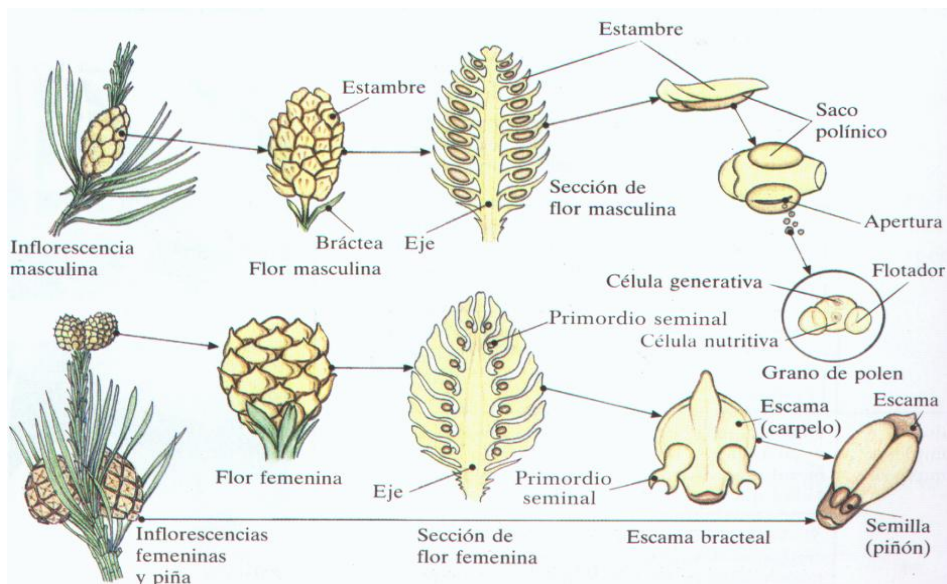
En las espermatofitas la vida esporofítica es muy extensa, pues el esporofito es de gran tamaño y además es la única fase visible. Es heterospóreo porque produce dos tipos de meiosporas haploides: la **microspora** (el grano de polen) que generará el gametofito masculino y la **megaspora** (el saco embrionario) que originará el gametofito femenino.

Por otra parte, la vida gametofítica es microscópica. El gametofito depende del esporofito y vive dentro de los órganos sexuales de la flor. Como se ha visto antes, hay **gametofitos masculinos** que producen los núcleos espermáticos (gametos masculinos) y **gametofitos femeninos** que producen la oosfera (gameto femenino).

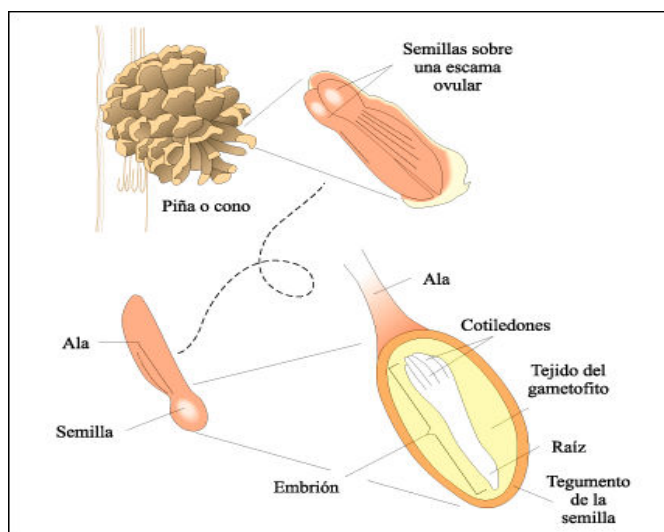
Estas plantas ya no dependen del agua para reproducirse, puesto que los núcleos espermáticos son transportados hacia la oosfera mediante la **polinización**. Una vez realizada la fecundación, forman las **semillas**, que son estructuras que protegen al embrión durante una fase de latencia, lo que permite su supervivencia durante la dispersión.

