



**FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE LENGUAS EXTRANJERAS
CARRERA DE TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN INGLÉS-ESPAÑOL**

**PROBLEMAS AL TRADUCIR UN TEXTO CIENTÍFICO QUE NO FUE EDITADO Y
ESCRITO POR UN AUTOR NO NATIVO DEL INGLÉS BASADO EN LA TRADUCCIÓN
DE LOS CAPÍTULOS 1, 2, 3, 4, 5, 6 Y PARTE DEL CAPÍTULO 7 DEL TEXTO
*INTRODUCTION TO BOTANY***

Trabajo de Título para optar al Título de Traductor e Intérprete Inglés-Español

Daniela Araya Recabarren

Pilar González Mosler

Javiera Jorquera Poblete

Profesora Guía: Mg. Vanessa Sarmiento Jarpa

Valparaíso, Chile

2021

Agradecimientos

Gracias a todos quienes me han soportado estos 5 años.

Daniela Araya

A mi familia, quienes me han brindado un apoyo incondicional a lo largo de estos años de carrera. Los quiero mucho y espero poder hacer que siempre se sientan orgullosos de mí y de mis logros.

A mi pololo, a quien amo mucho y ha estado conmigo en las buenas y en las malas. Siempre me has apoyado en todo durante este tiempo que hemos estado juntos, gracias por tu amor, por tus consejos y por siempre estar conmigo a pesar de la distancia. Te amo mucho, hoy y siempre.

A mis amigos, con quienes comencé mi carrera universitaria. Gracias por los momentos compartidos, por las risas y por pasar a ser parte de mi vida. Junto a ellos formé amistades que sé que nunca se romperán. Espero que siempre tengamos la posibilidad de vernos y recordar esos bellos momentos.

Pilar González

A mi madre y hermana, que desde siempre han sido mi base y fuerza para seguir.

A mis amigos fuera y dentro de la universidad, que sin ellos estos seis años no habrían sido una de las mejores experiencias de mi vida.

Y por último pero no menos importante, a mis animales, los que me han dado fuerza y alegría en los momentos más difíciles.

Javiera Jorquera

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
CAPÍTULO I: Traducción de los capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y parte del capítulo 7 del texto	
<i>Introduction to botany</i>	4
CAPÍTULO II: Problemas al traducir un texto científico que no fue editado y escrito por un autor no nativo del inglés basado en la traducción de los capítulos 1, 2,3 4, 5, 6 y parte del capítulo 7 del texto <i>Introduction to botany</i>	138
Resumen.....	138
Abstract.....	139
Objeto de estudio	140
Objetivo.....	140
Introducción	141
Marco teórico	142
1. Traducción científica.....	142
2. Traducción semántica y comunicativa	142
3. Texto mal escrito	143
4. Clasificación de los errores.....	144
Metodología	146
Corpus	147
Discusiones y resultados.....	152
Conclusiones.....	154
Bibliografía	155

CAPÍTULO I: Traducción de los capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y parte del capítulo 7 del texto *Introduction to botany*

Capítulo 1

Introducción a la introducción

1.1 Botánica, plantas y reinos

La **botánica** es el estudio científico de las plantas y de los organismos similares a estas. Ayuda a entender por qué las plantas son tan vitalmente importantes para el mundo. Estas son los elementos primarios en la mayoría de las cadenas alimenticias, proveen oxígeno, alimentos y medicamentos.

Las plantas se pueden dividir en dos grupos: **plantas₁** y **plantas₂**. Las plantas₁ contienen **todos los organismos fotosintéticos** que utilizan luz, H₂O y CO₂ para crear materia orgánica y O₂. Las plantas₁ se definen *ecológicamente* (en función de su rol en la naturaleza).

¡Algunas plantas₁ pueden ser bacterias o incluso animales! Un ejemplo es la esmeralda oriental, *Elysia chlorotica* (véase Fig. 1.1). La esmeralda oriental recolecta cloroplastos de las algas y los utiliza el resto de su vida como fuente de alimento. Por esto, es tanto un animal como una planta.

Las plantas₂ son **todos los organismos del reino Vegetabilia**. Comúnmente, las plantas₂ son organismos de color verde con un tallo y hojas. Se pueden definir también como **eucariontes fotosintéticos y principalmente terrestres de tejido múltiple**. Esta definición es *taxonómica* (en función de la evolución).

Es posible que el organismo sea planta₂ pero no planta₁ (véase Fig. 1.2). Aquellos que entran en esta categoría son por completo plantas parásitas (micoparásitos como la *Pterospora*, parasitarias en las raíces como la *Hydnora*, parasitarias en el tallo como la *Cuscuta* y parásitos internos como la *Pilostyles*) que no practican fotosíntesis, pero tienen

tejidos, son terrestres y originadas de ancestros fotosintéticos.



Figura 1.1. Esmeralda oriental *Elysia chlorotica* captura cloroplastos del alga *Vaucheria litorea*.

Las plantas se pueden clasificar en distintos niveles de organización: (de arriba hacia abajo) (a) ecosistemas o taxones, (b) poblaciones, (c) organismos, (d) órganos, (e) tejidos, (f) células, (g) orgánulo y (h) moléculas (Fig. 1.3).

La botánica es considerada una “ciencia en trozos” porque cubre distintos niveles de organización.

1.1.1 Taxonomía

Taxonomía, sistemática y clasificación son términos con significados similares; todos se refieren a la extraordinaria diversidad de organismos vivos debido a que hay más de 2 000 000 de especies (y 300 000 de estas son plantas²). **Filogenética** es un término más refinado; enfatiza la historia evolutiva (**filogenia**) de los grupos taxonómicos (**taxones**).

Esta organización taxonómica es jerárquica. La mayoría de los científicos acepta siete niveles principales de taxonomía (**rangos**): el más alto es **reino**, seguido de **filo**, **clase**, **orden**, **familia**, **género** y, por último, **especie**.

En el nivel más alto, es fácil entender a los reinos como la *pirámide de la vida* (Fig. 1.4) que se divide en cuatro niveles o reinos. En el más bajo está el reino **Monera** que

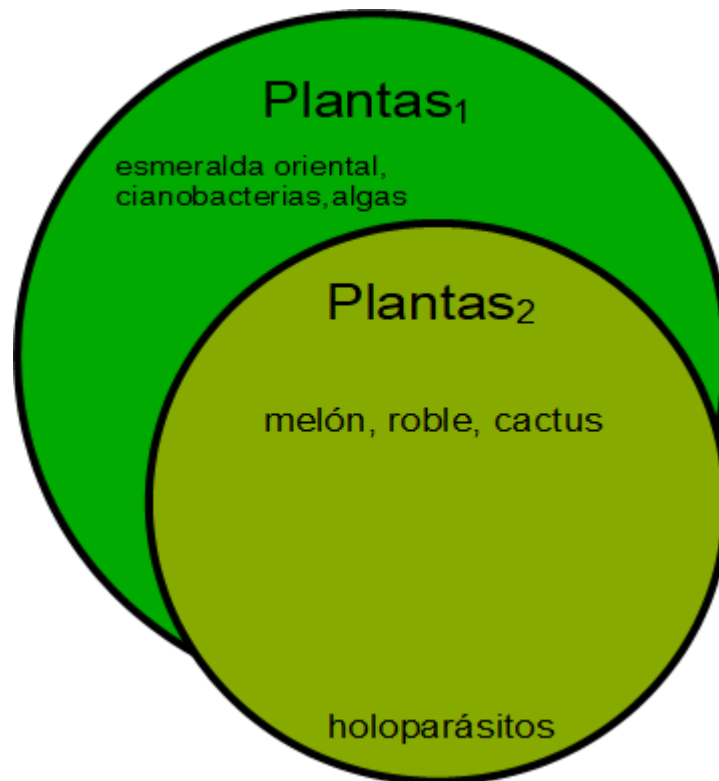


Figura 1.2 Plantas₁ y plantas₂

consiste en procariontes (Bacteria y Archaea). Este es el primer nivel de vida: Monera consiste en células simples sin núcleo. El siguiente nivel es **Protista**. Estos son eucariontes (células con núcleo) sin tejido; algunos ejemplos son algas y fungi. El último nivel consiste en dos grupos; **Vegetabilia** y **Animalia**. Ambos tienen tejidos, pero que han sido obtenidos para propósitos completamente diferentes. Los animales los tienen para *cazar y digerir*, por otro lado, las plantas los tienen principalmente para *sobrevivir en tierra*. Los virus, que son mencionados aparte, no son seres vivos sino simplemente piezas de ADN o ARN que se “salieron” de células de organismos vivos de los cuatro reinos. A pesar de ser inertes, los virus son capaces de evolucionar.

Las plantas₂ (reino Vegetabilia) contienen más de 300 000 especies y están divididas en múltiples subgrupos (Fig. 5.1).

* * *

Los rangos se usan para comparar grupos taxonómicos (**taxones**) con diferentes grupos más grandes. No hay definiciones precisas para algunos rangos en particular, pero se cree que

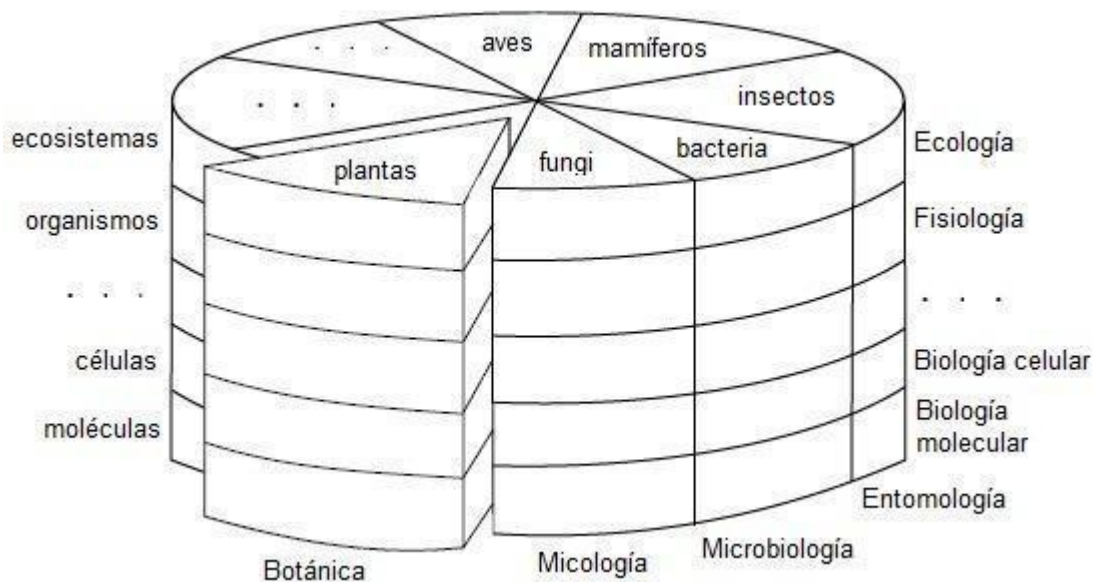


Figura 1.3. Gráfico de torta seccionado de la biología: niveles de organización (izquierda), grupos taxonómicos (arriba), ciencias "en trozos" (abajo) y ciencias "por capas" (derecha).

se relacionan con el tiempo de divergencia (separación) entre los taxones. Además de los siete rangos que se mencionaron anteriormente, la taxonomía vegetal utiliza rangos intermedios como la **subfamilia**, la **subclase** o el **superorden** cuando la estructura taxonómica es demasiado complicada.

A continuación se muestra un ejemplo de nombres usados para diferentes rangos. Por favor, nótese que los nombres utilizados para algunos rangos tienen terminaciones estandarizadas (subrayadas):

Español	Latín	Ejemplo 1	Ejemplo 2
Reino	Regnum	Vegetabilia	Animalia
Filo	Phylum	Espermatof <u>ita</u>	Cordados
Clase	Classis	Angiospermas (Magnoli <u>opsida</u>)	Mamíferos
Orden	Ordo	Liliales	Primates
Familia	Familia	Asparagaceae	Homínidos
Género	Genus	<i>Chlorophytum</i>	<i>Homo</i>
Especie	Species	<i>Chlorophytum comosum</i> (Thunb.) Jacq.	<i>Homo sapiens</i> L.

Es común cuando una especie tiene varias razas geográficas sin límites claros entre ellas. Un ejemplo puede ser la ortiga mayor, *Urtica dioica*. En Norteamérica, muchas ortigas tienen hojas más estrechas y son menos punzantes que en Eurasia. Sin embargo, hay muchas formas intermedias entre estas razas. Para reflejar esto,

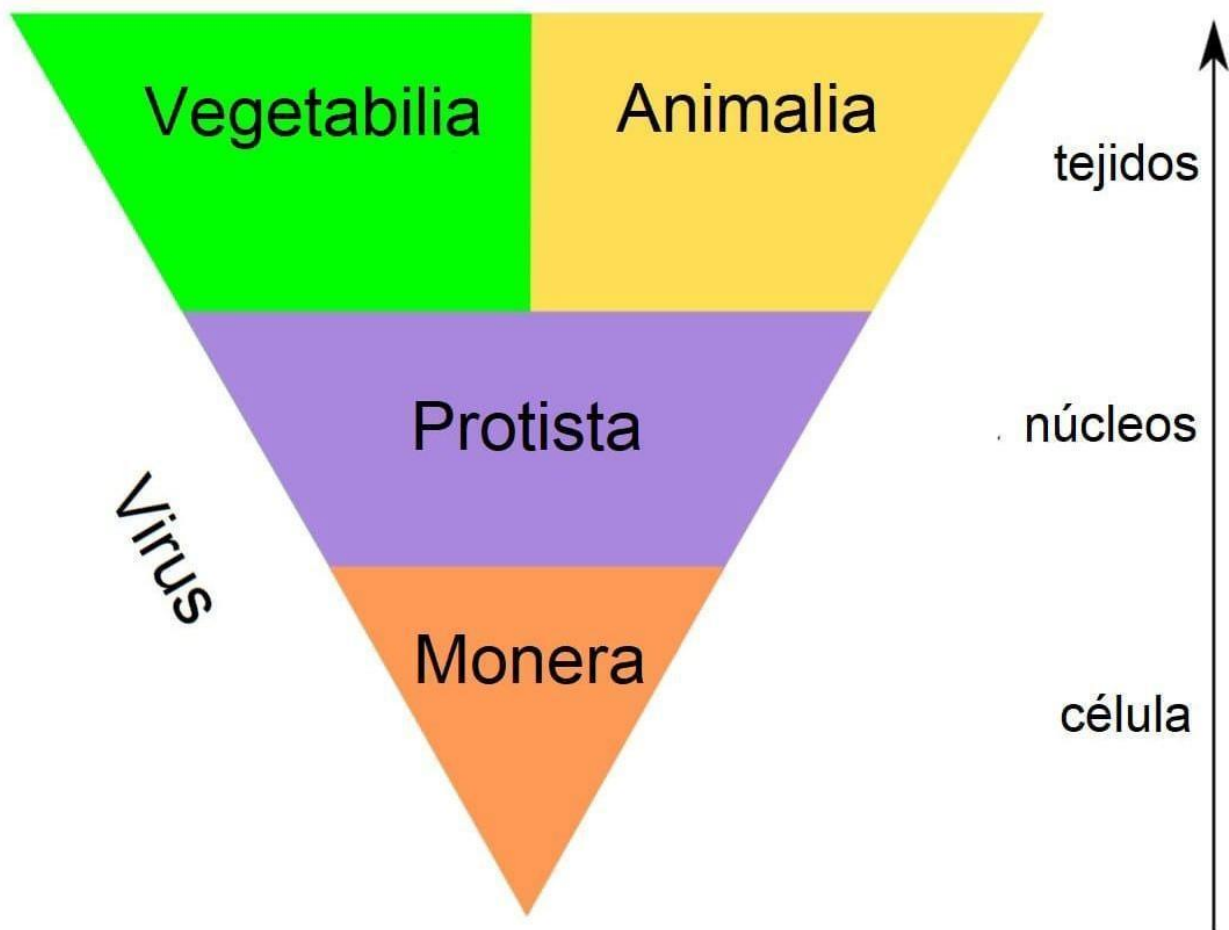
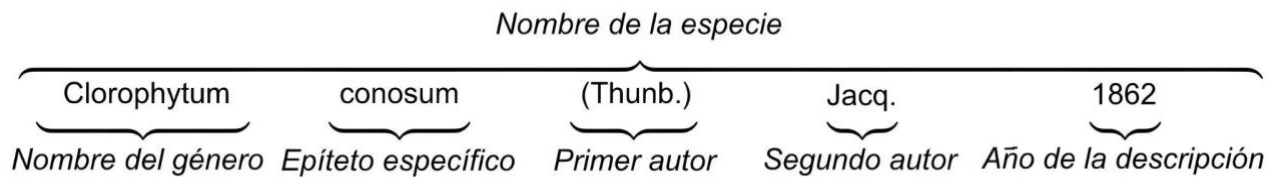


Fig. 1.4. Pirámide de la vida.

los taxónomos introdujeron dos **subespecies**: en este caso, *Urtica dioica* subsp. *dioica* (“Euroasiática”) y *U. dioica* subsp. *gracilis* (“Norteamericana”). Otra categoría de subespecies que se utiliza con frecuencia es el cultivar. Los cultivares se usan a menudo en la jardinería. Por ejemplo, muchas rosas en cultivo pertenecen a diferentes cultivares de *Rosa banksiae* y las rosas amarillas muchas veces son *Rosa banksiae* cv. ‘Lutea’ donde la última parte del nombre se refiere al cultivar.

* * *

Los nombres de las especies son **binomios** y se componen por el nombre del género y por el epíteto específico:



Si no se sabe la especie exacta, se utiliza la abreviación “sp.” en vez del epíteto y la abreviación “spp.” para varias especies desconocidas. Se requiere usar *cursiva* cuando se escribe un nombre de una especie o un género. Todos los nombres científicos se escriben con mayúscula, pero la segunda palabra en el nombre de una especie (epíteto específico) siempre se escribe con una letra minúscula. Es bien sabido que algunas especies tienen un origen híbrido y, en estos casos, los botánicos usan el signo de multiplicación (×). Por ejemplo, el ciruelo (*Prunus ×domestica*) es un híbrido entre el endrino y el ciruelo mirabolano: *Prunus spinosa* × *Prunus cerasifera*.

El grupo de animales y plantas debe tener un nombre único. Idealmente, el nombre debería ser un identificador estable para toda ocasión. Pero debido a que la biología es una “ciencia de excepciones”, algunas familias de plantas tienen permitido tener dos nombres. A modo de ejemplo, a las legumbres (**Leguminosae**) se les suele llamar “Fabáceas” y a las gramíneas (**Gramineae**) también se les llama “Poáceas”.

A lo largo de toda la historia de la taxonomía, se le han dado muchos nombres al mismo taxón. En este momento, tenemos casi 20 000 000 de nombres para describir a 2 000 000 de especies. Estos 18 000 000 de “excesos de nombres” son **sinónimos** que no se deberían usar en la ciencia. Para regular el uso de los nombres, se crearon **códigos de nomenclatura**. Estos códigos especifican, por ejemplo, **el principio de prioridad**: *cuando un mismo grupo recibe dos nombres, solamente el primer nombre es válido*. De esta forma, se recomienda nombrar al autor y el año de descripción junto con un nombre: “*Homo sapiens* L. 1758”, lo que significa que el fundador de la taxonomía, Carolus Linnaeus (abreviatura “L.”) describió esta especie en 1758.

Otro concepto importante de la nomenclatura es el **tipo nomenclatural**. Prácticamente, esto significa que cada nombre de especie debe estar asociado con el espécimen físico conservado en un museo. En la botánica, estos museos son colecciones de plantas secadas y prensadas, llamadas **herbarios**. Los especímenes tipo tienen una inmensa importancia dado que no hay etiquetas en la naturaleza y solo estos especímenes “hablarán” sobre plantas o animales reales asociados con nombres en particular.

Los nombres de los taxones que están por sobre las especies también tienen un tipo nomenclatural, pero en estos casos tienen otros nombres, no son especímenes. Este ejemplo puede clarificar el uso de los tipos nomenclaturales. Inicialmente, la familia de los oleaster (Elaeagnaceae) se conforma de dos géneros, *Elaeagnus* (oleaster) e *Hippophae* (espino amarillo). El segundo género incluye al *Hippophae rhamnoides* (espino amarillo siberiano, **especie tipo**) y al *Hippophae canadensis* (planta norteamericana). Thomas Nuttall decidió separar al espino amarillo en dos géneros. Debido a que uno de ellos incluye al *Hippophae rhamnoides*, la especie tipo, debería conservar el nombre *Hippophae*. El segundo género puede nombrarse de manera arbitraria. Nuttall lo llamó “*Shepherdia*”. En consecuencia, las especies que se llamaban *Hippophae canadensis* L. pasaron a llamarse *Shepherdia canadensis* (L.) Nutt.

La taxonomía vegetal es una ciencia. Es decir, que nuestro conocimiento de los grupos de plantas cambiará constantemente. Además, se refiere a que siempre existen distintas opiniones enfrentadas, la *hipótesis taxonómica* que describe la diversidad de plantas de diferentes maneras. Como resultado, algunos grupos de plantas podrían aceptarse en un sentido general, que asimismo incluye la mayor cantidad de subgrupos posible. Por ejemplo, puede que exista una opinión sobre los *Homo sapiens* s.l (*sensu lato* = en sentido amplio) que incluye no solo al humano contemporáneo, sino que además al hombre de Neandertal. Por el contrario, otras opiniones pueden aceptar a grupos en un sentido más estricto y por ende, *Homo sapiens* s.str (*sensu stricto* = en sentido estricto) incluye solo al humano contemporáneo.

1.2 Estilos de vida y química básica

La vida consigue energía de unas cuantas maneras: (1) a través de la luz solar (fototrofia); (2) a través de reacciones químicas de materia inorgánica (litotrofia); (3) a través del quiebre de moléculas orgánicas hasta convertirlas en moléculas inorgánicas, normalmente conocidas como dióxido de carbono y agua (organotrofia). Para formar su cuerpo, los seres vivos consiguen componentes ya sea a través de (a) la asimilación de dióxido de carbono (autótrofo) o (b) a través de otros seres vivos (heterótrofo).

Estas energías se combinan en seis estilos de vida. Por ejemplo, las plantas¹ son por definición **fotoautótrofas**. La mayoría de las plantas² también son fotoautótrofas, sin embargo, existen excepciones: holoparásito (véase anteriormente). Las plantas carnívoras (como la rocío del sol, *Drosera* o la venus atrapamoscas, *Dionaea*) son todas fotoautótrofas. Estas “comen” animales con el fin de obtener nitrógeno y fósforo, de tal manera que los cadáveres no cumplen la función de comida sino que de fertilizantes. Cabe destacar que las plantas son también **organoheterótrofas** al igual que los animales, ya que además de la fotosíntesis, todas las células vegetales pueden respirar.

* * *

Para poder entender la vida de las plantas, es necesario un conocimiento básico de química. Esto incluye el conocimiento de los átomos (y sus componentes tales como protones, neutrones y electrones), el peso atómico, los isótopos, los elementos, la tabla periódica, los enlaces químicos (iónico, covalente e hidrógeno), la valencia, las moléculas y la masa molecular. Por ejemplo, es esencial saber que los protones tienen una carga de +1, los neutrones no tienen carga y los electrones tienen una carga de -1. El peso atómico es igual al peso de los protones y de los neutrones. Los isótopos tienen la misma cantidad de protones pero distinta cantidad de neutrones; algunos isótopos son inestables (radiactivos).

Una de las moléculas más excepcionales es el agua. En teoría, el agua debería hervir a temperaturas mucho más bajas, sin embargo, esta hierve a los 100 °C solo porque el

hidrógeno se enlaza sellando las moléculas de agua. Estos enlaces surgen a raíz de que la molécula del agua es *polar*: los hidrógenos tienen cargas ligeramente positivas y el oxígeno tiene una carga ligeramente negativa (Fig. 1.5).