### 5.4 LA REPRODUCCIÓN SEXUAL EN LAS GIMNOSPERMAS

Las flores no tienen ni cáliz ni corola. En las coníferas, están reunidas en **conos** unisexuales:



- Los **conos masculinos** poseen escamas en cuya base hay dos sacos polínicos que producen los granos de polen (las microsporas). La polinización es anemófila (por el viento).
- Los **conos femeninos** poseen brácteas que contienen en su cara interna una escama seminífera con su óvulo o primordio seminal, en cuyo interior se encuentra la megaspora.



La **fecundación es simple**, en la que uno de los núcleos espermáticos generados por el gametofito masculino se une a la oosfera (del gametofito femenino) para dar un cigoto diploide.

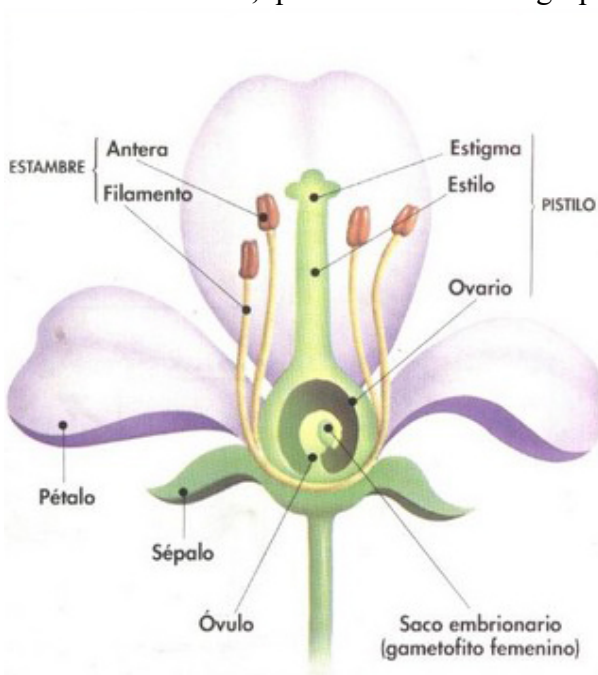
Las semillas están desnudas, y el cono femenino se convierte en una **piña** leñosa. Éstas se abren al madurar y las semillas se dispersan por el viento.

## 6- LA REPRODUCCIÓN SEXUAL EN LAS ANGIOSPERMAS

Las angiospermas presentan flores con una envoltura (**periantio**) formada por el cáliz y la corola. A diferencia de las gimnospermas, se va a producir una fecundación es doble, en la que los dos núcleos espermáticos se unen a la oosfera y a un núcleo secundario. Las semillas permanecen dentro del fruto, estructura procedente de la transformación del pistilo de la flor. Su función es proteger las semillas y permitir su dispersión

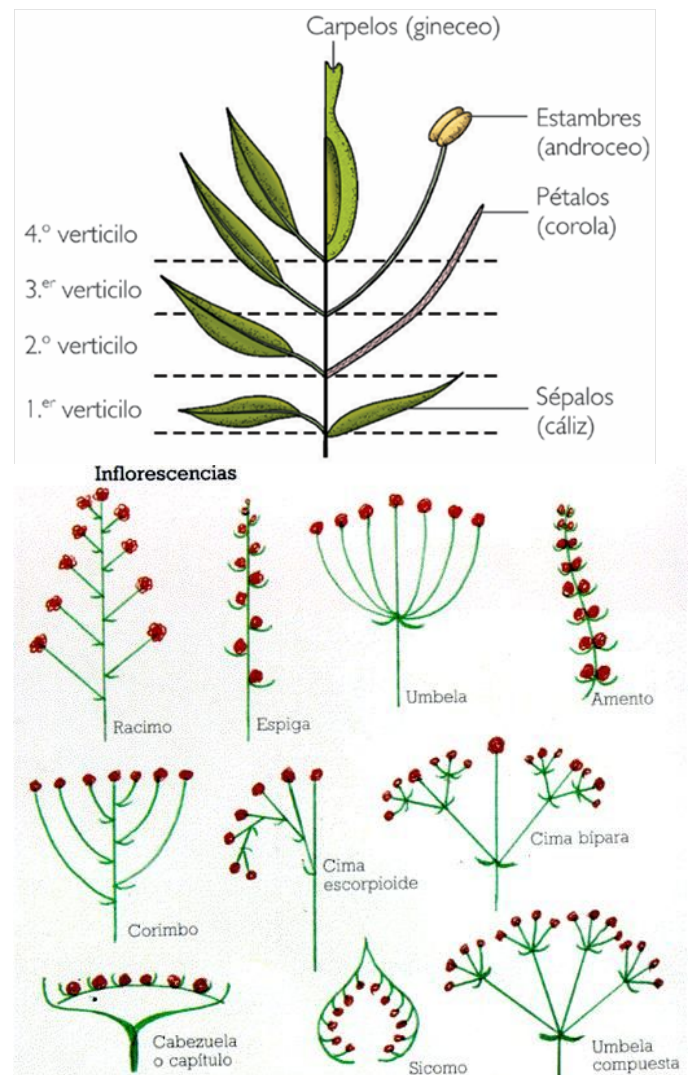
Los órganos sexuales de las angiospermas se encuentran en unas ramas modificadas a las que se denominan **flores**. Están formadas por unas hojas modificadas dispuestas en cuatro verticilos (insertados en el mismo plano en el eje floral) que se articulan sobre un **pedúnculo floral**. Estos verticilos son los siguientes:

1. El **cáliz**, formado por **sépalos** de un color generalmente verde.
2. La **corola**, formada por piezas de colores variados (incluido el verde) denominadas **pétalos**. Si los sépalos y pétalos tienen el mismo color, pasan a denominarse **tépalos**.
3. El **androceo** es el verticilo fértil masculino. Está formada por unas hojas muy modificadas que se llaman estambres. Cada una de ellas está constituida por un filamento y una **antera** (que consta de dos **tecas**, con dos sacos polínicos cada una). Los estambres producen las microsporas: el grano de **polen**.
4. El **gineceo** o verticilo fértil femenino consta de uno o varios carpelos o **pistilos**. Cada uno de ellos tiene tres partes: el **estigma**, el **estilo** y el **ovario** (en donde están los **óvulos**, que contienen las megasporas).



Las flores pueden ser unisexuales cuando sólo presentan androceo (masculinas) o gineceo (femeninas), o hermafroditas si tienen androceo y gineceo.

Cuando se reúnen en grupos, las flores forman **inflorescencias**, colocándose en torno a un eje o raquis del que surgen pedúnculos secundarios. Existen varios tipos (ver figura): racimo, espiga, umbela, corimbo, amento, capítulo, sicono, etc.





## 6.1- LA POLINIZACIÓN

La polinización consiste en la transferencia del polen desde las anteras de los estambres, hasta los estigmas de los carpelos. Puede ser directa (autopolinización) o cruzada (más frecuente, puesto que genera más variabilidad en la descendencia). El grano de polen no posee estructuras que permitan la movilidad, por lo que tiene que ser arrastrado pasivamente de varias maneras, por lo que se distinguen tres distintos tipos de polinización:

1. **Anemófila:** el transporte es realizado por el viento. Como es poco seguro que mediante este mecanismo el polen llegue a las flores de plantas de la misma especie, se compensa con una gran producción de polen. Las flores son poco vistosas y tienen estambres y estigmas largos. Por ejemplo, esta modalidad la presentan las gramíneas, el olivo y la encina.
2. **Zoófila:** el transporte lo llevan a cabo animales, insectos sobre todo (**entomófila**), aunque también aves (**ornitófila**) y murciélagos. Las flores son aromáticas y de colores vistosos para atraer a los animales polinizadores, que toman el néctar: un líquido azucarado producido por las mismas plantas. Un espectacular ejemplo lo constituyen las orquídeas.
3. **Hidrófila:** se realiza a través del agua. Es propio de plantas acuáticas como la posidonia.