Otro concepto importante que está relacionado al agua es la **acidez**. Si dentro de una solución de agua, la molécula extrae un protón (H^+), es un **ácido**. Un ejemplo de esto

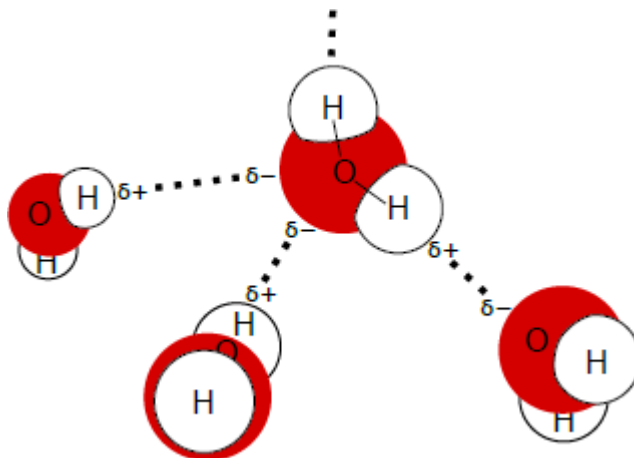


Figura 1.5. Enlaces de hidrógeno entre moléculas de agua, δ muestra la carga parcial.

sería el ácido clorhídrico (HCl) que se disocia a H^+ y Cl^- . Si la molécula extrae OH^- (iones de hidróxido), esta es la **base**. Un ejemplo de esto sería el hidróxido de sodio ($NaOH$) que se disocia a Na^+ e ion de hidróxido.

Para planificar adecuadamente reacciones químicas, se necesita saber sobre **masa molar** y **concentración molar**. La masa molar es un gramo equivalente al peso molecular. Esto quiere decir que (por ejemplo) el peso molecular de la sal ($NaCl$) podría estimarse como $23+35$, lo que equivale a 58 unidades. Por lo tanto, un mol de sal es aproximadamente 58 **gramos**. Un mol de cualquier materia (de estructura molecular) siempre contiene $6,02214078 \times 10^{23}$ de moléculas (**número de Avogadro**)

La densidad de una sustancia disuelta es la **concentración**. Si dentro de 1 litro de agua destilada, se diluyen 58 gramos de sal, tendremos 1M (un molar) de sal concentrada. La concentración no cambiará si extraemos cualquier cantidad de este líquido (cucharada, gota o medio litro).

Según la concentración de protones en una sustancia, una solución puede ser bastante ácida. La acidez de una solución puede determinarse a través del pH. Por ejemplo, si la concentración de protones es 0,1 M (1×10^{-1} , en que 0,1 gramos de protones en 1 litro de agua), esto es una solución extremadamente ácida. El pH de esto es solo 1 (el logaritmo negativo o grado negativo de diez concentraciones de protones). Otro ejemplo es el agua destilada. La concentración de protones es igual a 1×10^{-7} M y por ende, el pH del agua destilada es 7. El agua destilada es mucho menos ácida ya que las moléculas del agua raramente se disocian.

Cuando dos o más átomos de carbono se conectan, estos forman un **esqueleto de carbono**. Todas las **moléculas orgánicas** están hechas de algún esqueleto orgánico. Aparte de C, los elementos que participan en las moléculas orgánicas (elementos biogénicos) son H, O, N, P y S. Estos seis elementos forman cuatro tipos de biomoléculas: (1) lípidos, moléculas orgánicas hidrofóbicas que no se disuelven fácilmente en el agua; (2) carbohidratos o azúcares, tales como la glucosa (las pasas contienen grandes cantidades de glucosa) y la fructosa (miel); por definición, los carbohidratos tienen múltiples grupos de -OH, además existen carbohidratos poliméricos (polisacáridos) como la celulosa y el almidón; (3) aminoácidos (componentes de las proteínas) que siempre contienen N, C, O y H; y (4) nucleótido, combinación entre el ciclo del carbono con nitrógeno (heterociclo), azúcar y ácido fosfórico; nucleótidos poliméricos son ácidos nucleicos tales como el ADN y el ARN.

Capítulo 2

Fotosíntesis

2.1 Descubrimiento de la fotosíntesis

La historia de los estudios hechos sobre la fotosíntesis data del siglo XVII, con Jan Baptist van Helmont. Rechazó la idea de que las plantas toman la mayor parte de su biomasa del suelo. Como prueba, realizó el experimento del sauce. Comenzó con uno de 2,27 kg. y en 5 años, aumentó hasta 67,7 kg. Sin embargo, el peso del piso solo disminuyó 57 gramos. Van Helmont llegó a la conclusión de que las plantas adquieren la mayor parte de su peso del agua. Desconocía la participación de los gases.

En 1772, Joseph Priestley puso a prueba una serie de experimentos (Fig. 2.1). Examinó a un ratón, una vela y un manojo de menta dentro de un frasco cerrado herméticamente (el aire no podía ni salir ni entrar). Primero observó que el ratón y la vela se comportan de manera similar cuando estaban cubiertos, ambos “usaban” el aire que quedaba dentro. Por otro lado, cuando la planta se juntaba ya sea con la vela o el ratón, la planta “revivía” el aire para ambos.

A finales del siglo XVII, surgieron más ideas. Jan Ingenhousz y Jean Senebier descubrieron que el aire solo se recupera en el día y que en la noche las plantas absorben CO₂. Antoine-Laurent Lavoisier reveló que ese “aire recuperado” era un gas distinto, el oxígeno.

Pero ¿quién es el creador del oxígeno? Hay muchos pigmentos en las plantas y todos absorben y reflejan algunas partes del arcoíris. Para identificar al responsable de este fenómeno, Thomas Engelmann llevó a cabo un experimento (Fig. 2.2) usando un prisma de cristal. Descubrió que el alga *Spirogyra* produce oxígeno principalmente en las zonas azules y rojas del espectro. Fue un gran hallazgo, explica que el pigmento fotosintético clave debería absorber rayos azules y rojos y, por lo tanto, reflejar rayos verdes. La **clorofila** azul verdosa es la que mejor calza en esta descripción.

En 1905, Frederick Blackman descubrió otro hecho importante, que reveló

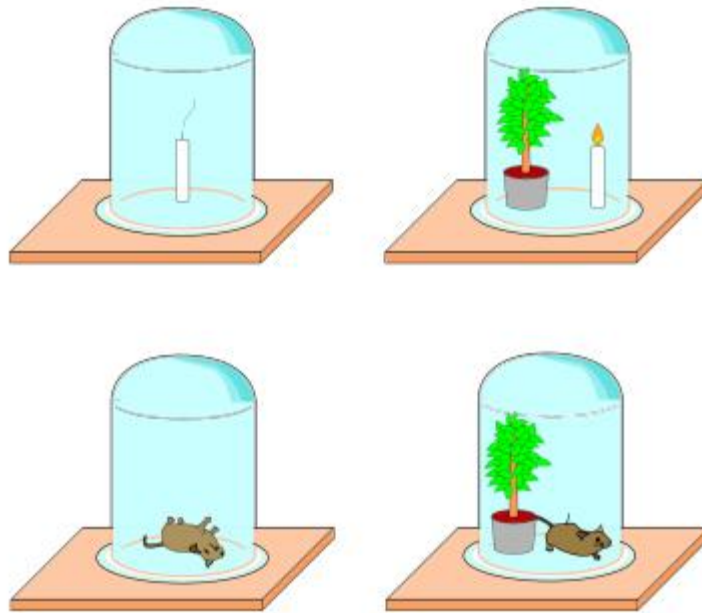


Fig. 2.1 Experimentos de Joseph Priestley (1772)

que, si la intensidad de la luz es baja, el aumento de la temperatura tiene un efecto muy mínimo en la tasa fotosintética (Fig. 2.3). Sin embargo, al revés no es del todo real y la luz es capaz de intensificar la fotosíntesis incluso cuando la temperatura es baja.

Esto no sería posible si la luz y la temperatura fueran factores completamente independientes. Si estos son componentes de la cadena, la luz viene primero (“ignición”) y la temperatura después. Esto muestra que la fotosíntesis tiene **dos fases**. La primera es la **fase fotoquímica**. Esta fase está relacionada con la intensidad de la luz. La segunda fase es la **sintética** (independiente de la luz) que está ligada a la temperatura. Las reacciones fotoquímicas dependen de la cantidad de luz y agua, estas producen oxígeno y energía en forma de ATP. Las reacciones sintéticas dependen de la cantidad de dióxido de carbono y agua, toman energía de las reacciones fotoquímicas y producen carbohidratos. La fase sintética es también llamada “oscura” pero esto no es correcto porque en la oscuridad, la planta perdería el ATP producido en la fase fotoquímica casi inmediatamente. Solo algunos procesos relacionados con la vía C₄ (véase a continuación) podrían funcionar de noche.

* * *

Como las moléculas de agua son usadas durante la fase fotoquímica para crear oxígeno y al mismo tiempo se acumulan (véase a continuación), una de las mejores “ecuaciones” para describir el proceso de fotosíntesis como un todo es

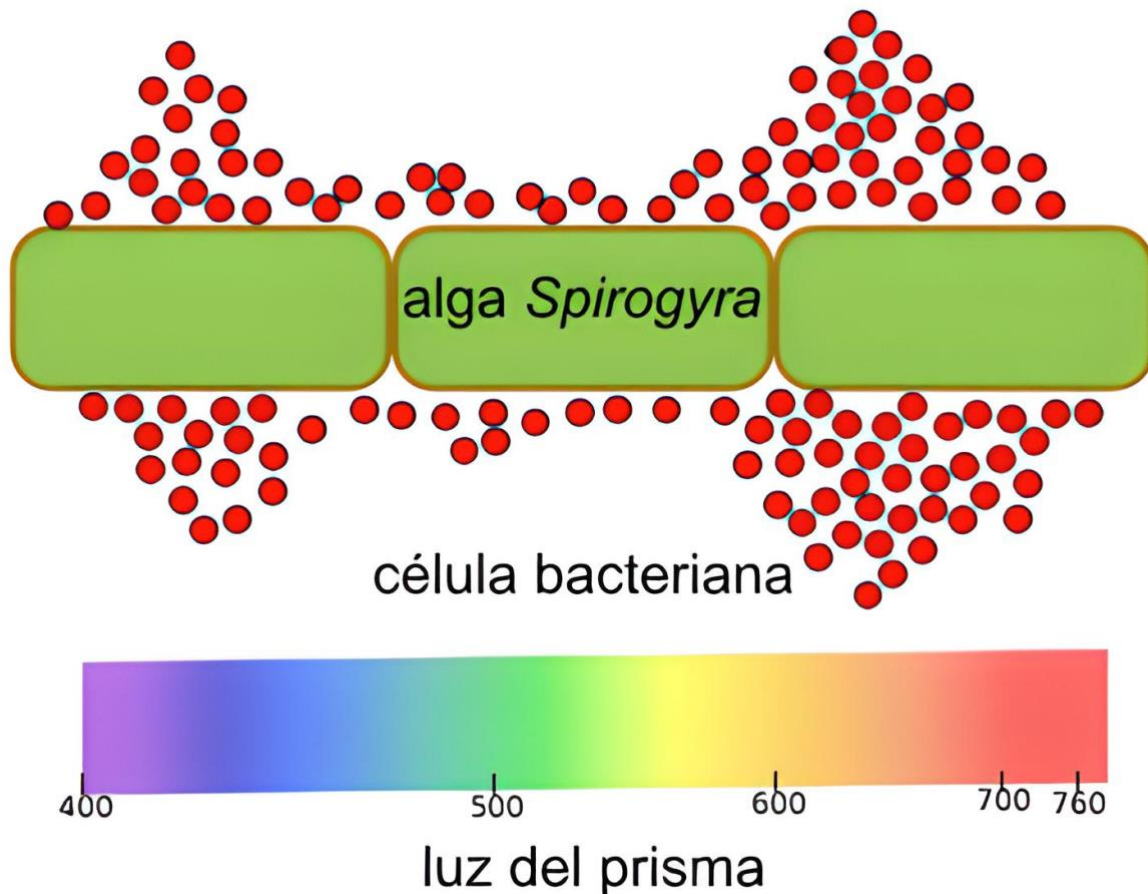


Figura 2.2. Experimento de Thomas Engelmann (1881).

2.2 Fase fotoquímica

Los participantes de la fase fotoquímica incluyen fotosistemas (“clorofila”), luz, agua, ATPasa, protones y un portador de hidrógeno (NADP⁺).

La idea básica de la fase fotosintética es que *la célula necesita ATP* para (más tarde) transformar dióxido de carbono en azúcar (Fig. 2.4). Para producir ATP, la célula necesita

una corriente eléctrica: **bomba de protones**. Para crear esta corriente, la célula requiere la diferencia de la carga eléctrica (diferencia de potenciales) entre los compartimientos **tilacoides** (vesícula o compartimiento membranoso) y la **matriz** (estroma) del cloroplasto (Fig 2.5). Para diferenciarlos, la célula tiene que segregar iones: los de carga positiva entran y los de carga negativa salen. Para hacer esto, la célula precisa un golpe de energía, los rayos del sol capturados por las moléculas de **clorofila** incorporadas en la membrana tilacoide. La molécula de clorofila es apolar (similar a los lípidos de membrana) y contienen magnesio (Mg). Es fácil activar la molécula de clorofila con luz; una vez activada puede liberar el electrón si la energía de la luz es suficientemente alta.

Para hacer *carbohidratos* a partir del dióxido de carbono (al parecer el CO_2 no tiene hidrógeno), la célula necesita átomos de hidrógeno (H) de un portador de hidrógeno, el NADP^+ , que al término de la fase fotoquímica se transforma en NADPH.

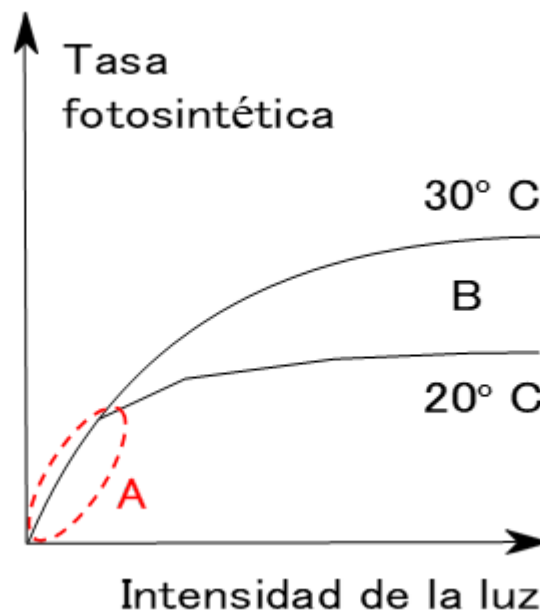


Figura 2.3. Explicación del experimento de Frederick Blackman (1905). A: luz baja, poco efecto en la temperatura; B: luz alta, efecto significativo en la temperatura.

El evento principal de la fase fotoquímica es cuando la clorofila reacciona a la luz, produce un electrón (e^-) y se vuelve una molécula oxigenada con carga positiva. Luego los electrones, los protones y el NADP^+ reaccionan para producir NADPH que más tarde participará en la fase sintética. La clorofila con carga positiva es en extremo activa

químicamente, luego descompone moléculas de agua (“fotólisis”) lo que produce protones (que se acumulan dentro de los tilacoides), oxígeno (O_2) y electrón. El electrón vuelve a la clorofila. Cuando la gradiente que va en aumento llega al umbral, la **bomba de protones** comienza a funcionar en cuanto los protones (H^+) traspasan la gradiente. La energía del traspaso de protones permite que el ATP se sintetice a partir de ADP y P_i (fosfato inorgánico). Al otro lado de la membrana, estos protones crean agua con iones de hidróxido.

En el párrafo anterior, la “clorofila” se refiere a dos fotosistemas: fotosistema II (P680) y fotosistema I (P700). El fotosistema II (contiene clorofila y carotenos) es más importante, se encarga de la escisión de las moléculas de agua, forma la gradiente de protones que luego se usará para crear ATP y envía electrones al fotosistema I; este solo contiene clorofilas y genera NADPH.

En resumen, la fase fotoquímica comienza con luz, agua, $NADP^+$, ADP y resulta en una acumulación de energía (ATP) e hidrógeno (NADPH) y la liberación de oxígeno como un tipo de gas de escape (Fig. 2.6).

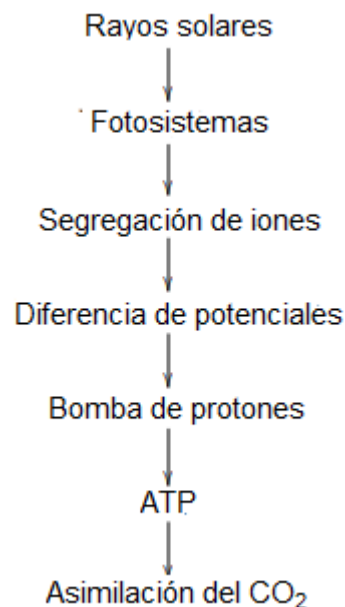


Figura 2.4. La cadena lógica de las reacciones de la fase fotoquímica (no se muestra el portador de hidrógeno).

2.3 Fase sintética

La fase sintética incluye a muchos participantes. Estos incluyen el dióxido de carbono, el portador de hidrógeno con hidrógeno (NADPH), el ATP, la ribulosa bifosfato (RuBP o C₅) y la rubisco junto con otras enzimas. Todo esto ocurre en la matriz (estroma) del cloroplasto.

El suceso principal de la fase sintética es la asimilación del CO₂ con el C₅ que crea moléculas de C₆ de corta duración. La asimilación requiere que la rubisco se comporte como una enzima. Luego, las moléculas de C₆ se separan en dos moléculas de C₃ (PGA). Continúa con la participación de estas en el complejo conjunto de reacciones que usan NADPH y ATP como fuentes de hidrógeno y energía respectivamente y produce (a través de la frase intermediaria PGAL) una molécula de glucosa (C₆H₁₂O₆) por cada seis moléculas asimiladas de CO₂. NADP⁺, ADP y P_i vuelven a la fase fotosintética. Este conjunto de reacciones químicas devuelve al RuBP que comenzará un nuevo ciclo de asimilación. En consecuencia, todas las reacciones descritas en este párrafo son parte de un ciclo llamado "ciclo de Calvin" o "Ciclo C₃" (debido a que aquí las moléculas de PGA del C₃ son más importantes).

En resumen, la fase sintética comienza con CO₂, NADPH, ATP y C₅ (RuBP) para finalizar con glucosa (C₆H₁₂O₆), NADP⁺, ADP, P_i y el mismo C₅. Junto con nitrógeno y fósforo, la glucosa entregará todas las otras moléculas orgánicas (Fig. 2.7).

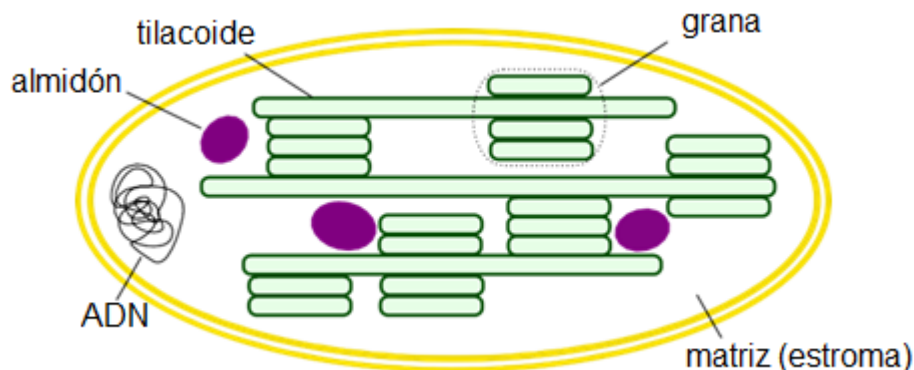


Figura 2.5. El cloroplasto.

Para resumir, la lógica de la fotosíntesis (Fig. 2.8) se basa en una idea simple: *crear azúcar a partir de dióxido de carbono*. Si estuvieran las letras "a", "u", "z". "c" y "a" y fuera necesario

escribir la palabra “azúcar”, obviamente, necesitaríamos dos cosas: la letra “r” y la energía para poner estas letras en el orden correcto. Lo mismo ocurre en la fotosíntesis: se requiere al hidrógeno (H) que sería “la letra ausente” del CO₂ porque los azúcares deben contener H, O y C. NADP⁺ o NADPH se usa como proveedor de hidrógeno y la energía es el ATP que se crea vía bomba de protones y esta surge debido a que la luz ayuda a concentrar protones en la reserva.

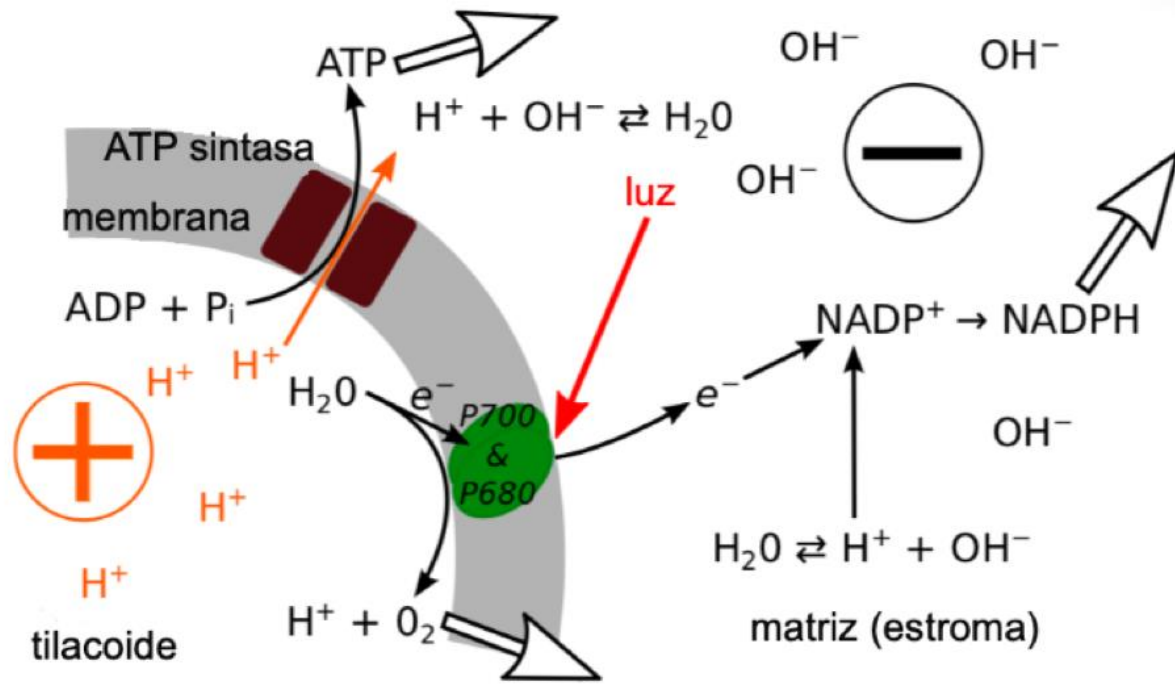


Fig 2.6. Esquema de la fase fotoquímica de la fotosíntesis.

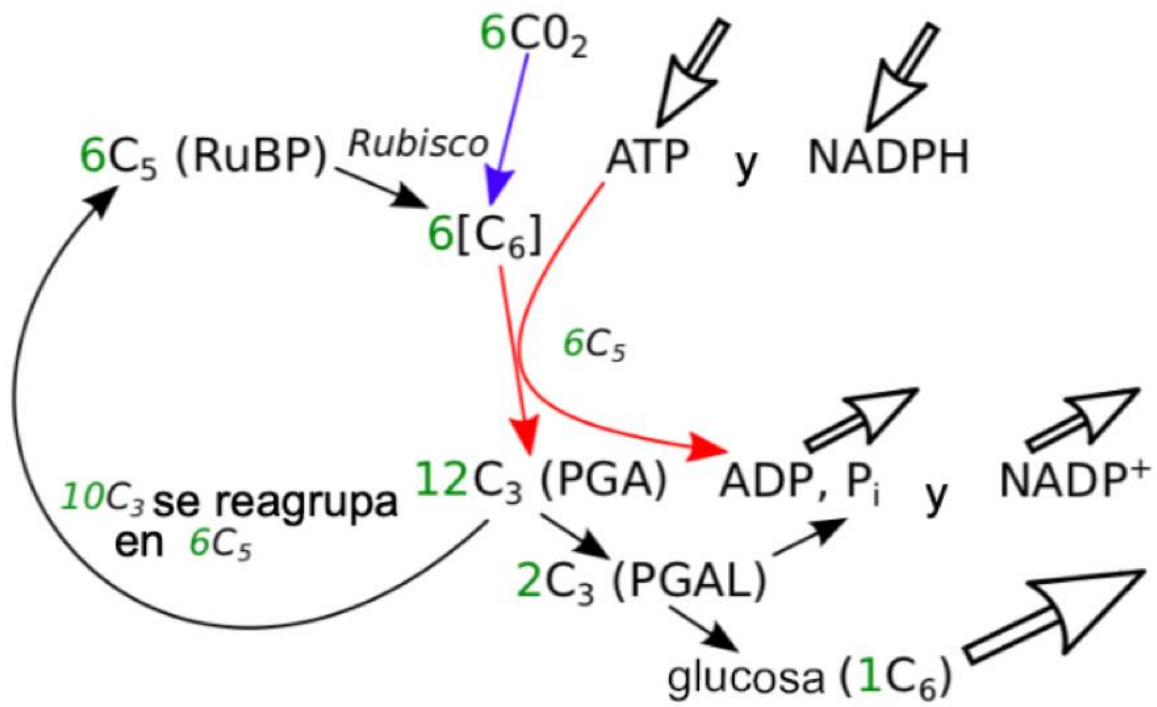


Fig 2.7. Esquema de la fase sintética de la fotosíntesis. Los números verdes muestran cómo se asimila el carbono sin cambiar la cantidad de RuBP.