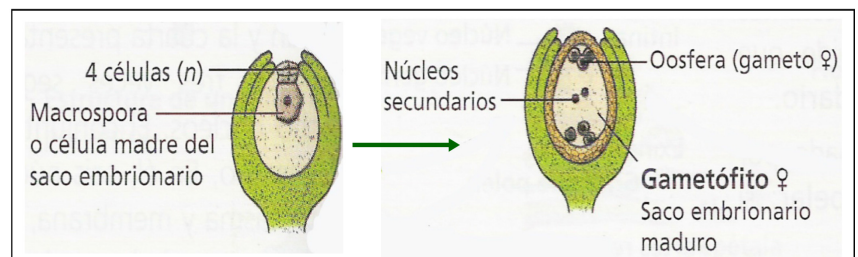
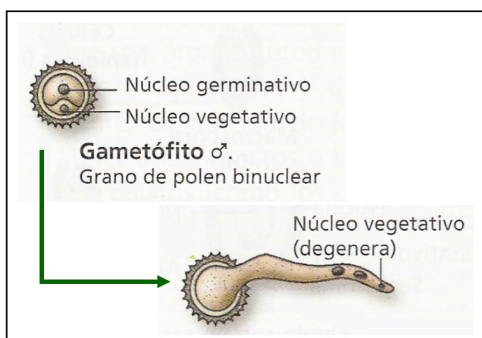
Polinización anemófila del pino (*Pinus sylvestris*)



Polinización entomófila de la carlina (*Carlina acanthifolia*)

## 6.2 LA FORMACIÓN DE LOS GAMETOFITOS

El gametofito masculino se forma a partir del grano de polen. Esta estructura consta de unas envolturas (intina y exina), dentro de las cuales se encuentran dos núcleos: el generativo y el vegetativo. Cuando el grano de polen germina en el estigma, el núcleo vegetativo contribuye a emitir el tubo polínico. Posteriormente, el núcleo generativo se divide en dos gametos masculinos: los **núcleos espermáticos**.



El gametofito femenino se forma a partir del óvulo, que contiene estructuras diploides como la **placenta**, el **funículo**,

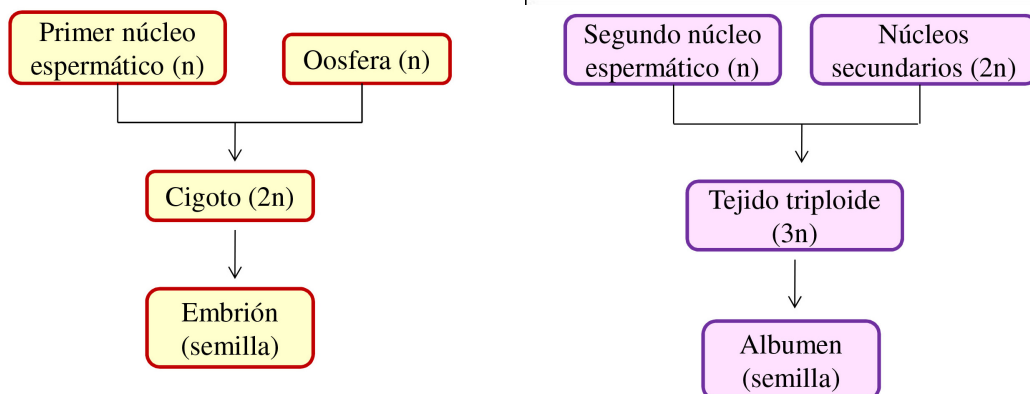
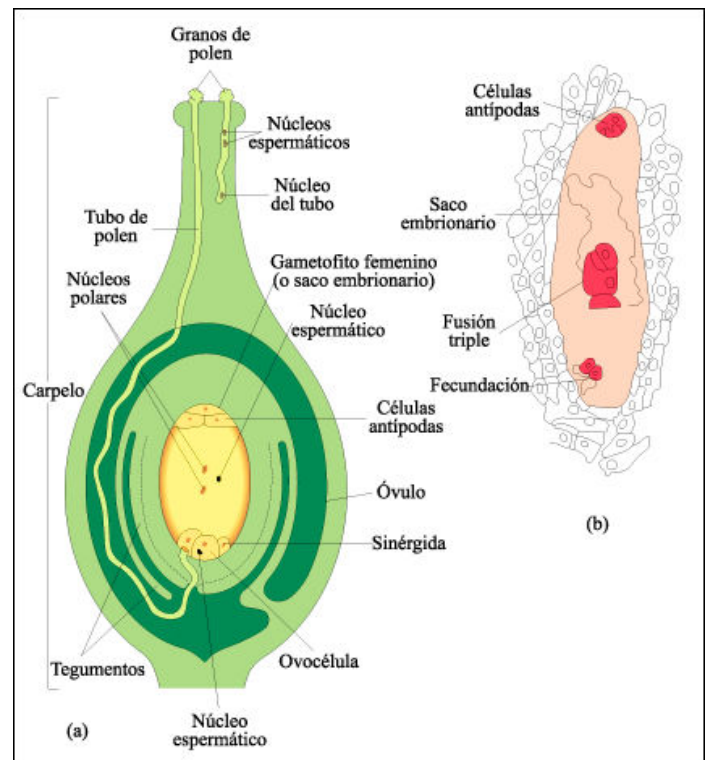
la **nucla** y un orificio, el **micropilo**, así como tegumentos externos protectores. Dentro del óvulo se encuentra una megaspora, que germina y origina un **saco embrionario** haploide después de tres mitosis sucesivas. Por tanto, el gametofito femenino contiene 8 núcleos: tres