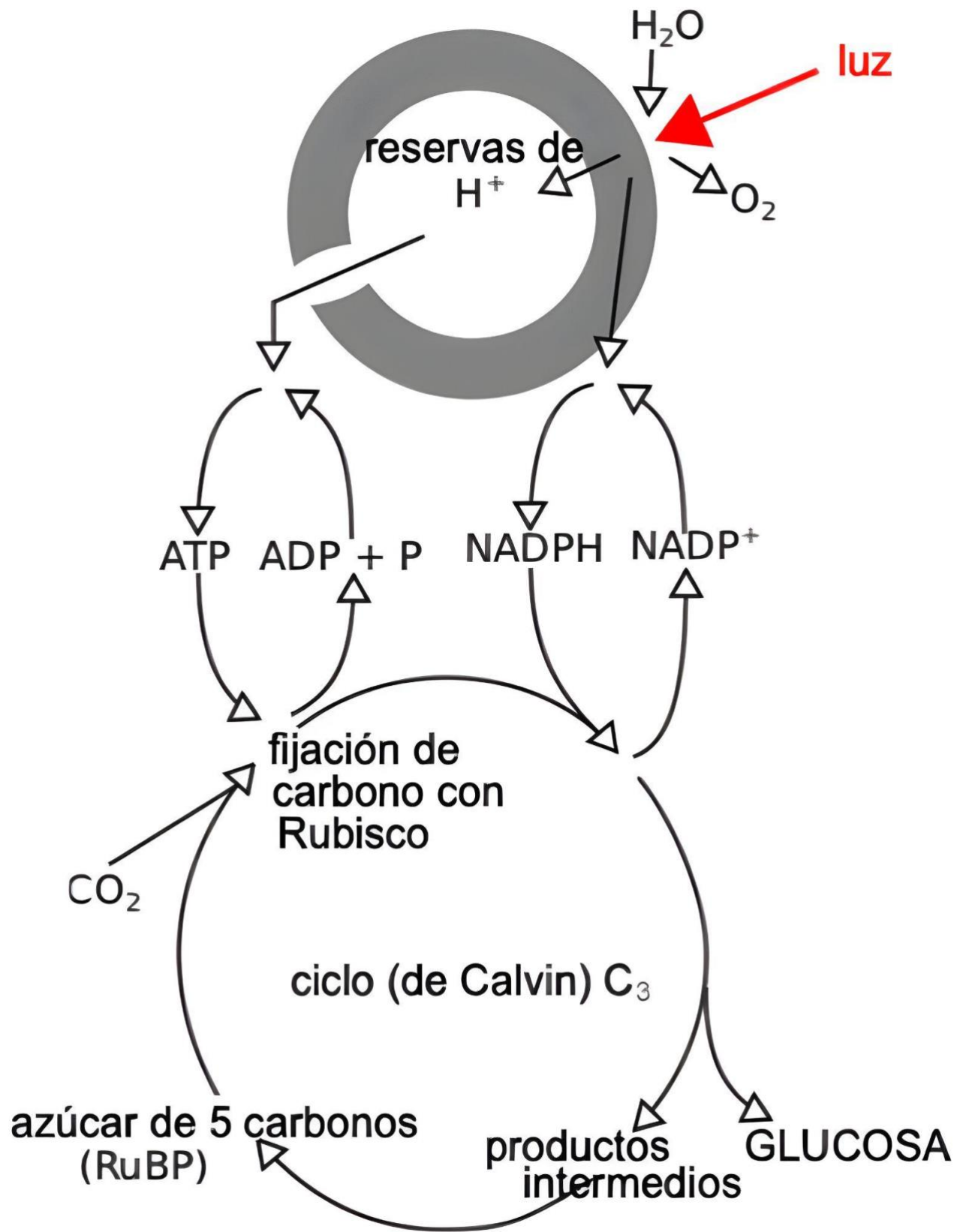


Fig. 2.8. Resumen de la fotosíntesis. (Basado en la idea de Arms y Camp, 1986).

2.4 Vía C₄

La rubisco es una enzima que tiene extrema importancia dado que esta da inicio a la asimilación del dióxido de carbono. Desafortunadamente, la rubisco tiene “dos caras” puesto que también cataliza la fotorrespiración (Fig. 2.9). La **fotorrespiración** sucede cuando la planta toma oxígeno en vez de dióxido de carbono. La rubisco cataliza la fotorrespiración si es que hay una alta concentración de oxígeno (lo que generalmente se debe a una fase fotoquímica intensa). La rubisco oxigena C₅ (RuBP) que se convierte en PGA y PGAL y luego en glicolato. Este regresa al ciclo de Calvin cuando la célula utiliza peroxisomas y mitocondrias y gasta ATP. El proceso de la fotorrespiración desperdicia C₅ y ATP los que podrían ser de más mayor utilidad para la planta en otras maneras.

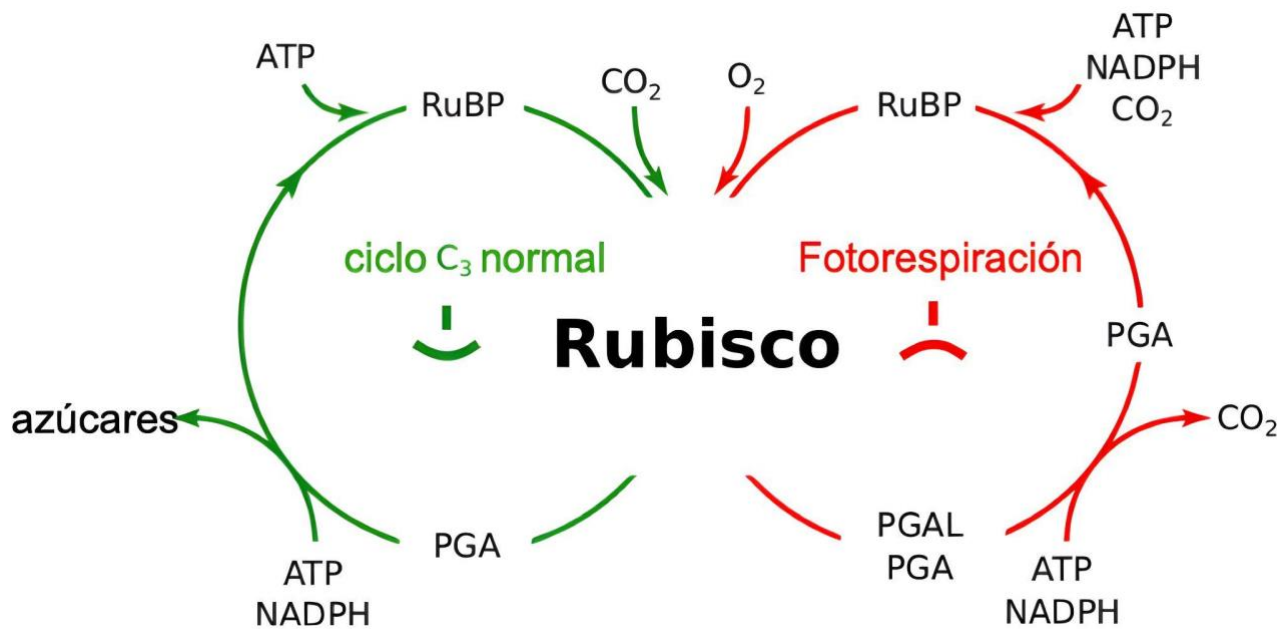


Figura 2.9. La rubisco es una enzima con dos caras.

Si la concentración de CO₂ es lo suficientemente alta, la asimilación superará a la fotorrespiración. En consecuencia, para minimizar la cantidad de fotorrespiración y almacenar su C₅ y ATP, las plantas utilizan el **principio de Le Chatelier** (“ley de equilibrio”) y aumentan la concentración de dióxido de carbono. Para hacer esto, las plantas enlazan temporalmente dióxido de carbono con PEP (C₃) al usar la enzima carboxilasa; esto da como resultado moléculas de C₄, diferentes ácidos orgánicos (como el malato, el ácido málico) con cuatro carbonos en el esqueleto. Cuando la planta lo

necesita, ese C₄ se divide para formar piruvato (C₃) además de dióxido de carbono y la liberación de ese dióxido de carbono aumentará su concentración. En el último paso, el piruvato junto con la ATP reaccionan a la restauración de PEP; la recuperación de PEP cuesta ATP. Todo este proceso se llama la “vía C₄” (Fig. 2.10).

Las plantas que utilizan la vía C₄ gastan ATP en su esfuerzo por recuperar PEP, pero siguen consiguiendo mejores resultados que las plantas C₃ que hacen fotorrespiración cuando hay *luz intensa o altas temperaturas y, por consiguiente, una alta concentración*

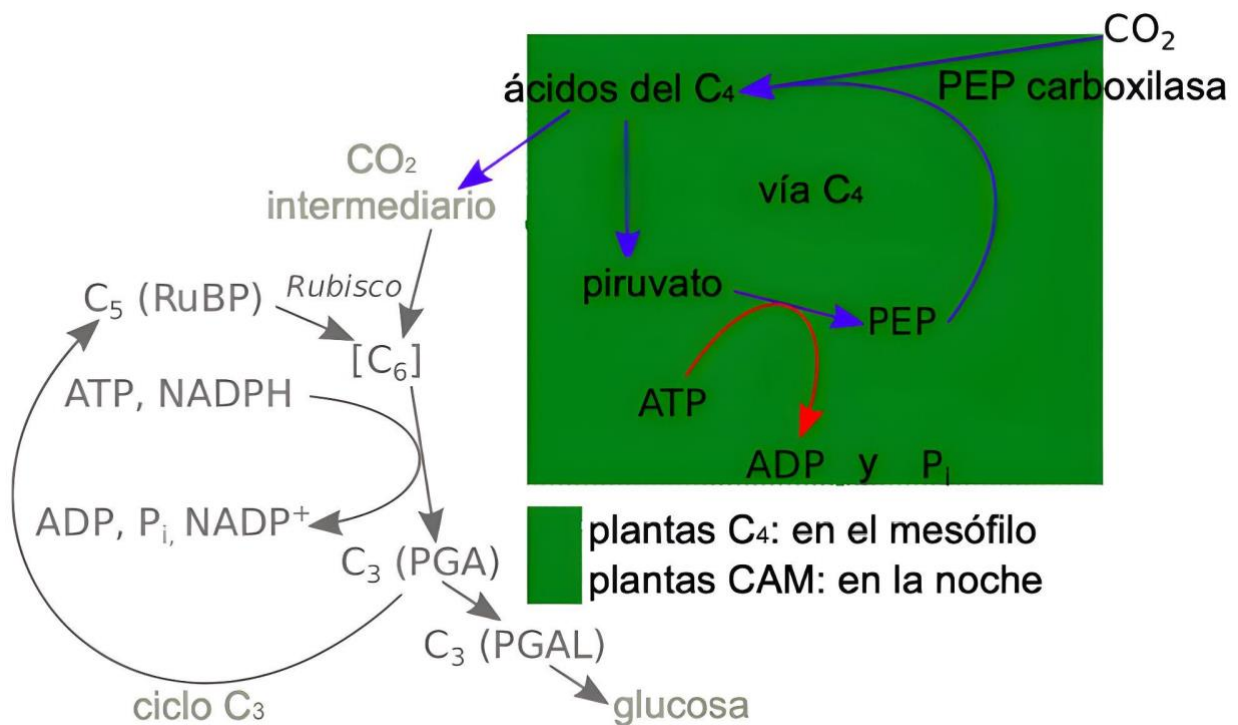


Figura 2.10. Vía C₄ (en azul).

de oxígeno. Es por esto que en los climas tropicales se prefieren los cultivos con mecanismos C₄.

Dos grupos de plantas usan la vía C₄. Muchas plantas de zonas desérticas o áridas son plantas CAM que llevan a cabo este proceso durante la noche. Hacen una *separación temporal* entre la acumulación de dióxido de carbono y la fotosíntesis. Las plantas CAM conforman el 7% de la diversidad vegetal y tienen 17 000 especies (por ejemplo, la piña (*Ananas*), los cactus, las cactáceas; árbol de jade, *Crassula* y sus parientes).

Las plantas C₄ “clásicas” llevan a cabo la vía C₄ en las células del mesófilo de la hoja mientras que su C₃ está ubicado en las llamadas **células del haz vascular**. Más que una separación temporal, esto es una separación *espacial*. Estas plantas C₄ conforman el 3% de la diversidad vegetal y tienen más de 7 000 especies diferentes (por ejemplo, el maíz, *Zea*; sorgo, *Sorghum* y sus parientes).

En términos generales, ambas variantes de la vía C₄ se relacionan con la concentración de dióxido de carbono, espacial o temporal (Fig. 2.11). A ambas se les llama “mecanismos concentradores de CO₂” o CCM, por sus siglas en inglés.

Hay plantas que son capaces de hacer las vías C₃ y C₄ (como el copey, *Clusia*) y plantas que tienen variantes de la C₄ clásica y CAM (como la *Portulacaria*).

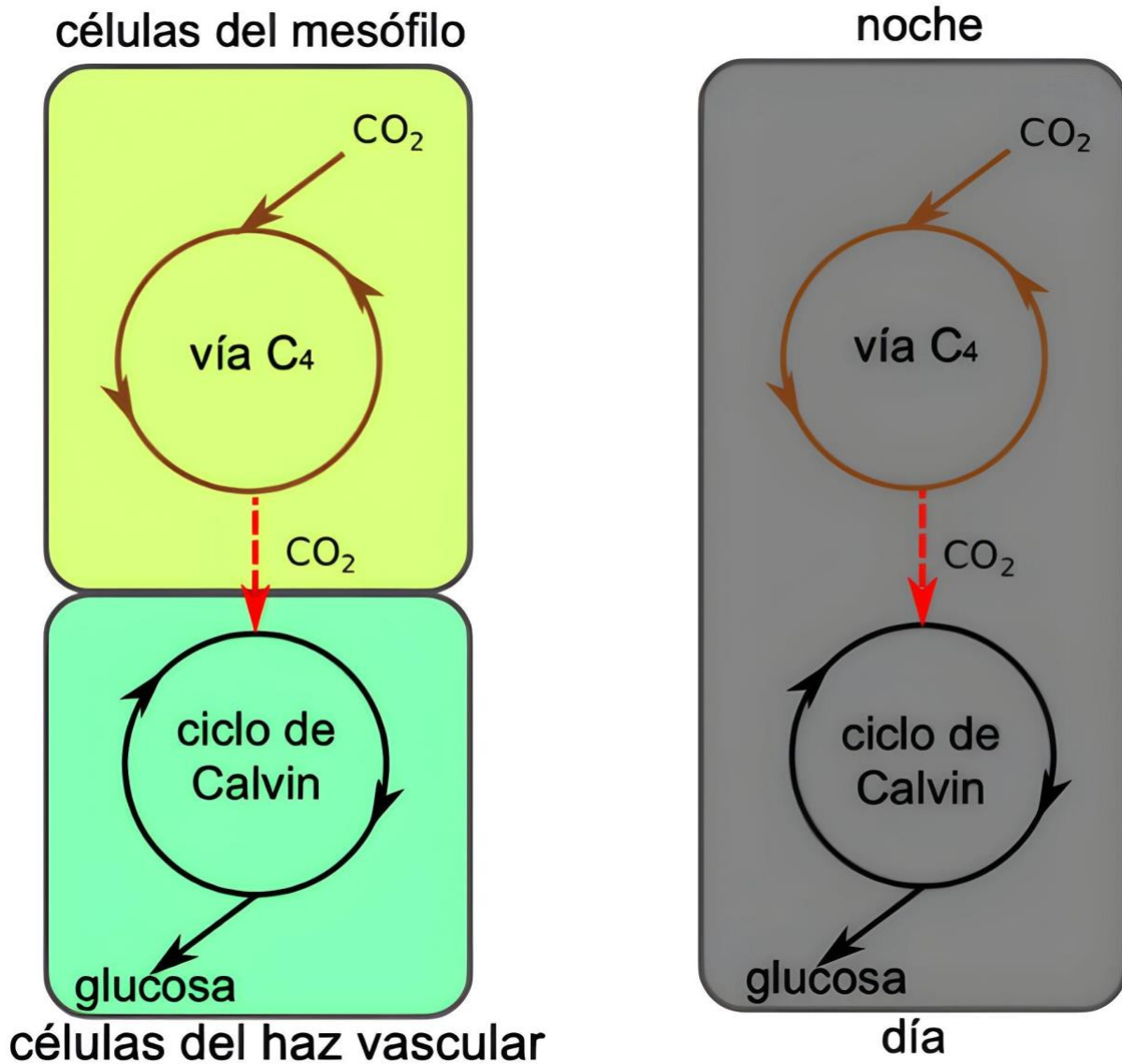
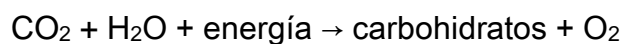


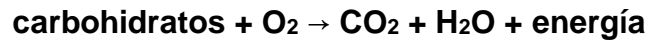
Figura 2.11. Plantas C₄ (izquierda) y plantas CAM (derecha).

2.5 Respiración verdadera

La idea equivocada más común sobre las plantas es que su único proceso metabólico relacionado con la energía es la fotosíntesis:



Sin embargo, como la mayoría de los eucariontes, las plantas tienen mitocondrias en sus células y usan respiración *aeróbica* (relacionado con el oxígeno) para obtener energía:



Normalmente, las plantas gastan mucho menos oxígeno cuando respiran que en la fotosíntesis. Sin embargo, en la noche las plantas hacen exactamente lo mismo que los animales ¡y solo hacen dióxido de carbono!

Capítulo 3

Simbiogénesis y la célula vegetal

3.1 Introducción a las células

En 1665, Robert Hooke miró un corcho a través de un microscopio y vio varias cavidades que llamó “células”. En 1838, Schleidern y Schwann declararon que (1) *todas las plantas y animales están compuestos de células* y que (2) *la célula es la unidad más básica (“átomo”) de la vida*. En 1858, Virchow declaró que (3) *todas las células surgen a partir de la reproducción de células anteriores (“Omnis cellula e cellula” en latín)*. Estas tres declaraciones se convirtieron en la base de la **teoría celular**.

El descubrimiento de las células está conectado estrechamente con el desarrollo de la microscopía. Hoy en día, básicamente hay tres tipos de microscopía: microscopía de luz, microscopía electrónica de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés) y microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés). Los microscopios de luz usan luz normal y pueden aumentar cosas transparentes 1 000 veces. Los microscopios electrónicos de transmisión entregan una vista más detallada de la organización interna de las células y los organelos. Utilizan un rayo electrónico que destruye objetos a medida que atraviesa. Además, cuando se realiza un análisis utilizando un TEM, a menudo los objetos pasan por una tinción con metales pesados como el osmio y para los SEM, con oro lo que es altamente reflectante para los rayos electrónicos. Un TEM puede aumentar cosas 10 000 000 de veces. Los microscopios electrónicos de barridos muestran una imagen de la superficie de las células y de los organismos ya que usan rayos electrónicos reflejados. Pueden aumentar cosas 1 000 000 de veces. ¡Es posible ver átomos en estas fotografías!

La célula mínima debería tener tres cosas: un aparato sintetizador de proteínas (de ADN a ARN y proteínas), un espacio designado para todas las otras reacciones químicas (citoplasma que parece jalea) y una capa grasosa que separa las células de su ambiente (membrana).

Esto es como una jalea de frutas cubierta con una capa delgada de mantequilla; los “pedazos de fruta” son las partes sintetizadoras de proteína.

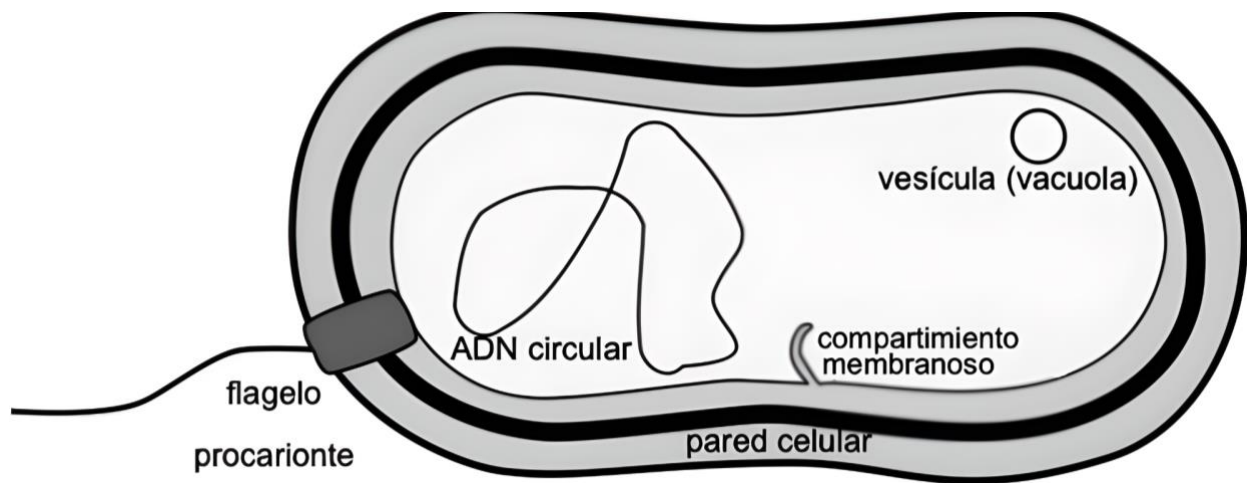


Figura 3.1. Célula procarionte.

La membrana plasmática de todas las células tiene dos capas. Una parte final de cada capa es polar e hidrófila mientras que la otra es hidrofóbica. Estas capas están hechas de **fosfolípidos** las que son similares a los lípidos comunes pero tienen una cabeza polar con ácido fosfórico y dos colas apolares e hidrofóbicas (Fig. 3.2). Además de los fosfolípidos, la membrana contiene otros lípidos incrustados tales como el colesterol (solo en células animales) y la clorofila (en algunas membranas vegetales) y las proteínas y los carbohidratos. Las proteínas son extremadamente importantes ya que sin ellas, la membrana no permite que pasen ni moléculas hidrófilas grandes ni iones.