antípodas en un extremo, dos secundarios en el centro y dos sinérgidas junto a la **oosfera** (el gameto femenino) en el otro extremo.

### 6.3- LA DOBLE FECUNDACIÓN

Después de la polinización, el grano de polen germina en el estigma y emite el tubo polínico, que se va abriendo paso a través de los tejidos del estilo, hasta llegar al ovario y penetrar en el óvulo a través del micrópilo. Por el tubo polínico descienden los dos núcleos espermáticos, interviniendo ambos en la **doble fecundación**:

- Un núcleo espermático se une a la oosfera, dando lugar a un cigoto diploide (2n) que originará el embrión de la semilla (la futura planta).
- El otro núcleo espermático se une a los dos núcleos secundarios del gametofito femenino para originar un tejido triploide (3n) que constituirá el albumen de la semilla (tejido de reserva).

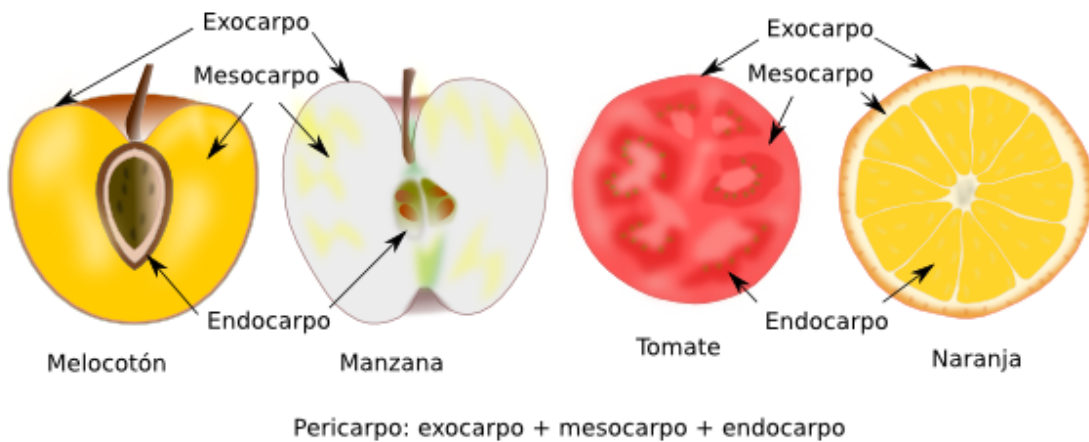


### 6.4- LA FORMACIÓN DEL FRUTO

Después de la doble fecundación, el óvulo se transforma en la **semilla**, una estructura resistente que tiene por objeto la dispersión de las nuevas plantas. La semilla consta de las siguientes partes:

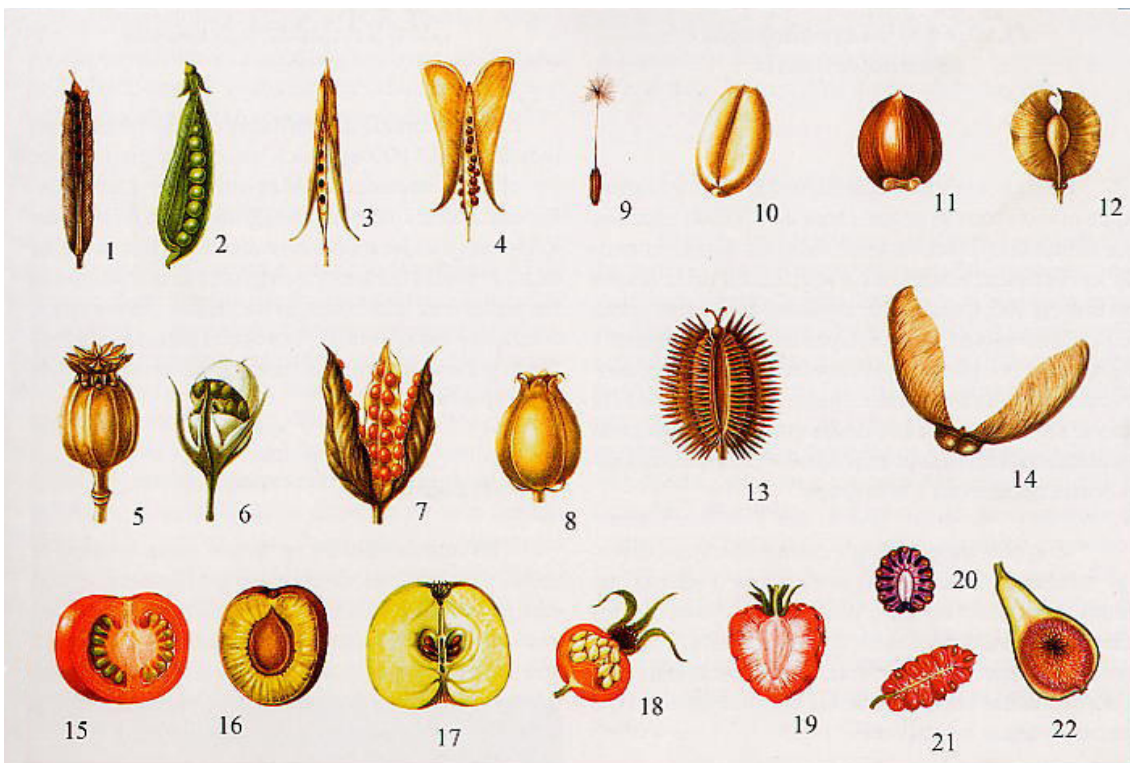
- El **embrión** pluricelular que dará origen a la nueva planta. Tienen estructuras como la radícula, un tallito (con una yema apical llamada plúmula) y los cotiledones (con nutrientes almacenados), que corresponden respectivamente a las raíces, tallo y hojas embrionarias. El tallo presenta dos partes: el hipocótilo bajo los cotiledones y el epicótilo sobre éstos.
- El **albumen** o endospermo: un tejido de reserva nutritiva para las primeras etapas del desarrollo del embrión en la germinación.
- **Los tegumentos externos**, procedentes de las paredes del óvulo. Son dos cubiertas: la testa externa y el tegmen interno.

Paralelamente, en las angiospermas se produce la transformación de la flor en el fruto. Concretamente, se produce el desprendimiento de los sépalos, los pétalos y los estambres, y el ovario del pistilo desarrolla significativamente sus paredes para formar el fruto. En su interior se encuentran las semillas, a las que rodea el **pericarpo**, que consta a su vez de tres capas: el **epicarpo**, el **mesocarpo** y el **endocarpo**.