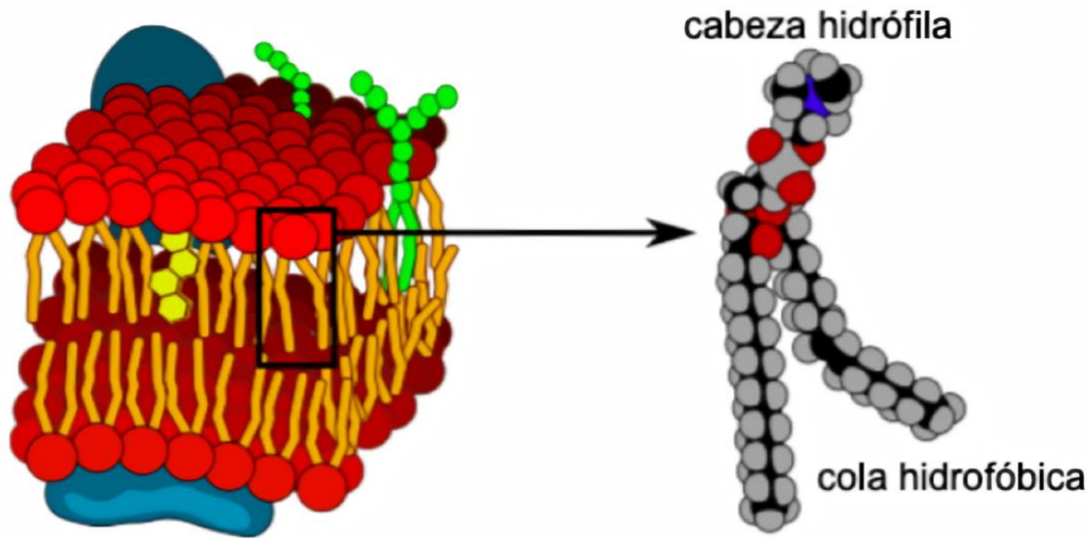


Figura 3.2. Membrana y fosfolípidos.

A las células que tienen ADN en un núcleo unido a la membrana se les conoce como **eucariontes**, mientras que a las que no tienen esta unión se les llama **procariontes**. El ADN de las células procariontes está rodeado por el citoplasma. Algunas también tienen flagelos procariontes (estructura de la proteína que rota), pared celular, vesículas y pliegues de la membrana (Fig. 3.1). Las células eucariontes tienen su ADN en un núcleo que lo separa del citoplasma.

Hay muchas otras partes de la célula eucarionte (Fig. 3.5). El núcleo de la célula contiene ADN y proteínas. Los nucleolos están en el nucleoplasma, donde se ensamblan los ARN ribosomal. Los ribosomas, que se encuentran en el citoplasma, ayudan a sintetizar las proteínas. Las proteínas se sintetizan, empaquetan y transportan en el **retículo endoplasmático** (RE), que se ubica generalmente cerca del borde de la célula. En muchas células, el RE está conectado con la membrana del núcleo. El **aparato de Golgi** manda las proteínas y otras sustancias a la parte de la célula donde necesitan ir. Las células eucariontes deben tener **mitocondrias** y pueden tener **cloroplastos**, ambos creados a través de simbiogénesis (véase a continuación). Las mitocondrias están cubiertas por dos membranas, la membrana interna tiene repliegues llamados **crestas**. Las mitocondrias descomponen moléculas orgánicas que se convierten en dióxido de carbono y agua en un proceso conocido como **fosforilación oxidativa**.

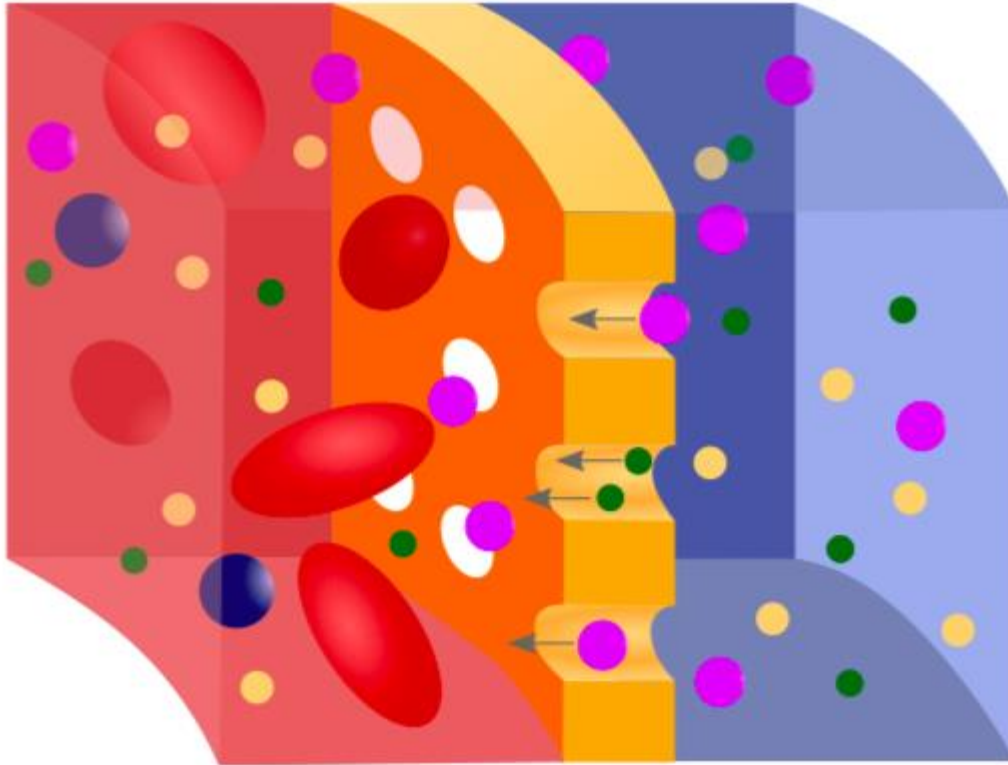


Figura 3.3. Membrana semipermeable. Cómo funciona: las moléculas “rojas” grandes son más grandes que los poros, por lo tanto, no se les permite entrar. Otras moléculas son más pequeñas que los poros y se les permite equilibrar sus concentraciones que son siempre *inferiores* en lugares donde hay moléculas “rojas” presentes. Es por esto que transitan de derecha a izquierda y no en sentido contrario.

Las membranas celulares son semipermeables (Fig. 3.3), estas permiten que ciertas moléculas (generalmente pequeñas o apolares) puedan pasar, sin embargo, existen otras (grandes o polares) que se mantendrán fuera o dentro para siempre, o hasta que un poro en específico se abra. El agua continuamente “busca” equilibrar concentraciones en ambos lados de la membrana y las moléculas de agua normalmente circulan a través de la membrana hacia donde la concentración de otras moléculas (solutos, ácidos) sea más alta (y, de manera natural, la concentración del agua sea *más baja*). Esto se conoce como **ósmosis**.

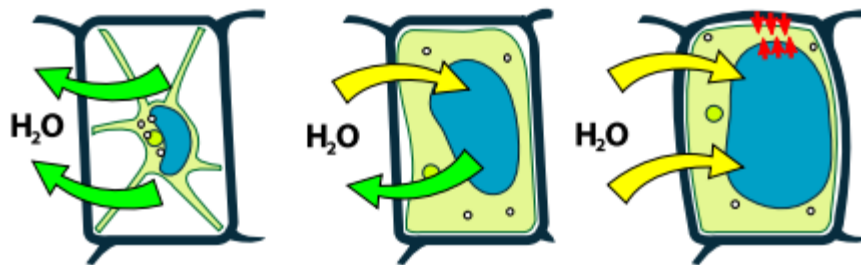


Figura 3.4. La ósmosis en (de izquierda a derecha) medios hipertónicos (sal alta) isotónicos e hipotónicos (sal baja). El color azul es la vacuola. Las flechas rojas en la imagen derecha muestran la presión de turgencia combinada de la vacuola y de la pared celular.

La pared celular (común en plantas y hongos) rodea la célula y limita la cantidad que esta podrá expandirse debido a la ósmosis (Fig. 3.4). Puesto que la ósmosis puede resultar en una expansión incontrolable de la célula, aquellas sin paredes celulares deberán encontrar una manera de expulsar el exceso de agua. La(s) **vacuola(s)** es la vesícula más grande, la cual puede llevar a cabo una variedad de cosas por la célula, por ejemplo, almacenar nutrientes, acumular iones o convertirse en un sitio para conservar residuos. Desempeña un papel importante en la turgencia (Fig. 3.4).

3.2 Mitocondria y cloroplastos

Para alejarse de la competencia, las células que eran procariontes se agrandaron. Para facilitar la comunicación entre todas las partes de esta gran célula, estas desarrollaron movilidad citoplasmática utilizando la proteína *actina*. A su vez, esta movilidad da como resultado la adquisición de la **fagocitosis**, esto es cuando una célula grande cambia su forma y puede tragarse (“comer”) otra célula. De esta manera, las células que eran comúnmente la presa ahora se convierten en un predador. Estos predadores capturan a sus presas al hacer fagocitosis y al digerir bacteria en los *lisosomas*, los cuales utilizan enzimas que destruyen los componentes citoplasmáticos de las células bacterianas.

El resultado de la amenaza de los predadores en las células aumentó aún más y estas células necesitarán un mejor suministro de ATP. Algunas presas no fueron digeridas y resultaron ser útiles al proveer ATP. Por supuesto, ¡las células predadoras deberían además inventar un transporte adecuado a través de la doble membrana creada! Debido a

la selección natural, aquellas presas, que eran bacterias púrpuras, se convirtieron en la mitocondria de la célula. Esto se conoce como **simbiogénesis** o la formación de dos organismos independientes en un solo organismo (Fig. 3.6).

Otro resultado de una célula grande (las células eucariontes generalmente tienen entre 10 a 100 capas más que una procarionte) es que el tamaño del ADN aumentará y para contenerlo, la célula creará un núcleo. Además, las nuevas células predadoras deben prevenir que los organismos alienígenas transfieran sus genes, lo que retrasará la evolución.

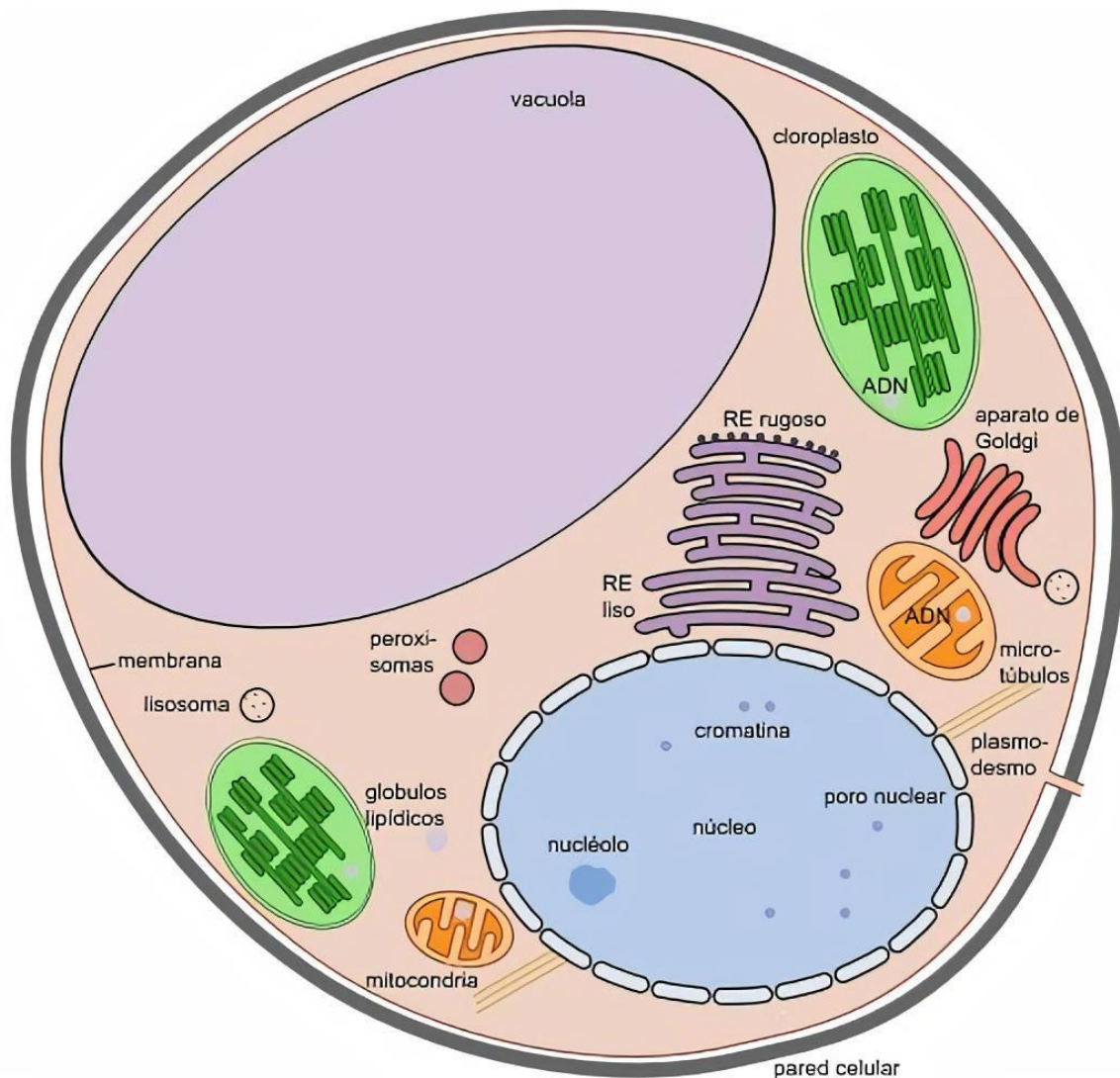


Figura 3.5. Vista esquemática de una célula eucarionte (planta₁).

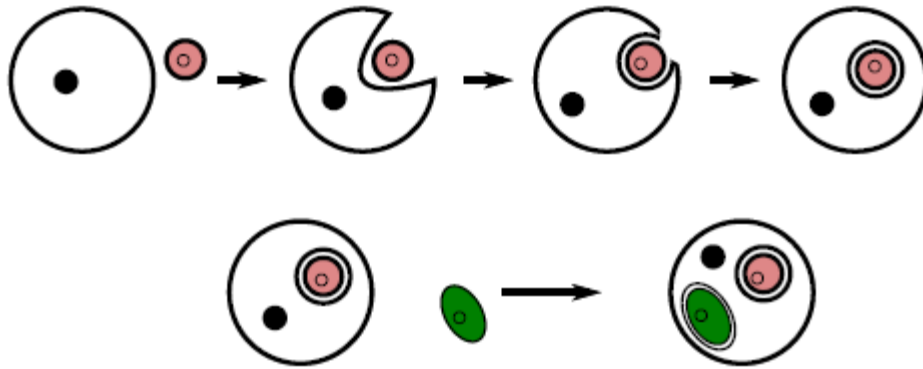


Figura 3.6. Origen simbiogenético de la célula eucarionte (primera fila) y de la célula alga (segunda fila).

La otra razón de esto es que el núcleo protege el ADN al contenerlo; en el caso de que un virus ADN entre a la célula y trate de copiar su ADN, la célula eucarionte destruye inmediatamente cualquier ADN que se encuentre en el citoplasma. Otro motivo para crear núcleos es la presión de los antibióticos: los núcleos mejoran el aislamiento de estos químicos dañinos. La formación de núcleos y la simbiogénesis guió a las células a convertirse en eucariontes.

Para llamarse eucarionte, es más importante tener fagocitosis y mitocondria que núcleo, debido a que (1) no siempre existen los núcleos, pueden desaparecer durante la división de la célula y (2) algunas procariontes (planctobacteria) además tienen compartimientos membranosos que contienen ADN.

Luego, algunas eucariontes también capturaron cianobacteria (u otra eucarionte fotosintética), que se convirtió en cloroplasto. Estos protistas fotosintéticos se conocen como **alga**.

Después de todo, las células eucariontes son “células de segundo nivel”, ya que, están hechas de múltiples células. Las células de todo organismo eucarionte tienen dos genomas, el nuclear, por lo general tiene un origen biparental mientras que el genoma mitocondrial normalmente se produce solo de la madre. Las células vegetales, por otro lado, tienen *tres genomas* y el genoma cloroplasto a menudo también se hereda de la madre.

Los cloroplastos sintetizan compuestos orgánicos mientras que la mitocondria produce la mayoría del ATP citoplasmático. Ambos organelos están cubiertos con dos membranas y contienen ADN circular y ribosomas parecidos a bacterias. Los cloroplastos tienen tilacoides o compartimientos membranosos internos y vesículas. Los tilacoides de los cloroplastos pueden ser largos (**lamela**) o cortos y apilados (**grana**). Por otro lado, la mitocondria podría ramificarse e interconectarse.

Los cloroplastos por lo general son verdes por la clorofila, la que convierte la energía luminosa en energía química. Algunos cloroplastos pierden clorofila y se tornan transparentes, “blancos”, se conocen como **leucoplastos**. Otros cloroplastos pueden ser rojos o anaranjados (**cromoplastos**), ya que son ricos en carotenos y xantofilas. Estos pigmentos facilitan la fotosíntesis y son directamente responsables por los colores de las hojas en otoño. Como el almidón es una manera más compacta para almacenar energía que la glucosa, los cloroplastos guardan carbohidratos como granos de almidón. Los **amiloplastos** transparentes contienen grandes gránulos de almidón. Los tejidos almacenados del tubérculo de la papa, las raíces de zanahoria, las raíces de camote y las semillas de gramíneas son ejemplos de tejidos ricos en amiloplastos.

El que tengan cloroplastos y pared celular no significa que estén conectados directamente, sin embargo, casi todos los organismos con cloroplastos también tienen paredes celulares. Probablemente, esto es porque la pared celular no facilita la motilidad celular y para aquellos protistas que ya tienen pared celular, conseguir cloroplastos será una buena manera de salir de la competencia contra los seres organotrofos.

3.3 Pared celular, vacuolas y plasmodesmos

Entre las células eucariontes, las más grandes son las células vegetales. Algunas de ellas (por ejemplo, células de pimentón verde y de pomelo) se logran visibilizar a simple vista. Las células vegetales no tienen citoesqueletos internos bien desarrollados, sin embargo, la **pared celular** provee una de manera externa. Existen dos tipos (o más bien, dos etapas de desarrollo) de paredes celulares, la **primaria** y la **secundaria**. La pared celular primaria es normalmente flexible, a menudo delgada y hecha de celulosa, distintos carbohidratos y proteínas. La pared celular secundaria también contiene **lignina** y **suberina** altamente hidrofóbica. Estos químicos bloquean completamente el intercambio entre la célula y el

ambiente, lo que significa que la célula con pared secundaria morirá rápidamente. Las células muertas aún pueden ser útiles para las plantas de muchas maneras, por ejemplo, como defensa en contra de herbívoros, como apoyo y para transportar agua. De hecho, más del 90% de la madera está muerta.

Ya que toda célula vegetal está rodeada de una pared celular, estas necesitan una manera específica para comunicarse. Esto se logra a través del **plasmodesmo**, puentes citoplasmáticos de textura delgada que se encuentran entre las paredes vecinas. Se determina a un **simplasto** como un continuo citoplasma dentro de la célula. Un **apoplasto** se conforma de paredes celulares y del espacio fuera de la célula donde ocurren actividades metabólicas importantes y procesos de comunicación entre sustancias. Ambas son importantes para el transporte de nutrientes que necesita la célula (Fig. 3.7).

Si las células están rodeadas por concentraciones más pequeñas de sales que en el citoplasma, el agua circulará hacia la célula. Este proceso se llama **ósmosis**. En las células vegetales, la mayoría del agua que tiene químicos diluidos se concentra en la vacuola(s). La presión de **turgencia** es la combinación entre la presión de la pared celular y las vacuolas que soporta la forma de la célula (Fig. 3.4).

Puede que se imaginen al tejido vegetal como cajas de cartón apiladas, donde cada caja está hecha de papel de cartón mojado (pared celular), excepto que tiene un globo inflado

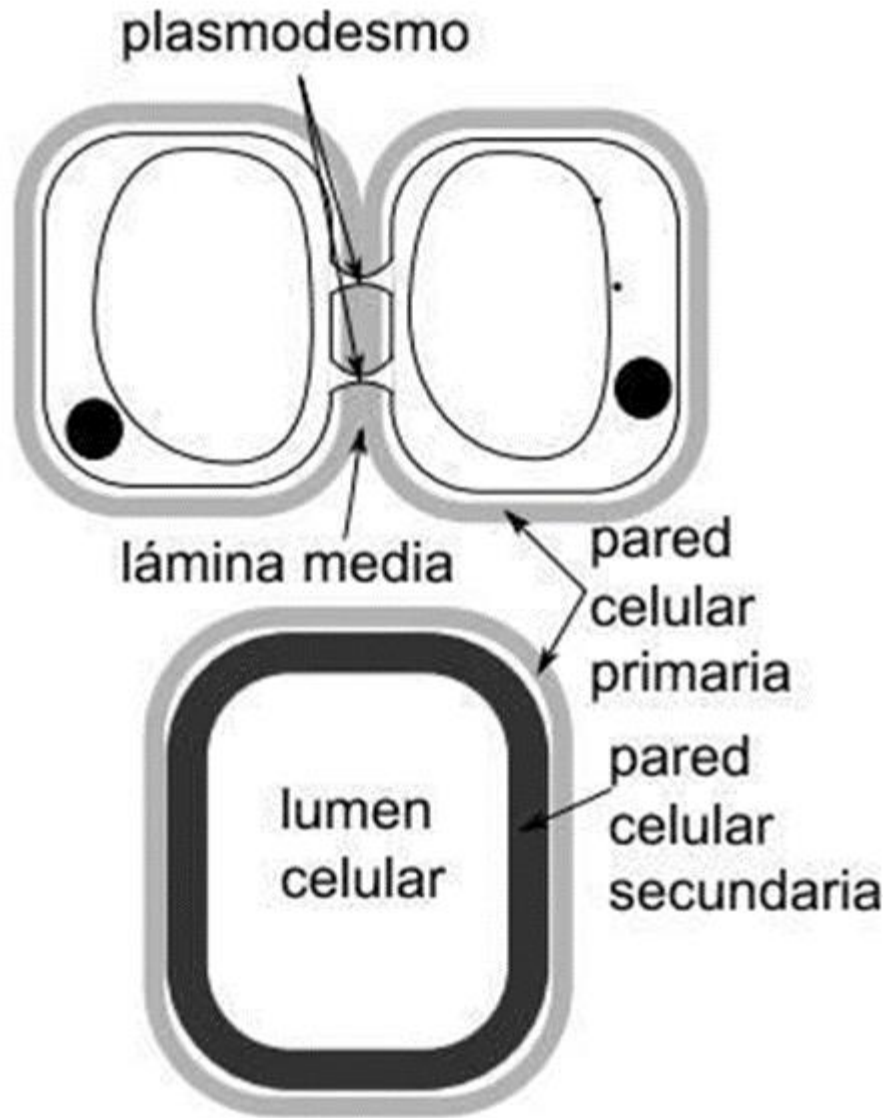


Figura 3.7. Células vivas con paredes celulares primarias (superior) y células muertas con paredes celulares primarias y secundarias (inferior). El apoplasto está de color gris oscuro, el simplasto con puntos.

(vacuola) por dentro y cuando la presión de la vacuola disminuye (falta de agua), los órganos vegetales caen. Por favor, véase video http://ashipunov.info/shipunov/school/biol_154/mov/balloon.mp4 para entender esto de mejor manera.

* * *

Al compararlas con las células animales, las células vegetales tienen cloroplastos, vacuolas, paredes celulares y plasmodesmos, sin embargo estos apenas tienen algo de fagocitosis y de citoesqueletos puros (Fig 3.8). Estos son fáciles de explicar: los animales no hacen fotosíntesis (no tienen cloroplastos), en cambio, ellos necesitan moverse rápidamente (no tienen pared celular ni plasmodesmo); los animales soportarán la forma de la célula de un citoesqueleto (no se necesita el sistema de turgencia y vacuola) y utilizará bombas moleculares para igualar la ósmosis.

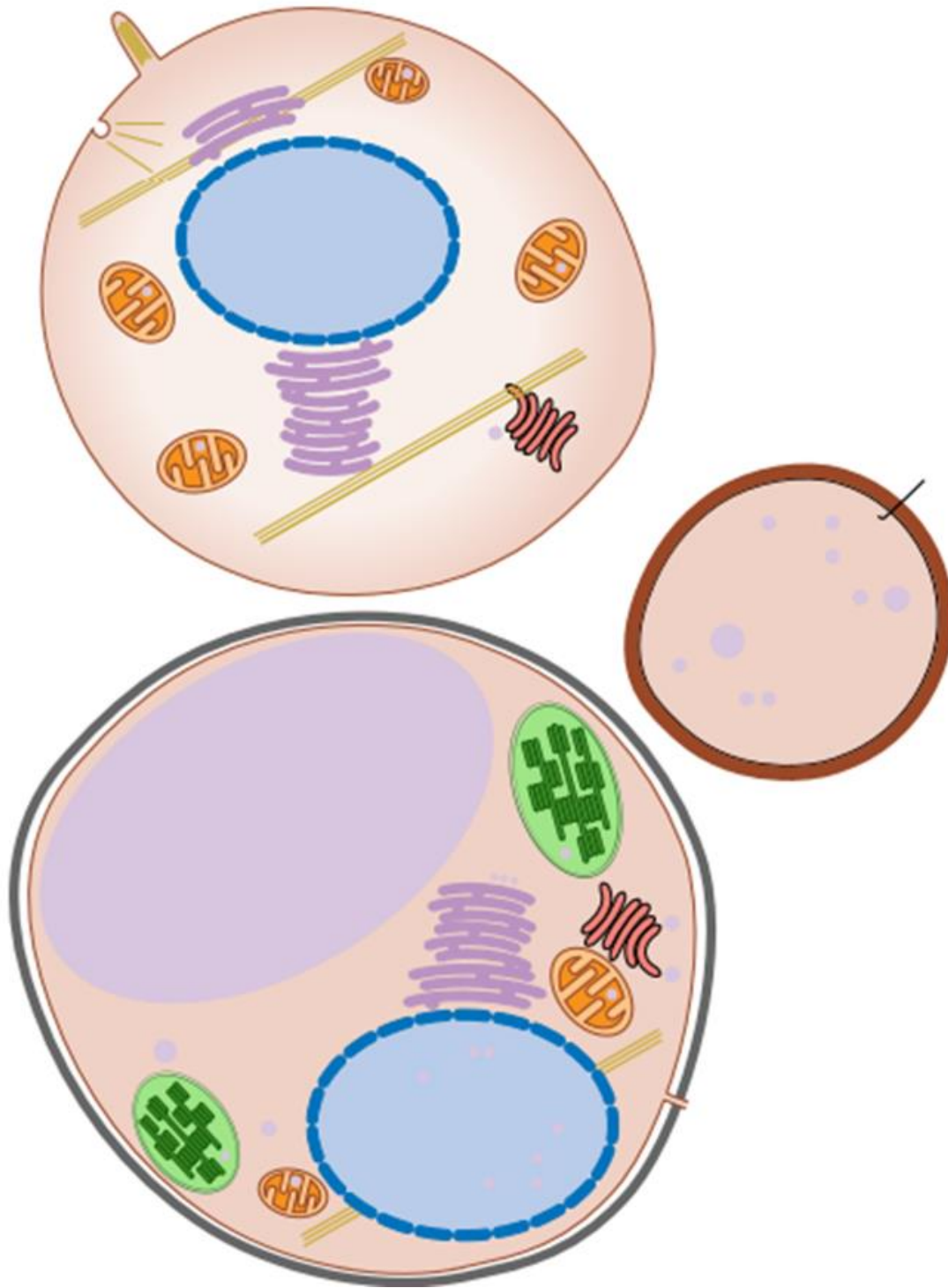


Figura 3.8 Célula animal, bacterial y vegetal.

3.4 Otras partes de la célula

3.4.1 Síntesis de proteínas: desde el núcleo hasta los ribosomas

El dogma central de la biología molecular indica que el ADN se convertirá en ARN en un proceso que se conoce como **transcripción** y el ARN se convertirá en proteína en un proceso conocido como **traducción**. La traducción es reversible, en cambio, la transcripción puede revertirse: estos son virus, tales como el VIH, que pueden crear ADN a partir de ARN con la enzima *transcriptasa inversa*.

La envoltura nuclear es una fabricación de la doble membrana. Las membranas internas y externas de la envoltura nuclear se conectan a poros ya formados, los que son estructuras complejas que controlan el desplazamiento entre el núcleo y el citoplasma. Dentro de la envoltura nuclear existe el nucleoplasma.

El nucleoplasma contiene cromatina (cromosomas). Los **cromosomas** almacenan información genética en la forma de moléculas de ADN. Cada cromosoma consiste en una cadena de nucleosomas, las que son largas moléculas de ADN condensadas y sus proteínas de **histona** asociada. La cromatina es solo otro sinónimo para los cromosomas no condensados. Las partes visibles de la cromatina (glóbulos, filamentos) corresponden al ADN no funcional.

Los **ribosomas**, que son partículas que contienen ARN y proteínas, sintetizan proteínas. El **retículo endoplasmático rugoso (RER)** tiene ribosomas alrededor de su superficie y las proteínas que producen son secretadas o incorporadas a las membranas de la célula. El **aparato de Golgi (AG)** está formado por sacos membranosos que son aplanados y apilados, este modifica, empaqueta y clasifica proteínas y carbohidratos para la célula; este no es un componente esencial de la célula.

3.4.2 Otras vesículas

Las células vegetales a menudo tienen vesículas pequeñas: los **lisosomas**, que digieren materia orgánica y los **peroxisomas** que, dentro de otras funciones, ayudan en la fotosíntesis (véase anteriormente). Además, muchas células vegetales acumulan lípidos como gotas de aceite que se encuentran directamente en el citoplasma.

3.4.3 Esqueleto celular

El esqueleto celular es una colección de filamentos proteicos dentro del citoplasma. Los **microtúbulos** son organelos claves en la división celular, estos forman la base para los cilios y flagelos y son guías para la construcción de la pared celular. Las fibras de celulosa son paralelas debido a los microtúbulos. El movimiento en estos se basa en la interacción de tubulina y cinesina. En cambio, el movimiento de los **microfilamentos** se basa en la interacción de actina y miosina. Los microfilamentos guían el movimiento de los organelos dentro de la célula.

Capítulo 4

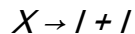
Pluricelularidad, el ciclo celular y el ciclo vital

4.1 Mitosis y el ciclo celular

La **mitosis** es un proceso de división celular equitativa, en el que cada una de las nuevas células recibe el mismo número de cromosomas que la célula original. Este proceso no cambia el genotipo de las células, el objetivo es distribuir por igual el material genético previamente combinado. De hecho, la mitosis es un tipo de **cariocinesis** o división del núcleo, a diferencia de la **citocinesis** que es la división de la célula entera. La cariocinesis y la citocinesis son partes del *ciclo celular* (Fig. 4.3).

Todos los procariontes (Monera) tienen una simple división celular llamada “fisión binaria”. El ADN duplica (replicación), segrega y luego divide la célula en dos (Fig. 4.1).

Los eucariontes tienen mucho más ADN que los procariontes. Es por esto que su división celular es más complicada. Este proceso se compone de cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase. La **profase** es la más larga, el núcleo se desintegra (excepto algunos protistas como el fungi) y el ADN se superenrolla para formar cromosomas (“se archiva”). En la **metafase**, los cromosomas entran al ecuador de la célula y todos los cromosomas “dobles”, “tipo X” se dividen en dos mitades que, de manera esquemática, se pueden representar como



En la **anafase**, los microtúbulos mueven estos cromosomas / a diferentes polos de la célula. En la **telofase**, el retículo endoplasmático formará compartimentos nucleares y el ADN se desenrolla (Fig. 4.2).

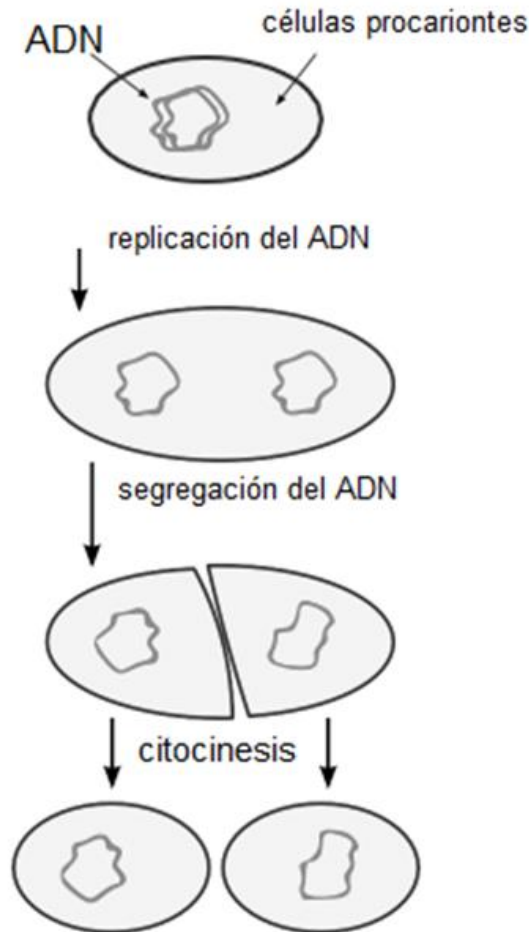


Figura 4.1. Fisión binaria de las procariontes.

Cuando termina la mitosis, las células comienzan a dividirse (citocinesis). Las células de las plantas² usan las vesículas para formar el borde mientras que muchos protistas y animales forman una constricción que finalmente separa dos células. Por lo general, los cloroplastos y las mitocondrias se distribuyen de la misma manera entre las células hijas junto con el otro contenido de la célula, estos también se pueden dividir independientemente de una manera “bacterial” (fisión binaria).

La mitosis es la parte del gran **ciclo celular** (Fig. 4.3). El ciclo celular incluye la **fase presíntesis, fase de síntesis, fase postsíntesis** (son parte de la **interfase**), cariocinesis (= mitosis) y finalmente citocinesis. Además de la mitosis y citocinesis, la fase más importante del ciclo celular es la **fase de síntesis (fase S)** en la que todas las moléculas de ADN (cromosomas desenrollados) se duplican:

$$I \rightarrow X$$

Para simplificar la comprensión de estas numerosas fases, se podría usar el siguiente esquema. El ciclo celular aquí tiene tres fases principales y la mitosis tiene cuatro subfases:

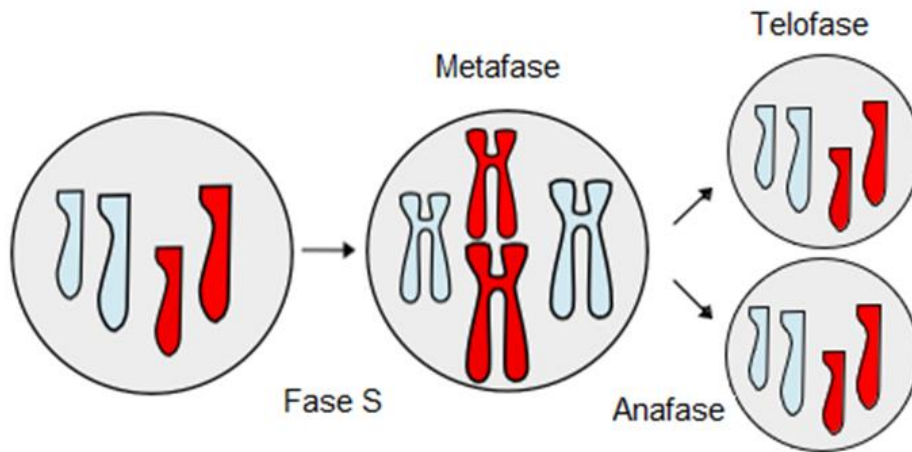
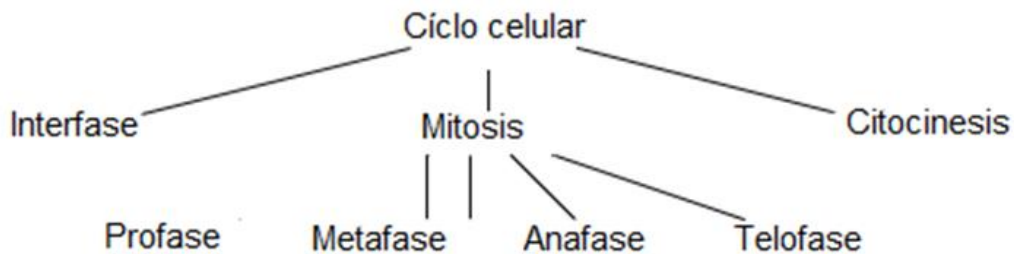


Figura 4.2. Esquema principal de la mitosis.



4.2. Singamia y meiosis

4.2.1 Proceso sexual y singamia

El proceso sexual es importante para la supervivencia de una especie. En primer lugar, hace que la población sea más diversa lo que permite más flexibilidad para adaptarse por medio de la **selección natural**, esto quiere decir que todos los organismos son diferentes, pero, si cambian las condiciones ambientales, solo los más adaptados sobrevivirán. Si la población es uniforme, tiene menos posibilidades de supervivencia. En segundo lugar, previene que las mutaciones letales sean heredadas a la descendencia porque aquellas

que reciban estas alteraciones morirán en lugar de pasar sus genes. Esto ocurre cuando el gen mutado está duplicado o solo en el genotipo.

(**Genotipo** es el que contiene el gen de un organismo. Un **gen** es una parte del ADN que es equivalente a una proteína. Una **mutación** es un “error” en el ADN. Una proteína (muchas de ellas son enzimas) está hecha de aminoácidos unidos entre sí. Una **población** es un grupo de organismos que potencialmente podrán reproducirse entre sí y no tendrán barreras de aislamiento.)

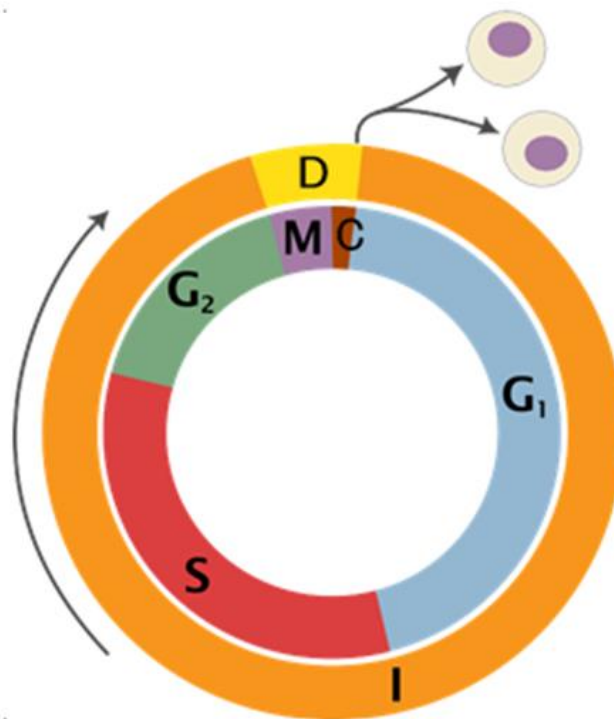
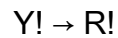


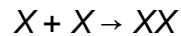
Figura 4.3. Ciclo celular: interfase I, división celular D, fase de presíntesis G₁, fase de síntesis S, fase postsíntesis G₂, mitosis (cariocinesis) M, citocinesis C.

Para hacer que las poblaciones sean más diversas, los organismos necesitan intercambiar ADN. Una forma en la que la célula intercambia genes es a través de la singamia. La **singamia** (a menudo designada como “Y!”) es la fusión de dos células, que resulta en una que tiene el doble de cromosomas. Las dos células que se fusionan se llaman **gametos** y la célula resultante se llama **cigoto**. La meta está en la renovación del material genético. Las nuevas células tienen un genotipo distinto al de los gametos. La singamia continua

aumentará la cantidad de ADN, así que las células usan la meiosis (a menudo designada como “R!”) para balancear este efecto secundario de la singamia:



La singamia resulta en una célula diploide:



En los organismos **diploides**, los cromosomas forman pares (estos se conocen como **homólogos**), mientras que en los organismos **haploides** se mantienen solos:

Hay tres tipos de singamia (Fig. 4.4): isogamia, heterogamia y oogamia. La **isogamia** ocurre cuando los gametos que se fusionan son similares. Para evitar la autofertilización deben tener un sistema avanzado de reconocimiento. Los diferentes genotipos (tipos de apareamiento) se reconocen entre sí con la ayuda de proteínas de superficie como células del sistema inmune.

La **heterogamia** es cuando los gametos son de dos tamaños distintos. Esta diferencia hace que el reconocimiento sea más fácil, pero más importante es la *división del trabajo*: la **hembra** es más grande porque tiene recursos para cuidar al descendiente, mientras que los **machos** son más pequeños y pueden aumentar en número para permitir la competencia y que la fertilización se vuelva más posible.

La **oogamia** es cuando los gametos tienen también distinta movilidad. En este proceso, la hembra no móvil se conoce como **ovocito** y el macho flagelado como **espermatozoide** que es el único gameto móvil. En algunos organismos (algas rojas, esponjas, crustáceos, la mayoría de las plantas con semilla), el espermatozoide se vuelve **spermatium** no móvil que necesita agentes externos para movilizarlo. Ambos se llaman **esperma**.

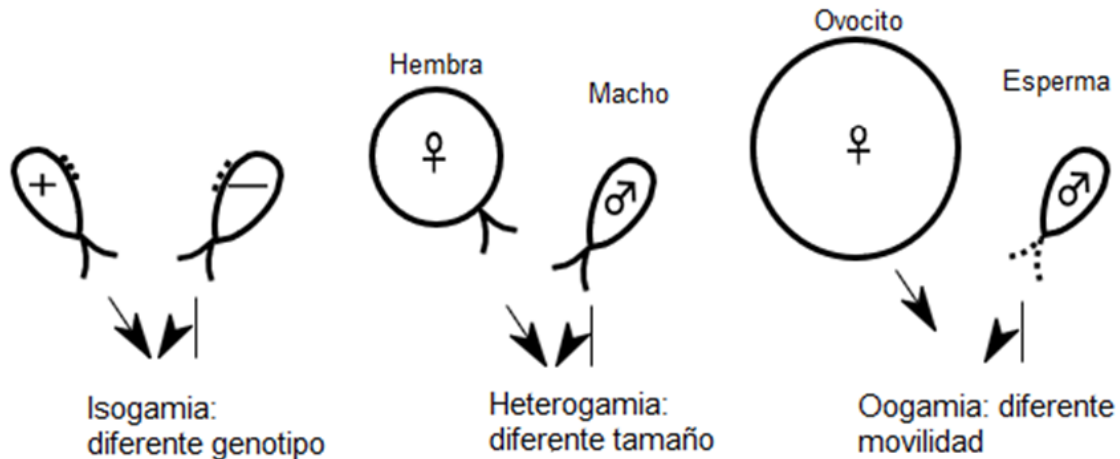


Figura 4.4. Tres tipos de singamia.

4.2.2 Meiosis

La singamia es la manera en que los organismos se vuelven más diversos genéticamente, pero como aumenta la cantidad de cromosomas se necesita balancear a través de la meiosis. Esta reduce el número de cromosomas, los recombina y permite que intercambien su material genético.

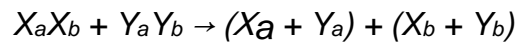
La meiosis es una forma reductiva de división celular en la que cada una de las nuevas células recibe la mitad de los cromosomas de la original. A diferencia de la mitosis, la meiosis no cambia el genotipo porque los cromosomas se recombinan y también intercambian su material genético. Otra diferencia es que, en la mitosis, la **ploidía** (“dualidad” de cromosomas) se mantiene constante, mientras que en la meiosis se divide a la mitad.

Existen dos problemas relacionados con la meiosis: en primer lugar, cómo descubrir cuáles cromosomas son homólogos y, en segundo lugar, cómo dividir cromosomas que ya fueron duplicados en la fase S. El primer problema se resuelve al “pegar” los cromosomas homólogos; esto ocurre porque cadenas similares de ADN se pueden unir la una a la otra. El segundo problema a menudo se resuelve con la segunda fase de la meiosis que es bastante similar a la mitosis corriente.

La meiosis se compone de dos fases: una división reductiva (meiosis I, singular) y una división equitativa (meiosis II, similar a la mitosis). Cada una de estas fases se dividen en profase, metafase, anafase y telofase.

En la profase I, los cromosomas se *conjugan* (hacen **sinapsis**) y comienzan a intercambiar ADN (cruzarse).

En la anafase I, los cromosomas de cada par se *irán de manera independiente a distintos polos*. La *independencia* significa que, si nombramos a los cromosomas “madre” y “padre” como *a* y *b*, entonces hay dos posibles variantes:



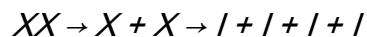
o



porque los cromosomas no reconocen cuál es del “padre” y cuál es de la “madre”.

La telofase I a menudo fluye a profase II. Esta segunda división de la meiosis es bastante similar a la mitosis *sin la fase de síntesis* antes. Frecuentemente, los núcleos no se forman hasta la telofase II (Fig. 4.5).

En la primera división, la célula necesita separar pares de homólogos para reducir la ploidía. La segunda división de la meiosis es necesaria porque el ADN ya fue duplicado en la fase de síntesis del ciclo celular. En consecuencia, cada cromosoma *X* requiere dividirse en dos cromosomas *I*.



Es por esto que hay *dos divisiones* y *cuatro células* al final (sin embargo, a veces solo una de estas cuatro sobrevive). Si el ADN no se ha duplicado antes, es posible que la meiosis ocurra en una fase en lugar de dos. Este tipo de meiosis ocurre en algunos protistas. La meiosis invertida, que es cuando la división reductiva es la segunda e igual a la primera,

es poco usual pero también existe en la naturaleza (por ejemplo, en algunos juncos, insectos y mariposas).

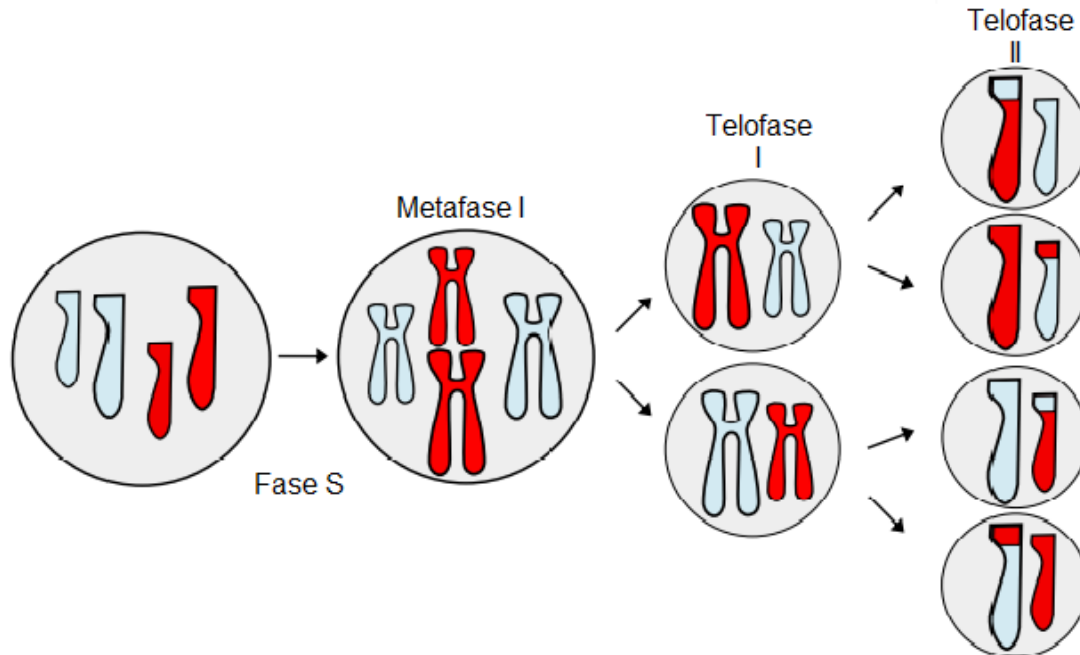


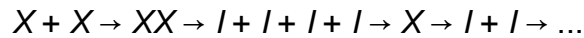
Figura 4.5. Esquema principal de la meiosis. Solo se muestra una de las dos variantes de la telofase I.

Es posible que la meiosis no funcione de la manera correcta, debido a esto la célula recibe el doble de cromosomas. Si esa célula es fecundada, el cigoto resultante tendrá tres conjuntos de cromosomas. Las células con más de dos conjuntos de cromosomas se llaman **poliploides**. Raramente, solo algunos pares de cromosomas no quieren dividirse. En este caso, después de la singamia, algunos cromosomas serán “triplicados” (**trisomía**). Esta es una **aneuploidía**, un ejemplo de esto es el síndrome de Down y es frecuente en humanos (1/800 nacimientos).