Tipos de frutos:

1. **Simple secos:** tienen el pericarpo endurecido, dado que las paredes del ovario se impregnan de una sustancia leñosa, para así proteger a la semilla. Se distinguen a su vez dos tipos:
  - **Dehiscentes:** se abren espontáneamente para liberar las semillas. Ejemplos: legumbre (guisante), folículo (heléboro), silícula (lunaria) o cápsula (amapola).
  - **Indehiscentes:** permanecen cerradas con las semillas en su interior. Ejemplos: samara (arce), aquenio (girasol y bellota), cariósipide (trigo) y nuez (avellana).



Tipos de frutos. 1.- Folículo. 2.- Legumbre. 3.- Silícula. 4.- Silícula. 5.- Cápsula con dehiscencia poricida. 6.- Pixidio. 7.- Cápsula con dehiscencia valvar. 8.- Cápsula dehiscencia apical. 9.- Aquenio. 10.- Cariopsis. 11.- Nuez. 12.- Sámara. 13-14.- Esquizocarpos. 15.- Baya. 16.- Drupa. 17.- Pomo. 18.- Cinorrodon. 19.- Fruto colectivo. 20.- Polidrupa. 21.- Sorosis. 22.- Sicono.

2. **Simples carnosos:** tienen un pericarpo más desarrollado, con sustancias de reserva que sirven de alimento a los animales que dispersan las semillas. En este grupo están la drupa (melocotón), el hesperidio (naranja) y la baya (tomate).
3. **Complejos:** proceden de la transformación del ovario y de otras partes de la flor. Sería el caso del pomo (manzana), del eterio (fresa), del cinorrodón (escaramujo) y de la balastúa (granada).
4. **Múltiples:** formados por la agrupación de frutos procedente de carpelos libres. Por ejemplo, las polidrupas como la mora o la frambuesa.
5. **Infrutescencias:** agrupación de frutos procedente de inflorescencias. Ejemplos: sicono (higo) y sorosis (piña tropical).

### 6.5- LA DISPERSIÓN DE LAS SEMILLAS

Las semillas contienen las futuras plantas y han de ser diseminadas para así evitar la competencia entre plantas y colonizar nuevos ambientes. Esta dispersión se realiza de varias maneras:

- **Mecánica o activa (autócora):** semillas lanzadas durante la dehiscencia (liberación de la vaina), como las del guisante.
- Por el **viento (anemócora):** pequeñas semillas que presentan estructuras aladas (arce) o peludas (diente de león, chopos) para mantenerse suspendidas en el aire y facilitar el vuelo.
- Por el **agua (hidrócora):** semillas flotantes, como las del cocotero.
- Por los **animales (zoócora):** semillas con estructuras ganchudas o espinosas que se adhieren a pelos o plumas de los animales, semillas recolectadas por animales (insectos, ratones), o bien semillas recubiertas de un fruto carnoso que sirve de alimento a los animales dispersantes (aves y mamíferos).



### 6.6- LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS

La **germinación** es el conjunto de procesos que hacen que el embrión contenido en la semilla se transforme en **plántula**. Se produce tras un tiempo variable de **latencia**, cuando hay condiciones favorables de temperatura, presencia de oxígeno y humedad suficiente. La semilla capta agua y se hincha, por lo que las cubiertas se rompen para que emerja la radícula, que penetra en el suelo. Las giberelinas estimulan la hidrólisis del almidón del endospermo para así proporcionar nutrientes a la plántula, antes de que despliegue sus primeras hojas y comience a realizar la fotosíntesis.

Tipos de germinación:

1. En la **germinación epígea** (1) se produce sobre el sustrato. El hipocotilo se alarga bastante y los cotiledones afloran por encima del suelo.

2. En la **germinación hipógea** (2) se produce por debajo del suelo. El hipocotilo apenas se alarga, por lo que los cotiledones permanecen enterrados. El gran desarrollo del epicótilo es la que hace emerger las plántulas.