4.3 Ciclo de vida del eucarionte unicelular

El ciclo de vida de un organismo unicelular comienza con la singamia: una célula se une a otra que tiene un genotipo diferente. Para reconocerse entre sí, las células que se van a fusionar (**gametos**) a menudo usan proteínas de superficie, como las células de nuestro sistema inmune. Si estas proteínas son iguales (mismo genotipo), los gametos no se

fusionarán. Dos gametos fusionados forman un cigoto, un nuevo organismo diploide. Muchos protistas unicelulares utilizan a los cigotos como una etapa de invernada. Durante la primavera, el cigoto se divide gracias a la meiosis y cuatro **esporas** haploides crean cuatro nuevos organismos que se reproducen todo el verano mediante la mitosis (reproducción vegetativa, clonación):



A pesar de su simplicidad, este ciclo de vida tiene tres formas posibles de reproducción: **sexual** (cuando la ploidía se duplica: singamia), **asexual** (cuando la ploídía se reduce: la meiosis del cigoto) y **vegetativa** (cuando la ploídía no cambia: las divisiones mitóticas). Para marcar estas formas de reproducción, se usará la abreviación “R!” para la meiosis e “Y!” para la singamia (Fig. 4.6). Se debe señalar que antes de cualquier mitosis (y meiosis), el ADN celular se divide (fase S del ciclo celular).

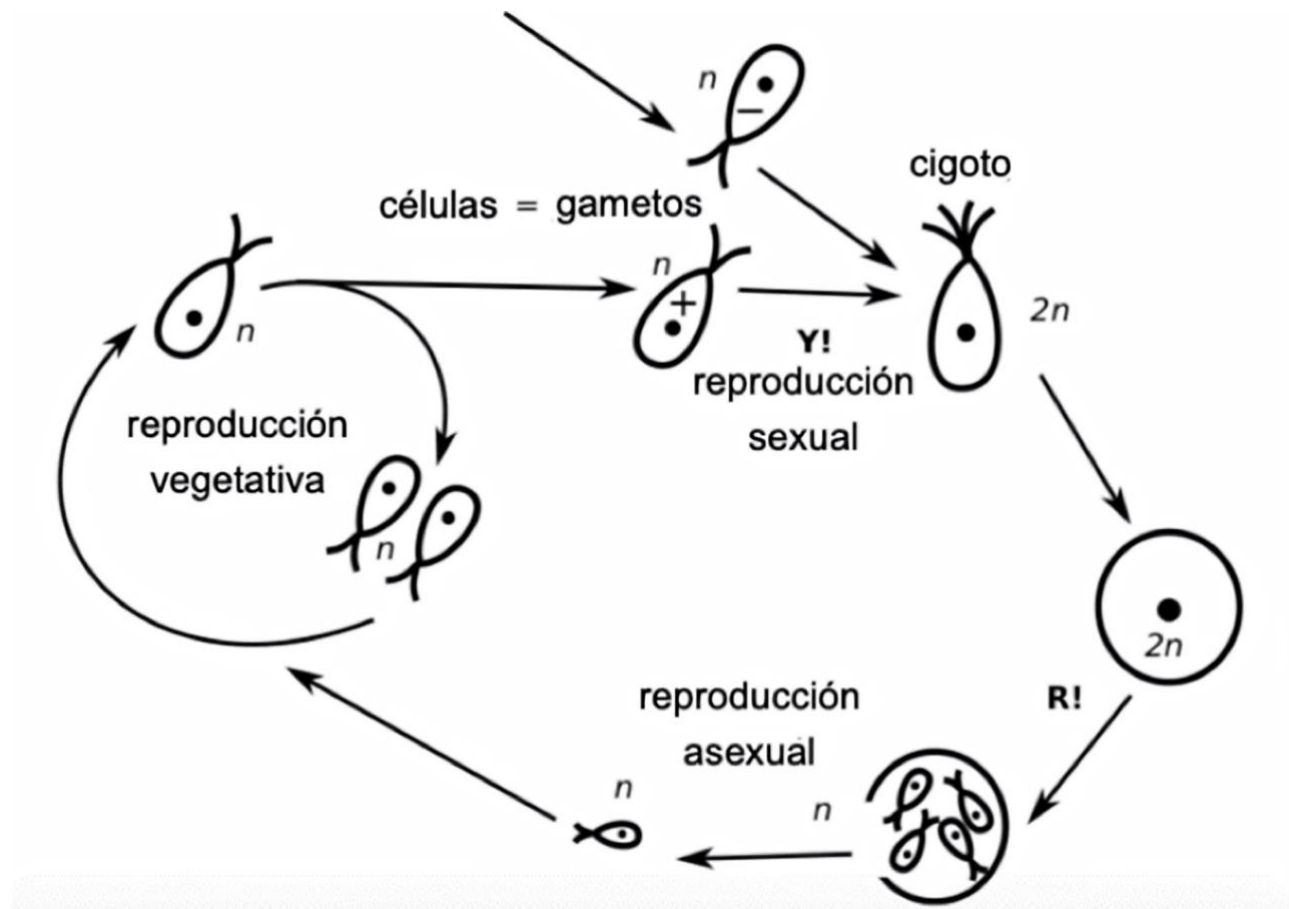


Figura 4.6. El ciclo de vida de un eucarionte unicelular.

4.4 Ciclo de vida del eucarionte pluricelular

4.4.1 Origen de la muerte

Las células no siempre se dividen después de la mitosis, a veces permanecen juntas para formar **organismos pluricelulares**. Esto aumenta su tamaño y, por lo tanto, forma una defensa contra los predadores. Desafortunadamente, no es posible incrementar de manera sencilla el tamaño de una célula ya que la célula realmente grande tendrá *menos superficie* (en relación al volumen). Debido a esto, tendrá varias dificultades para llevar a cabo procesos relacionados con la superficie celular como la fotosíntesis, la respiración, entre otros. Pero muchas células juntas harán una superficie lo suficientemente grande (Fig. 4.7). Los organismos pluricelulares tienen dos formas de crecimiento: ajustar su cuerpo y multiplicar células.

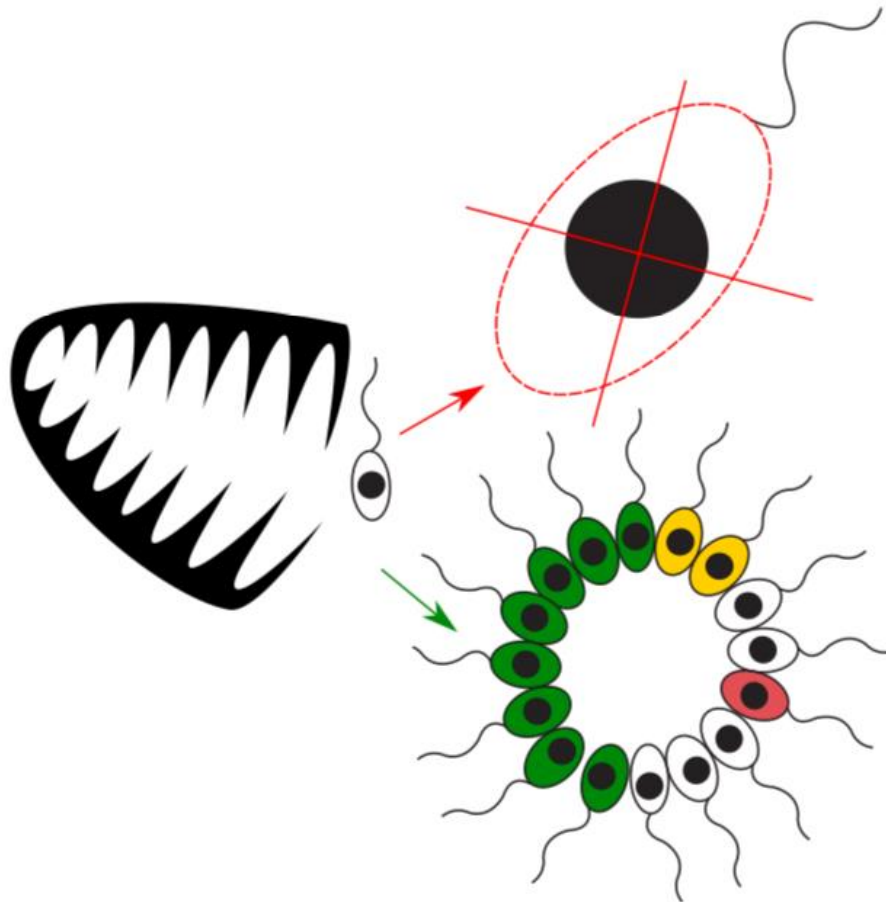


Figura 4.7. El origen de la pluricelularidad. No es viable solamente agrandar células, la superficie es demasiado pequeña. Pero si las células no se dividen después de la mitosis,

puede que formen un cuerpo que sea lo suficientemente grande para escapar de los predadores. Esto también proporciona una nueva forma de crecimiento y la posibilidad de la división del trabajo (células coloreadas).

La pluricelularidad permite que estas células también puedan dividir el trabajo y cooperar. Esto es sumamente importante para la futura evolución.

Las células en un organismo pluricelular no están conectadas para siempre. A veces, una o más escapan y forman un nuevo organismo. Este será una copia exacta (clon) del anterior (*reproducción vegetativa*). También es posible que cuando estas “células fugitivas” eligen una ruta diferente: se vuelven “delegadas sexuales”, *gametos*. El objetivo de todos los gametos es la singamia y estas células buscarán una pareja de la misma especie pero con otro genotipo. En cuanto a la heterogamia y la oogamia, es fácil reconocerlos puesto que los géneros entregarán una pista: el macho buscará a la hembra. En el caso de la isogamia, los gametos buscarán una pareja con proteínas de superficie diferentes. Cuando finalmente se juntan, aparece una célula diploide (cigoto). Puede ser que el cigoto inverne y luego se divida meióticamente. Este es el ciclo de vida más simple de un organismo pluricelular (Fig. 4.8), bastante similar al ciclo del organismo unicelular que se vio anteriormente.

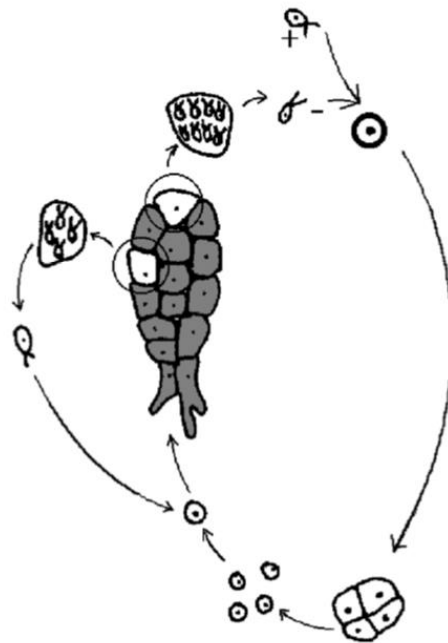


Figura 4.8. El ciclo de vida más antiguo de un organismo pluricelular. El cigoto no crece, se divide mitóticamente. Las células somáticas (gris) van a morir, solo las células germinales transfieren su ADN a las futuras generaciones.

Sin embargo, a menudo el cigoto comienza a crecer y a dividirse mitóticamente, con lo que se crea el organismo diploide. Hay dos razones para crear este organismo pluricelular a partir de un cigoto sin necesidad de meiosis: (a) porque puede y (b) porque es mejor el diploide. “Porque puede” puesto que el cigoto ya tiene un programa de ADN sobre cómo construir un organismo pluricelular. La razón de por qué el diploide es mejor se explicará en la siguiente sección.

Si un organismo pluricelular se conforma de células diploides ($2n$), usaremos el término neutral **diplonte**. Los organismos pluricelulares con células haploides (n) son **haplontes**.

Las “células fugitivas”, “delegadas sexuales” o células madre de los gametos que se mencionaron anteriormente son la primera etapa de la división del trabajo cuando las células se separan en dos tipos, **células germinales** y **células somáticas**. Las células somáticas son aquellas que con el tiempo morirán, mientras que las células germinales son capaces de tener descendencia. No es absolutamente necesario que los organismos pluricelulares tengan células germinales, pero la mayoría tiene líneas germinales bien separadas. Es por esto que el origen de la muerte está directamente conectado con esta separación: las células somáticas no son necesarias para las generaciones futuras. Los organismos unicelulares son potencialmente inmortales al igual que las células cancerosas que también escapan de los organismos (pero no pueden crear nuevas).

Se puede describir el ciclo de vida de los organismos pluricelulares comenzando desde el haplonte (Fig. 4.9). Cuando las condiciones ambientales son favorables, puede ocurrir la reproducción vegetativa. Una de sus variantes ocurre cuando la célula (**mitospora**) se separa de un haplonte, luego se divide en más células y se vuelve un nuevo haplonte. A veces, pedazos enteros se separan y forman nuevos haplontes. Cuando las condiciones cambian, puede que el haplonte comience la reproducción sexual: singamia. Durante este proceso, un gameto se separa del haplonte y se une a un gameto de otro haplonte. Juntos forman un cigoto. Este cigoto puede ir directo a la meiosis (al igual que las eucariontes unicelulares), pero se da con mayor frecuencia que el cigoto crezca, se divida

mitóticamente y que finalmente se convierta en un diplonte. Puede que este sea superficialmente casi idéntico al haplonte, pero cada una de sus células contiene un núcleo diploide (cada cromosoma tiene un par). Los diplontes (de manera similar a los haplontes) pueden reproducirse de forma vegetativa (hacer clones): las células se separan de un diplonte, luego se dividen mitóticamente en más células y se vuelven un nuevo diplonte.

El diplonte también es capaz de realizar reproducción asexual: puede haber una célula que se separe del diplonte y se divida a través de la *meiosis* lo que crea cuatro esporas, las que se volverán *haplontes*.

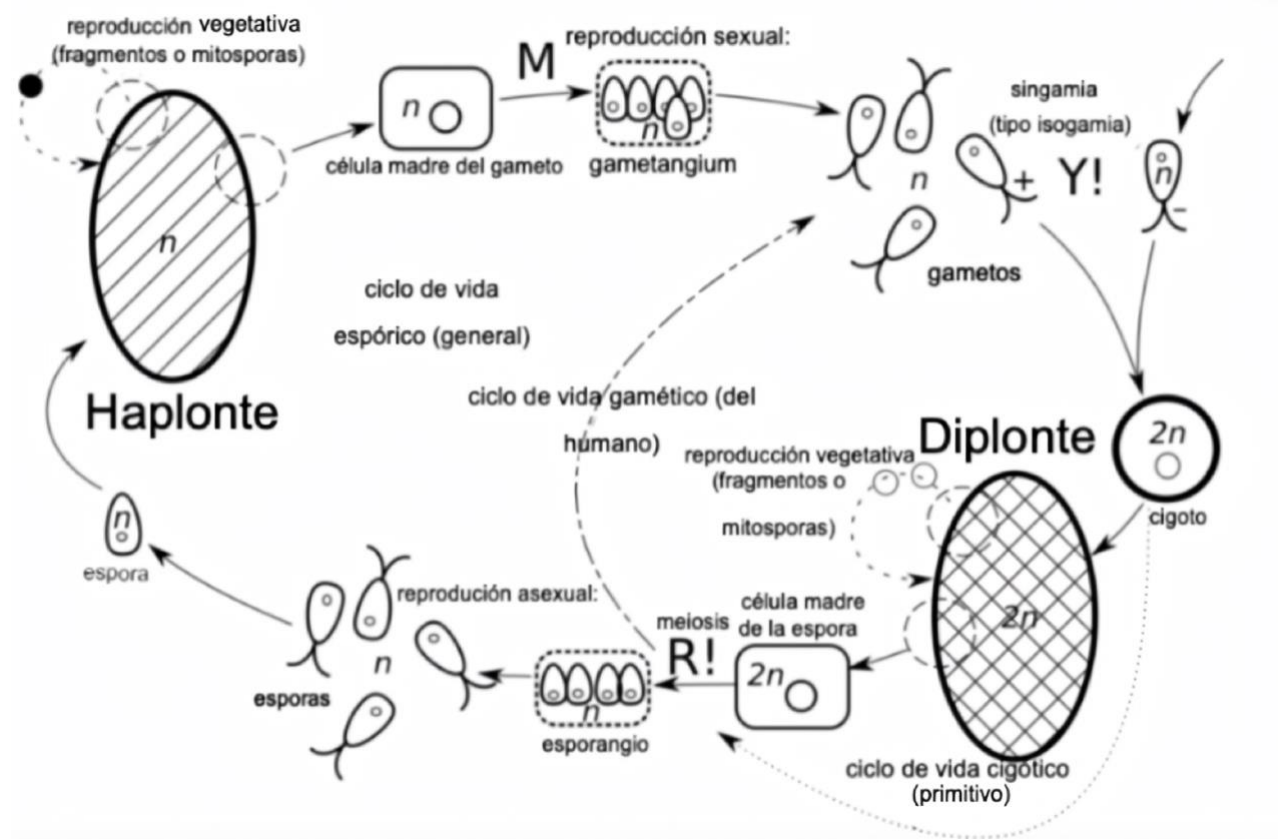


Figura 4.9. El ciclo de vida general. La parte del haplonte está a la izquierda, la del diplonte a la derecha, la singamia arriba, la meiosis abajo. La letra “M” se usa para marcar la mitosis.

4.4.2 Ciclos de vida espórico, cigótico y gamético

El ciclo de vida descrito anteriormente es el ciclo de vida de la **espora** (Fig. 4.10). Los organismos con un ciclo de vida espórico tienen diplontes y haplontes, desarrollados igual o desigualmente.

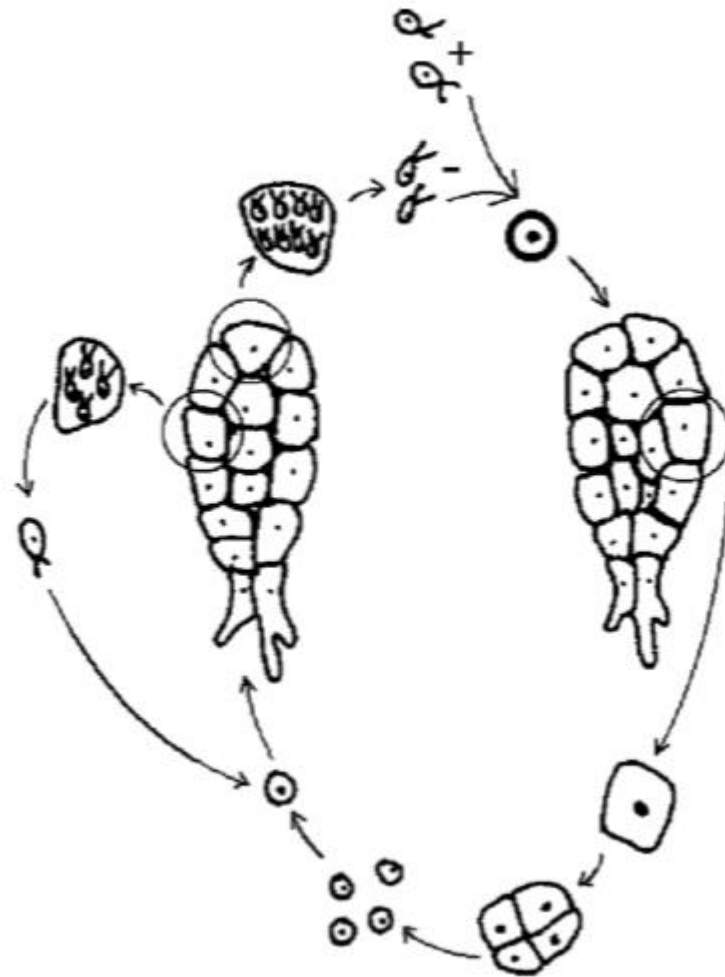


Figura 4.10. El ciclo de vida espórico. Resumen. La parte del haplonte está a la izquierda, la singamia arriba, la meiosis abajo.

En total, hay tres tipos de ciclos de vida: espórico, cigótico, que es el más parecido al unicelular y, además, el más primitivo; y gamético, que es utilizado por animales y algunos protistas (Fig. 4.11). El ciclo de vida **cigótico** comienza con la singamia para luego proceder a la meiosis. No tiene diplontes. El ciclo de vida **gamético** va de la meiosis a la singamia. No tiene haplontes.

Los protistas tienen estos tres tipos de ciclos de vida mientras que los grupos anteriores solo tienen uno. Los animales tienen un ciclo gamético a diferencia de las plantas² que tienen uno esporico más primitivo.

4.4.3 Evolución de los ciclos de vida

La diferencia más notable entre los ciclos de vida unicelulares y pluricelulares es que el cigoto del organismo pluricelular puede comenzar a formar un organismo diploide (diplonte) el que algunas veces es visualmente casi igual al haplonte. Esto se debe a que bajo la perspectiva

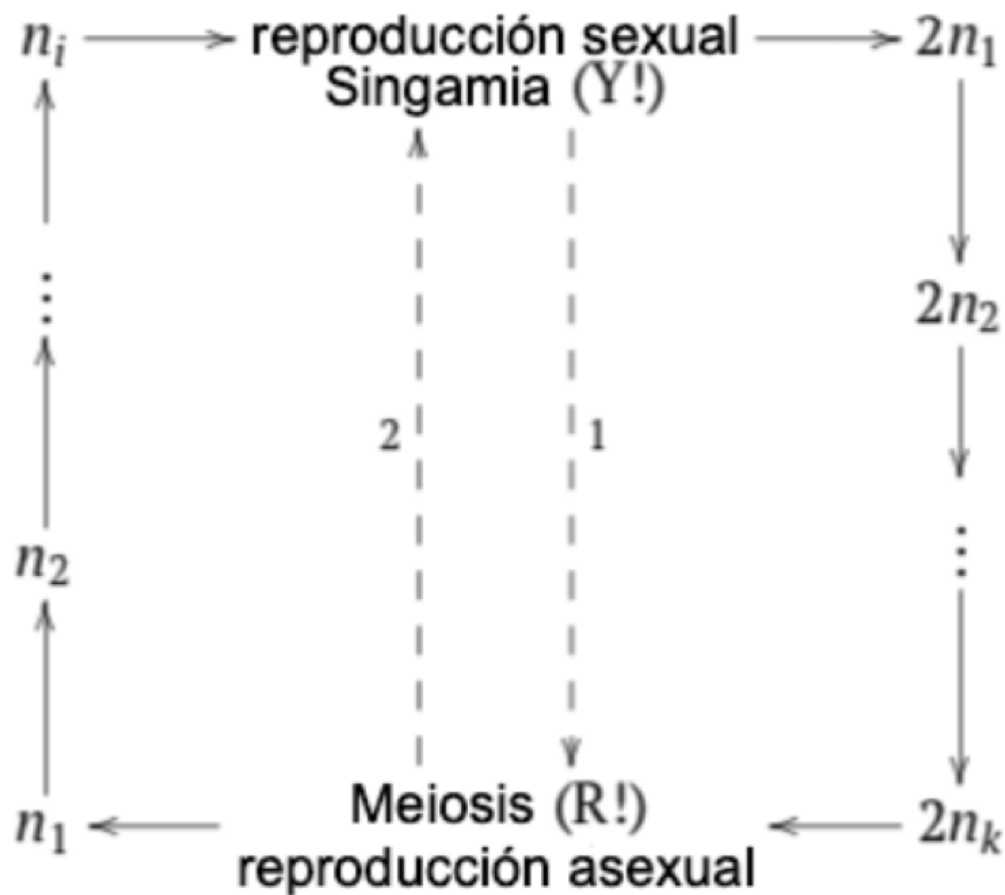


Figura 4.11. Representación esquemática de tres tipos de ciclos de vida. Todo el esquema es un ciclo esporico; 1, ciclo cigótico ($Y! \rightarrow R!$); 2, ciclo gamético ($R! \rightarrow Y!$).

evolutiva, los diplontes son “mejores” que los haplontes. La situación frecuente de la dominación genética permite que solo una variante (alelo) del gen trabaje. Esto puede salvar organismos de mutaciones letales. Un mayor número de genes podría ayudar a crear más proteínas. Una tercera razón sería que los genomas de los diplontes son más diversos. Un gen podría ser capaz de resistir varias condiciones y la otra variante podría tener un conjunto diferente de posibles condiciones. Por lo tanto, el diplonte es capaz de tomar ventaja de las capacidades de ambas variantes genéticas.

Como consecuencia, la evolución de los ciclos de vida va desde el ciclo cigótico (parecido al unicelular) hasta el esporico (Fig. 4.12) pasando por la dominación del diplonte cada vez más notoria para finalmente llegar a la completa reducción del haplonte, el ciclo de vida gamético. Sigue sin respuesta el cómo evolucionaron los protistas cigóticos y pasaron al lado esporico. Lo más probable es que el cigoto (que es diploide por definición) no quiso dividirse meióticamente. En vez de eso, crece (lo que se ve en algunos protistas) y se divide mitóticamente, dando como resultado un diplonte. Así es como comenzó el ciclo esporico por primera vez. El último paso de esta cadena evolutiva era una completa reducción del haplonte: después de la meiosis, las esporas fueron reemplazadas con gametos, los cuales fueron inmediatamente al proceso de singamia.

4.4.4 Ciclo de vida de la Vegetabilia

Los ancestros de la Vegetabilia (plantas₂) eran algas verdes con ciclo de vida cigótico. Se podría suponer que su cigoto comenzó a crecer gracias a que estos organismos comenzaron a habitar en aguas poco profundas y buscaban que sus esporas se distribuyeran con rapidez. Una de las maneras para que esto pase es tener las esporas en el tallo de la planta. Esta es posiblemente la razón detrás del crecimiento del cigoto: el

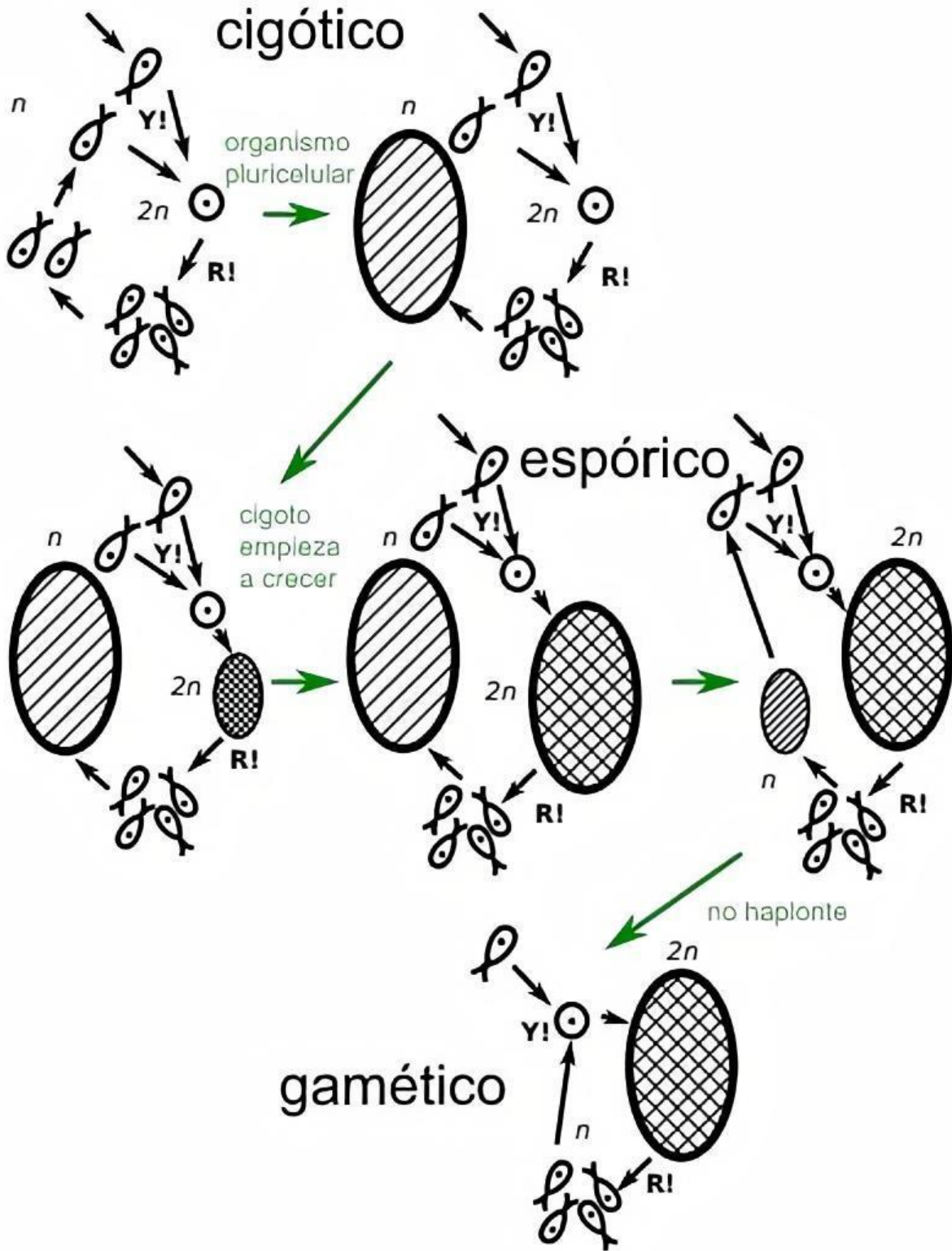


Figura 4.12. La evolución (las flechas verdes representan cinco transiciones evolutivas) desde el ciclo de vida del cigótico unicelular al del gamético pluricelular, a través de distintas variables de ciclos de esporas.

diplonte original de las plantas₂ eran solo **esporangio**, es decir, estructuras que transportan esporas. Luego, comenzaron a surgir los beneficios de la condición diploide descrita anteriormente y estas plantas primitivas iniciaron su camino hacia la reducción de haplontes. Sin embargo, algunos ejemplos de la Vegetabilia (hepaticofitas, musgos y antoceros), aún tienen dominio de haplontes. Esto es porque sus haplontes son *poiquilohídricos* (se explicará en los siguientes capítulos), la adaptación que es beneficiosa para las plantas pequeñas.

El ciclo de vida de las plantas₂ es esporico, aun así, la ciencia tradicional utiliza nombres relacionados a las plantas para estas fases. El ciclo (Fig. 4.13) comienza con un diplonte que se llama **esporófito**, el que produce esporas. Estos trasladan un **esporangio**, donde por dentro la **célula madre de las esporas** utiliza meiosis para generar esporas. Estas últimas brotan y crecen convirtiéndose en haplontes, los que se llaman **gametofitos**. Estos últimos producen gametos, en específico espermatozoides (o simplemente “esperma”) y ovocitos (óvulo). Estos gametos se desarrollan en órganos especiales, **gametangio**. De estos, aquellos que contienen gametos masculinos (esperma) se llaman **anteridios** y aquellos que tienen gametos femeninos, **arquegonios**, esta última por lo general contiene solo un óvulo (ovocito).

Cuando se produce la singamia (en este caso oogamia), los dos gametos forman un cigoto. Luego, *un esporófito joven crece en el gametofito* y, por último, el ciclo comienza nuevamente. Una vez más, el esporófito de la Vegetabilia inicia su vida como un parásito en el gametofito. Inclusive las plantas florales tienen esta fase que se llama **embrión**. Quizás, esta es la razón de porqué nunca se ha reducido por completo el gametofito de las plantas₂ para transformar su ciclo a uno gamético. Incluso en los linajes más avanzados de las plantas, los gametofitos masculinos (que solo producen esperma) y femeninos tienen un mínimo de 3 y 4 células, respectivamente, ¡pero no 0!

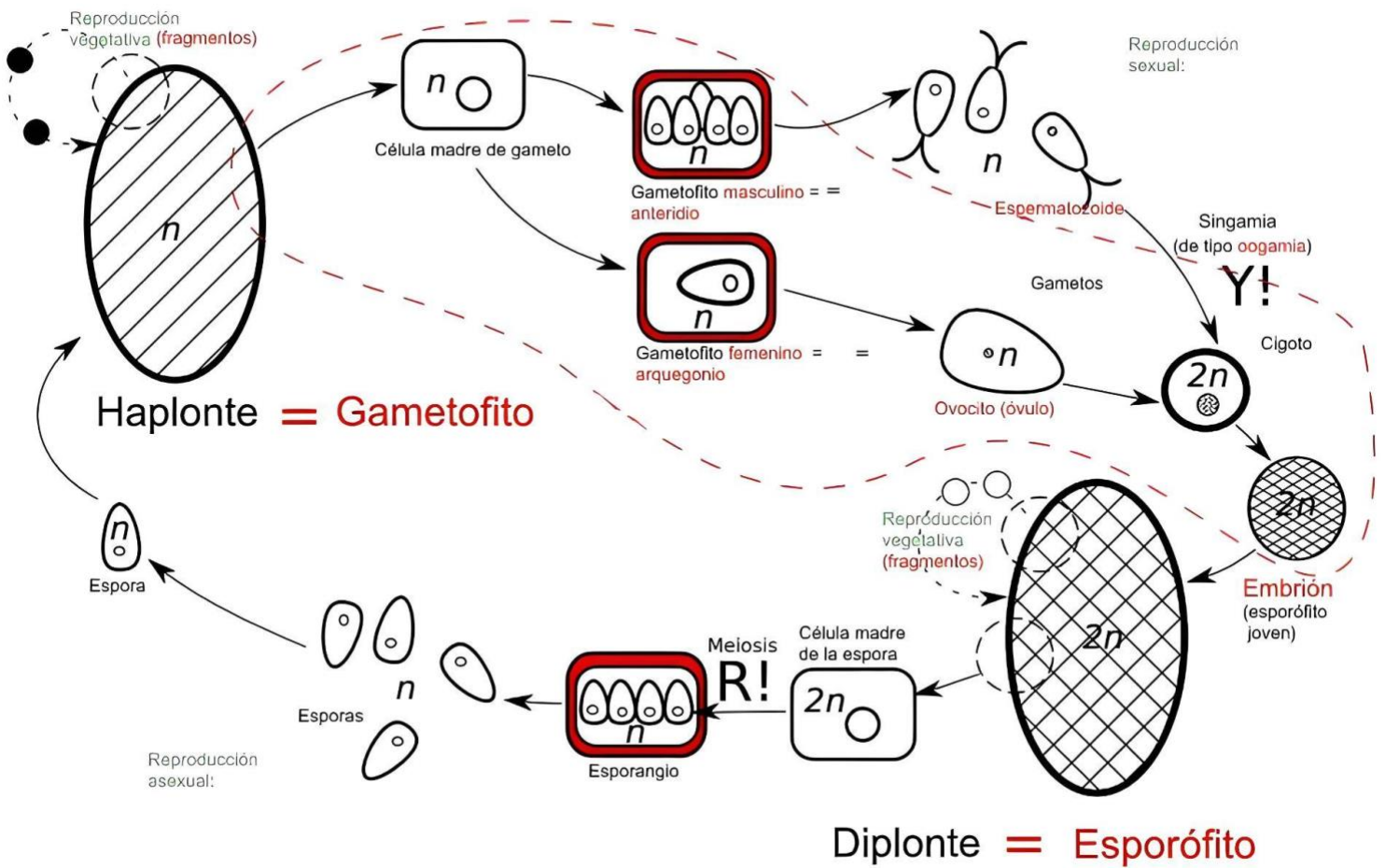


Figura 4.13. El ciclo de vida de las plantas terrestres. El color rojo se utiliza para señalar la mejora genética, comparándolos con esquemas de ciclos de vida (generales) previos.

Capítulo 5

Tejidos y órganos; o cómo se forman las plantas

5.1 Tejidos

De ahora en adelante, a menudo se utilizarán diversos nombres de grupos de plantas₂, se resumirán en la Figura 5.1 y con más detalles, en la Figura 6.1.

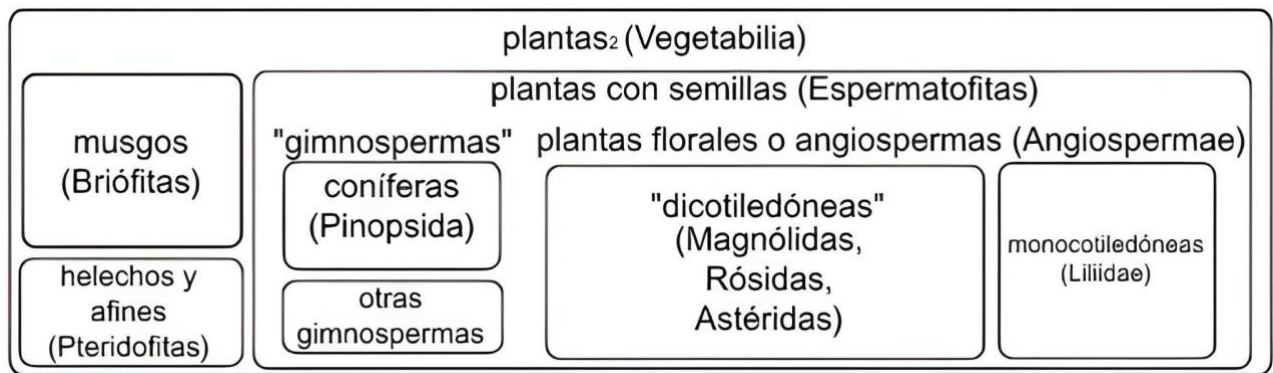


Figura 5.1. La clasificación de las plantas₂: resumen.

5.1.1 Epidermis y parénquima

¿Por qué las plantas llegaron a la superficie? Lo hicieron con el fin de escapar de la competencia con otras plantas por recursos como el sol y nutrientes, pero además, lo hicieron para obtener mucha más luz solar que por el contrario era muy mínima bajo el agua. El traslado a la superficie también las ayudó a escapar de predadores. Por último, las plantas se beneficiaron de este cambio porque huyeron del **conflicto entre la temperatura y los gases**: las temperaturas más cálidas son buenas para los organismos, sin embargo, estas reducen significativamente la cantidad de gases diluidos en el agua.

Aunque esta medida resolvió varios problemas, al mismo tiempo, planteó nuevas cuestiones que se necesitaban solucionar. La más importante de ellas fue el riesgo de secarse. Para combatir esto, las plantas desarrollaron su primer **tejido: la epidermis** cubierta con una **cutícula** que cumplió una función similar a la de una bolsa de plástico. Para las plantas que son demasiado pequeñas (milímetros) es suficiente, ya que, de

acuerdo a la **relación superficie-volumen**, estas tienen una alta superficie relativa y la difusión puede servir como intercambio de gas.

Sin embargo, las plantas más grandes también necesitan intercambiar gases y desarrollaron **estomas**, los que cumplían la función de un sistema regulado de poros. Las células restantes se convirtieron en un segundo tejido: **parénquimas** (también **tejido terrestre** o **tejido principal**).

Otra respuesta (Fig. 5.3) a la desecación fue el desarrollo de *poiquilohidria* (véase a continuación), la capacidad de hibernar en condiciones (casi) secas. Como la hibernación es, por lo general, peligrosa ya que requiere un “sistema de reinicio”, ese trayecto evolucionario no se convirtió en el principal.

El **tejido** es la unión de células que tienen un origen parecido, una función y una morfología similar. Los tejidos pertenecen a los órganos: el **órgano** es la unión de distintos tejidos que tienen en común función(es) y origen. Las plantas tienen tejidos simples y complejos. Los **tejidos simples** están compuestos por el mismo tipo de células; los **tejidos complejos** están compuestos por más de un tipo de células, estas son exclusivas de las plantas.

El **parénquima** (Fig. 5.4) son células esféricas y alargadas con una delgada pared celular primaria. Este es el componente principal de los órganos vegetales jóvenes. Las funciones básicas del parénquima son la *fotosíntesis* y *el almacenamiento*. Las células parenquimáticas están dispersas en el cuerpo de la planta. Estas llenan la hoja, son frecuentes en el córtex y la médula del tallo y son un componente de tejidos vasculares complejos (véase a continuación). A diferencia del parénquima (que es un tejido simple), la **epidermis** es un tejido complejo compuesto de las células del estoma y las células epidérmicas. Sus funciones principales son la *transpiración*, *el intercambio de gases* y *la defensa*.

Como se ve aquí, las plantas adquieren tejidos de una manera completamente distinta a la de los animales (Fig 5.2): mientras que las plantas regulan el intercambio de gases y de agua como respuesta al ecosistema terrestre, los animales cazan activamente en búsqueda de alimento (utilizando tejidos quinoblastos) y luego lo digieren (con tejidos fagocitoblastos).

5.1.2 Tejido de apoyo: construyendo rascacielos

Cuando más y más plantas comienzan a trasladarse del agua a la superficie, la competencia nuevamente se convierte en un problema (Fig. 5.3). Para resolver esto, las plantas siguieron “la solución Manhattan”: crecieron verticalmente con el fin de poder escapar de la competencia por la luz solar y por consiguiente, tuvieron que desarrollar **tejidos de soporte**.

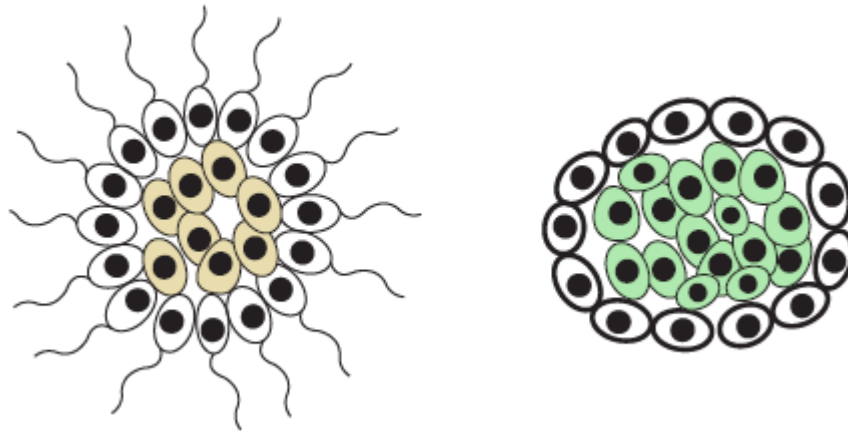


Figura 5.2. La fagocitela (protoanimal) con quinoblasto y fagocitoblasto versus la protoplanta con epidermis y tejido terrestre.

El **colénquima** (Fig. 5.4) es un tejido de soporte vivo que tiene células alargadas y una pared celular primaria gruesa. Su función principal es apoyar de manera mecánica a los tallos y hojas jóvenes a través de la turgencia.

El **esclerénquima** (Fig. 5.4) es un tejido de soporte muerto que consiste de fibras largas o células pequeñas parecidas a un cristal. Cada célula tiene una *pared secundaria* gruesa que es rica en lignina. Su función principal es apoyar a los órganos vegetales más viejos y además de dar rigidez a distintas partes de las plantas (por ejemplo, hacer que la fruta sea incomedible antes de su maduración para que nadie tome la fruta sin que sus semillas estén listas para distribuirse). Sin el esclerénquima, si una planta no se riega, las hojas se caerán porque las vacuolas disminuirán en tamaño lo que baja la turgencia. A veces, las fibras

dentro del floema (véase a continuación) se consideran como un esclerénquima por separado.

Tres veces en su evolución, las plantas encontraron el nuevo uso para la lignina o para polímeros similares: en un comienzo, los químicos parecidos cubrían la pared de espora, la que era una modificación de dispersión de esporas en el viento. Luego, se utilizaron químicos similares para crear cutículas, una “bolsa de plástico epidérmica” para prevenir la transpiración fuera del estoma. Por último, con la adquisición del esclerénquima, las plantas descubrieron cómo utilizar células muertas con paredes celulares completamente lignificadas.

Por cierto, lo más probable es que el estoma tuvo un destino similar, ellos aparecen históricamente en los esporangios para ayudarlos a secarse más rápido y a liberar esporas de manera eficiente. La regulación de la transpiración es su segunda función

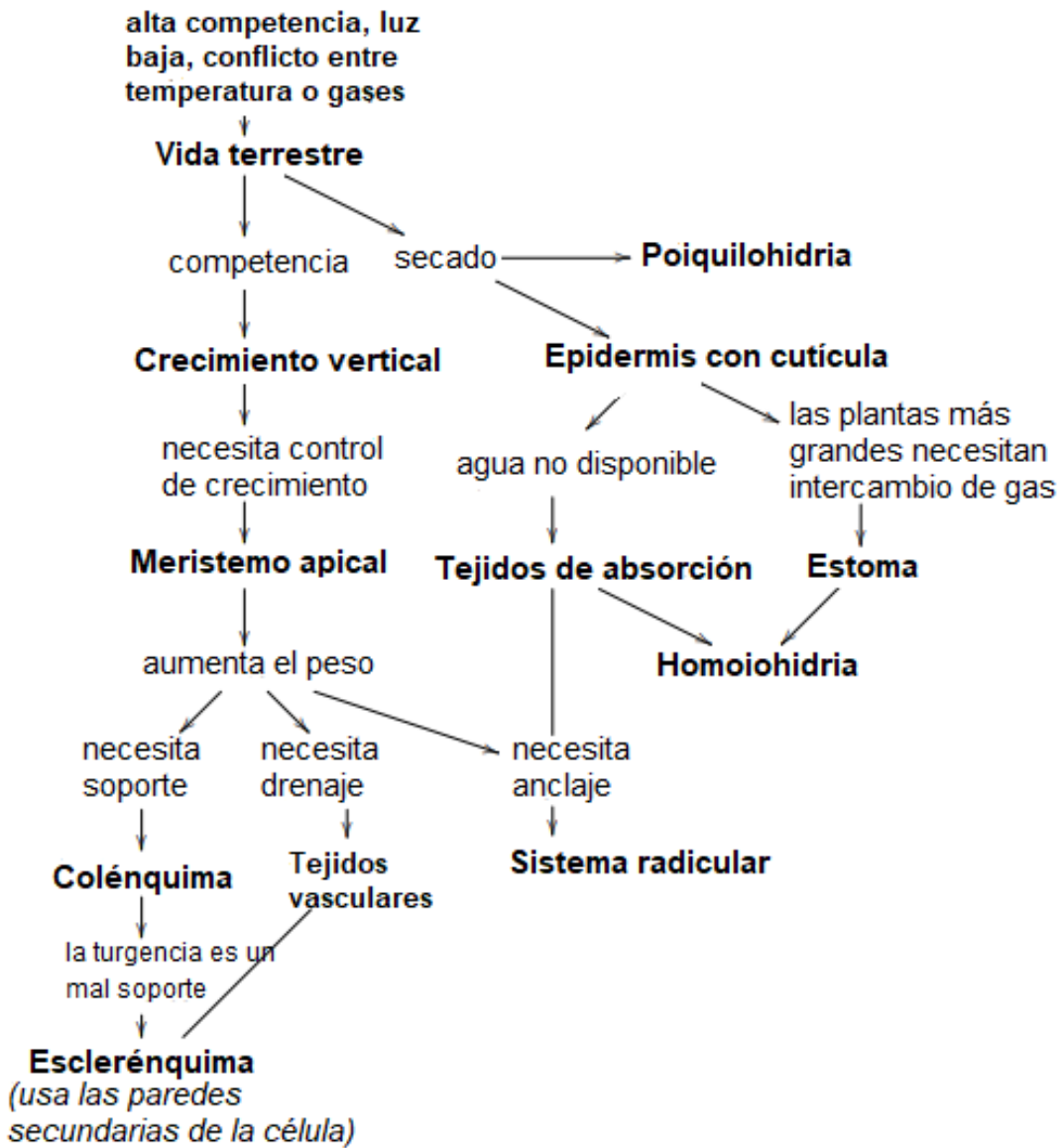


Figura 5.3. Desafíos para las plantas terrestres y sus **respuestas**, parte 1. La parte 2 se encuentra en la Fig. 7.14.

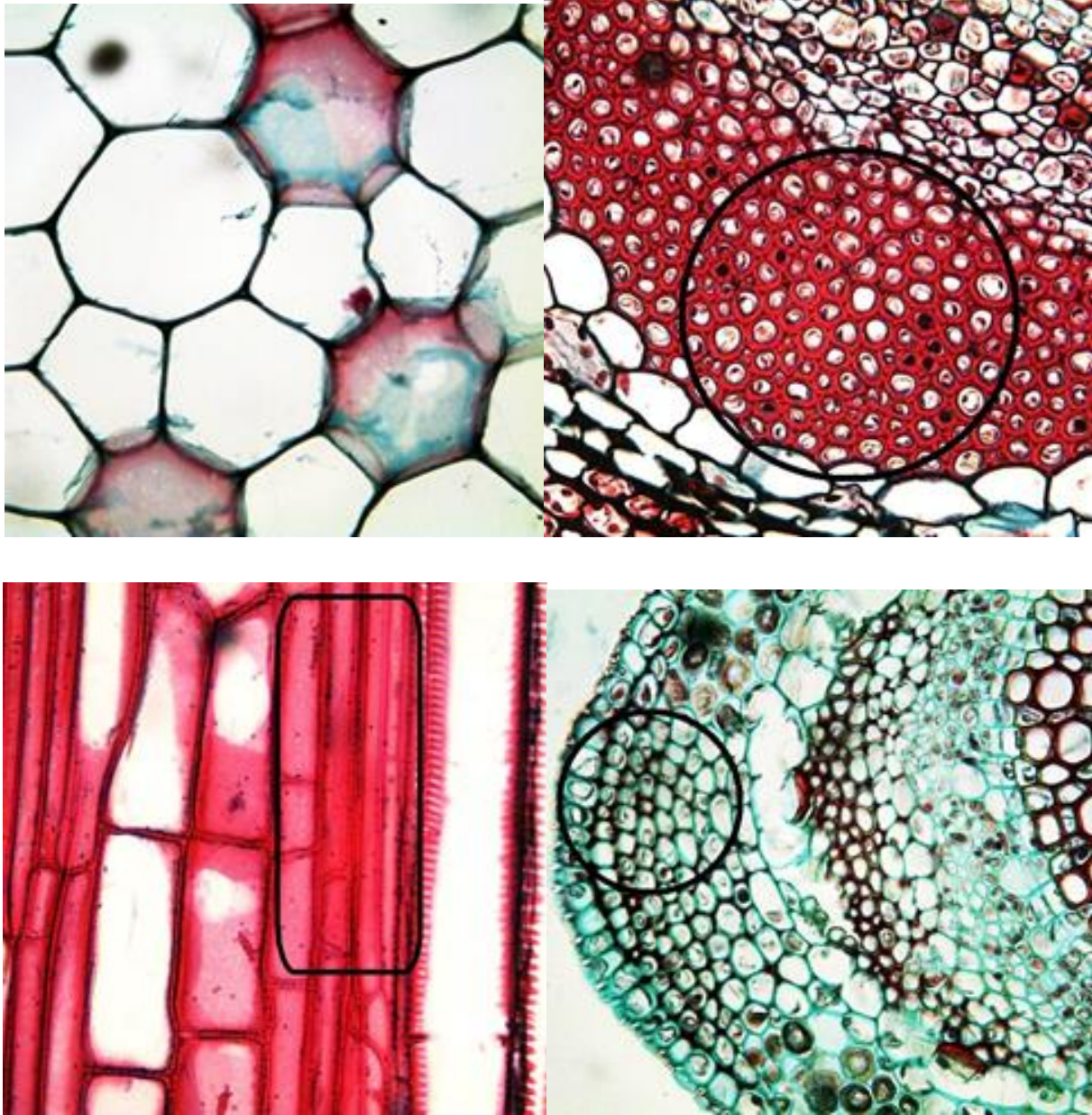


Figura 5.4. De izquierda a derecha, de arriba a abajo: parénquima, esclerénquima (secciones transversales y longitudinales) y colénquima. Las tres primeras fotos pertenecen al tallo de *Helianthus*; la cuarta, al de *Medicago*. Aumento x400.

Tejidos y tipos de células

Los términos “parénquima” y “esclerenquima” se usan sistemáticamente de dos maneras: primero, para nombrar a los tejidos (o incluso las clases de tejidos) que existen en distintos lugares del cuerpo de la planta y, también, para nombrar los tipos de células que son componentes de los tejidos. Por tanto, es posible decir “parénquima del estema”, “parénquima de la médula del estema”, “parénquima del xilema” e incluso “hoja mesófila es un parénquima”.

5.1.3 Meristemos: los sitios de construcción

El crecimiento de la planta requiere centros de desarrollo que son los **meristemos**. Los **meristemos apicales** son centros para el desarrollo de la planta localizados en el final de las raíces (**RAM**, por sus siglas en inglés) y tallos (**SAM**, por sus siglas en inglés). Estos producen meristemos intermediarios (como **procambium**) que forman todos los **tejidos primarios**. El **meristemo lateral** o **cambium** se origina del procambium que a su vez se origina de los meristemos apicales. Generalmente surge entre dos tejidos vasculares y sus principales funciones son espesar y producir **tejidos vasculares secundarios** (Fig. 5.5).



Figura 5.5. Meristemos y tejidos.

Otros meristemos incluyen: **intercalares**, que alarga los tallos desde el “medio”; **marginal** que es responsable del desarrollo de las hojas y meristemos de **reparación** que surgen alrededor de heridas, también controlan la reproducción vegetativa.

5.1.4 Tejidos vasculares

Las plantas más grandes escapan de la competencia y llevan a cabo un metabolismo efectivo. Sin embargo, con todo el crecimiento por el que pasaron las plantas, su tamaño se hizo muy grande para las conexiones simplásticas lentas del plasmodesmo. Otro transporte apoplástico, parecido al papel de filtro, no era lo suficientemente poderoso. La solución era desarrollar **tejidos vasculares**, xilema y floema (Fig. 5.6, Fig. 5.29).

Las principales funciones del xilema son el transporte de agua y el soporte mecánico. El **xilema** se puede encontrar ya sea en un haz o cilindro vasculares. Los tres tipos de xilemas de las células son los **elementos traqueales** (estos incluyen a las

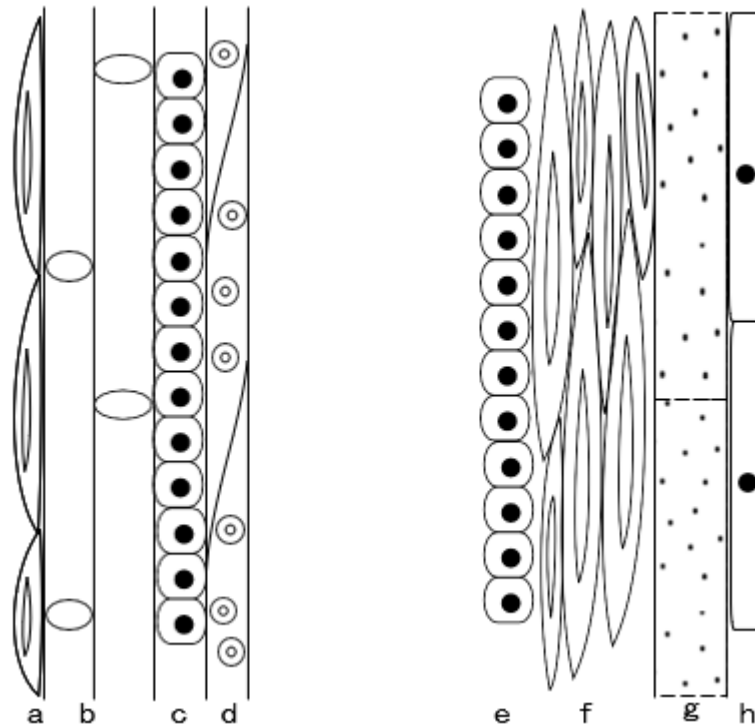


Figura 5.6. Células del xilema (izquierda, a–d) y del floema (derecha, e–h): a, fibras; b, vasos con perforaciones; c, parénquima; d, traqueidas con punteaduras; e, parénquima; f, fibras; g, tubos cribosos; h, células acompañantes.

traqueidas y los **miembros de vaso**), las **fibras** y el **parénquima**. Los elementos del xilema, excepto por el parénquima, son ricos en lignina y los principales componentes de la madera. Las traqueidas son cerradas de ambos extremos y se conectan a través de

punteaduras, mientras que los miembros del vaso están un tanto abiertos y se conectan a través de **perforaciones**. Las traqueidas, los miembros del vaso y las fibras son células muertas. Por otro lado, el parénquima del xilema está vivo.

Las punteaduras de las traqueidas constan de una membrana de la punteadura y un torus en el centro, no hay aberturas. La presencia de traqueidas o miembros de vaso tiene un significado evolutivo. Los vasos (hechos de miembros de vaso) son más efectivos; en consecuencia, las plantas más “primitivas” tienen más traqueidas mientras que las más “avanzadas” tienen más miembros de vaso. A modo de ejemplo, las gimnospermas solo tienen traqueidas a diferencia de la mayoría de las plantas con flores, que tienen traqueidas y miembros de vaso. El desarrollo individual también imita esta tendencia evolutiva. Las plantas con flores más jóvenes tienen más traqueidas mientras que las plantas maduras tienen más miembros de vaso. El xilema primario tiene, por lo general, traqueidas y vasos con perforaciones escalariformes a diferencia del xilema secundario (que se origina del cambium), el cual se compone mayormente de vasos con perforaciones abiertas. El nombre común del xilema secundario es **madera**.

Es un error pensar que las traqueidas son mejores que los vasos. De hecho, el problema principal no suele ser que el transporte de agua se ralentice, sino que se apresure. Las traqueidas tienen un sistema de conexión avanzado (llamado torus) que tiene la capacidad de cerrar poros si la presión del agua es demasiado alta y, por lo tanto, más controlable. Las fugas serían menos peligrosas en las traqueidas. Y en los ambientes con poca agua (como la taiga en invierno) las plantas con traqueidas tienen la ventaja. Al contrario, el hecho de tener vasos es como tener un auto de carreras para la vida diaria; solo las plantas con flores “aprendieron” a usarlos de manera efectiva.

Las células muertas son útiles, pero difíciles de controlar. Sin embargo, si se necesita reducir el transporte del xilema, existe una manera. Las células del parénquima del xilema crearán **tílides** (“tapones”) que se convertirán en los elementos traqueales muertos y, si es necesario, detendrán el agua. Muchos planifolios usan tílides para reducir el transporte del xilema antes del invierno.

Generalmente, el **floema** se encuentra adyacente, o al lado, del xilema. Este último se ubica en la parte opuesta interna de la planta mientras que el floema en la parte exterior.

Las principales funciones del floema son el transporte de azúcares y el soporte mecánico. Los cuatro tipos de floemas son: **las células de tubo criboso**, **las células acompañantes**, **las fibras** (las únicas células muertas en el floema) y **el parénquima**. Las células de tubo criboso de las plantas con flores tienen un citoplasma que se extiende a través de las perforaciones (placas cribosas) entre las células pero no tiene núcleos. Las células acompañantes crearán proteínas para este. Sin embargo, en las gimnospermas y en las plantas más “primitivas” no hay células acompañantes en absoluto, por lo que las células de tubo criboso sí tienen núcleos. Esto se puede comparar con los glóbulos rojos en los vertebrados: mientras que los mamíferos los tienen anucleados, los eritrocitos de otros vertebrados tienen núcleo. El floema secundario, generalmente, tiene más fibras que el floema primario.

Esta pequeña tabla resume las diferencias entre el xilema y el floema:

	Xilema	Floema
Contiene principalmente	Células muertas	Células vivas
Transporta	Agua	Azúcar
Dirección	Hacia arriba	Hacia abajo
Biomasa	Grande	Pequeña

5.1.5 Peridermis

La **peridermis** es un tejido dérmico secundario que surge dentro del tejido molido del tallo, cerca de la superficie. Al igual que los otros tejidos dérmicos (epidermis), es un tejido complejo. Tiene tres capas (empezando desde la superficie): **felema (corcho)**, **felógeno (cambium del corcho)** y **felodermis** (Fig. 5.7). El felema se forma de grandes células muertas con paredes secundarias saturadas de suberina y es el componente principal más grueso de la peridermis. El felógeno es un meristemo lateral, como el cambium; con frecuencia surge fragmentariamente (y también temporalmente) y no cubre toda la superficie inferior del tallo. Pero cuando los felemas comienzan a crecer, todos los tejidos periféricos (como la epidermis) serán separados del transporte de agua y finalmente

morirán. El felógeno forma el felema hacia la superficie y la felodermis hacia la siguiente capa (floema). La felodermis es un tejido pequeño que no desempeña un rol importante en la peridermis.

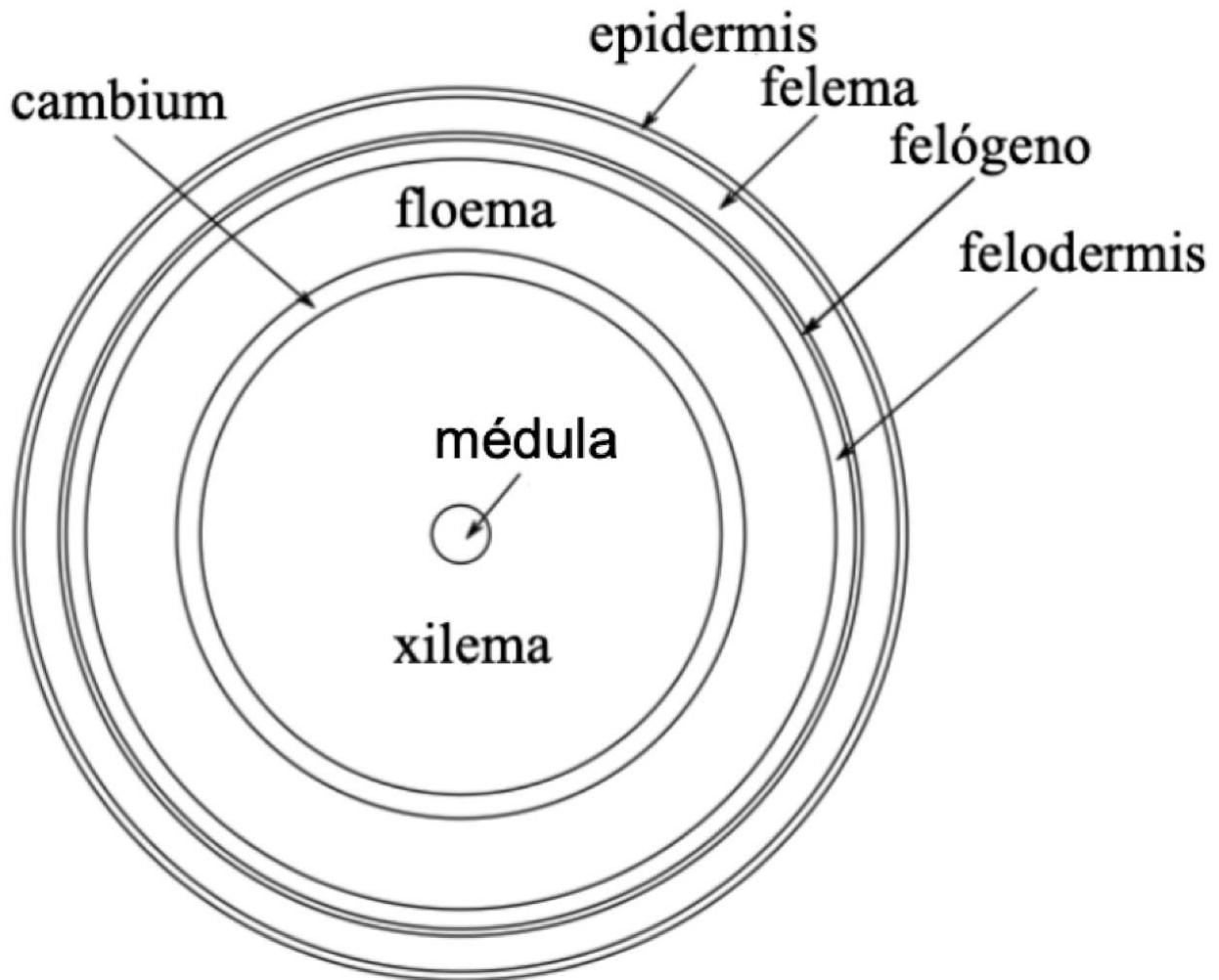


Figura 5.7. Ubicación principal de los tejidos del tallo (simplificado).

En las plantas más viejas, el felógeno surge más adentro, a veces dentro del floema y separa las capas externas del floema del cilindro vascular. Toda esta mezcla de tejidos (el felógeno, el felema, la felodermis, la epidermis y las capas superiores del floema) se consideran una **corteza**.

5.1.6 Tejidos de absorción

Las plantas **poiquilohídricas** no almacenan agua y pueden sobrevivir incluso a la desecación completa puesto que sus células hibernarán. Un ejemplo de una planta

poiquilohídrica sería los musgos. Las plantas **homeohídricas** (que en su mayoría son plantas₂), sin embargo, guardan agua. Intentan mantener el contenido de agua y no sobreviven a la desecación completa. Un ejemplo de una planta homeohídrica sería una planta “común”, es decir, el maíz. De alguna manera, se pueden comparar rasgos similares en animales poiquilohídricos, como los reptiles y en animales homeohídricos, como las aves y los mamíferos, excepto cuando se refiere al calor corporal y no a la conservación del agua.

Los tejidos de absorción son siempre tejidos primarios simples. El más importante es la **rizodermis** (rizoderma) o **pelos radicales**, que se origina desde el protodermo (protodermis), pero su tiempo de vida es mucho más corto que el de la epidermis. Existen otros tejidos de absorción como, por ejemplo, el **velamen**, que se origina desde el córtex radicular y se constituye de grandes células muertas que están vacías y son fáciles de mojar.

5.1.7 Otros tejidos

Los tejidos secretores se extienden por el cuerpo de la planta y se concentran en las hojas y en los tallos jóvenes. Estos tejidos pueden secretar látex, aceites volátiles, mucosidad y otros químicos. Sus funciones pueden ser de atracción o de no atracción, comunicación o defensa, entre muchas otras.

Además de los tejidos, el cuerpo de la planta puede contener **idioblastos**, células que son bastante diferentes a las células circundantes. Los idioblastos se utilizan para acumular componentes inusuales (y posiblemente peligrosos) como la **mirosinasa**, una proteína que separa los glucosinolatos en azúcares e isotiocianato tóxico (**aceite de mostaza**). Este aceite se utiliza para sazonar, pero en el caso de las plantas, les ayuda como un arma química binaria contra insectos herbívoros: cuando los idioblastos que contienen mirosinasas están dañados, el aceite de mostaza mata a los insectos que hicieron este daño. Dentro de las plantas, todo el orden Brassicales de las rósidas es capaz de producir mirosinasa, ejemplos de esto son los diferentes tipos de repollos (*Brassica* spp.), la papaya (*Carica*), la moringa oleífera (*Moringa*), entre muchas otras.

5.2 Órganos y sistema de órganos

La Vegetabilia (Fig. 6.1) tiene tres distintos tipos de construcción del cuerpo (Fig. 5.8). Las plantas más primitivas tienen la anatomía vegetal del talo, las más avanzadas tienen la anatomía del brote (unipolar) y la mayoría de las plantas terrestres tienen la anatomía bipolar. La estructura del **talo** es plana, similar a la de una hoja, sin embargo, estas no se diferencian entre órganos en particular. La mayor parte de los gametofitos (excepto los musgos verdaderos) tienen este tipo, al igual que algunos esporófitos (los que en su mayoría son plantas de poca agua). La **anatomía del brote (unipolar)** consiste solo en la ramificación de brotes, las raíces están ausentes. Esto es característico de todos los esporófitos Briófitas, los gametofitos de los musgos (Bryopsida) y también de los esporófitos de Psilotópsida (helecho batidor). Por último, la **anatomía vegetal bipolar** tiene tanto raíces como brotes (Fig. 5.11). La mayoría de estas plantas tienen brotes que consisten en el tallo y las hojas, sin embargo, esto no es en absoluto un requerimiento, ya que los tallos de las plantas jóvenes generalmente son verdes y pueden hacer fotosíntesis.

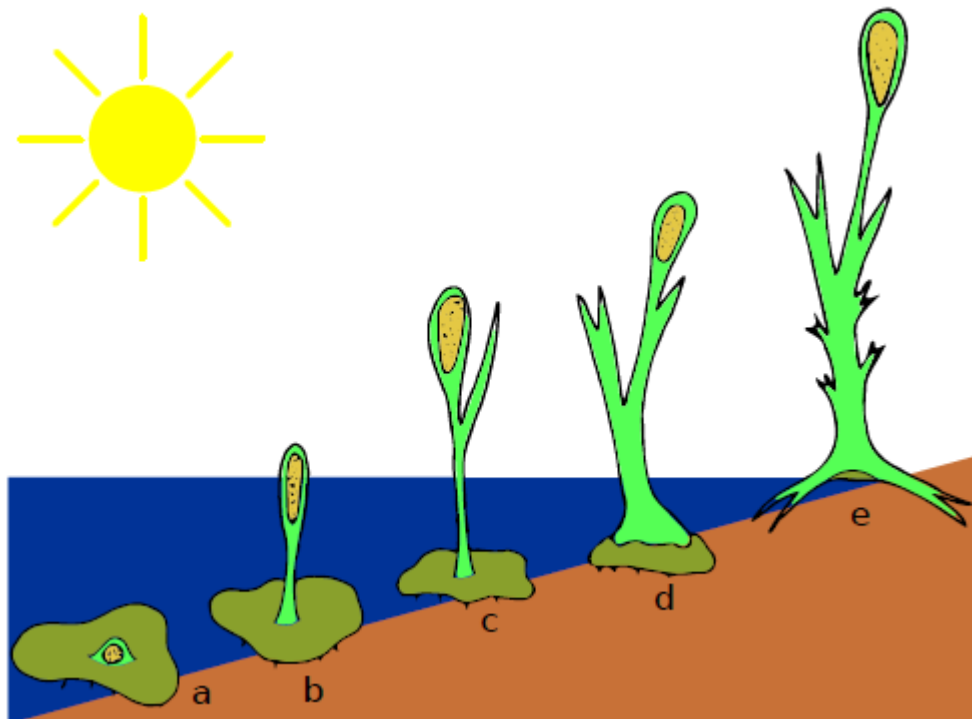


Figura 5.8. La evolución de los tipos de anatomías de las plantas²: a-e, gametofitos del talo; a, esporófito del talo; b-d, esporófito del brote; e, esporófito bipolar.

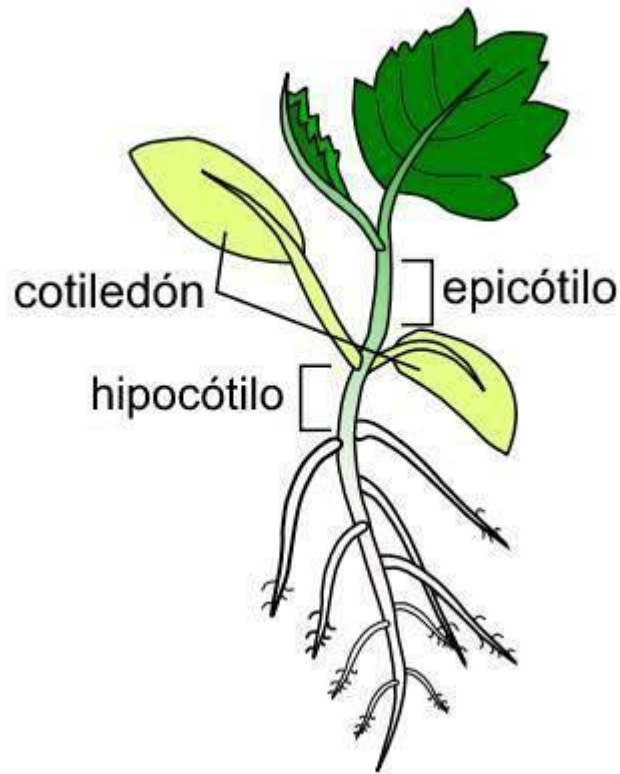


Figura 5.9. Plantón joven con epicótilo e hipocótilo.

Los órganos característicos de las plantas bipolares son los tallos (órganos axiales aéreos con un crecimiento continuo), las hojas (órganos laterales planas con un crecimiento limitado), las raíces (órganos axiales del suelo que son alterados por absorción) y las **unidades florales (UF)** las que son elementos del sistema generativo (fructificación) tales como el estróbilo o cualquier flor.

Las yemas, frutas, semillas y en particular plantones con hipocótilo y epicótilo **no son órganos** por distintas razones: las **yemas** son solo brotes jóvenes, la **fruta** es la flor madura, el **hipocótilo** es una parte del tallo entre las primeras hojas del plantón (cotiledón) y la raíz (por ejemplo, la transición de la raíz al tallo), el **epicótilo** es el primer entrenudo del tallo (Fig. 5.9) y, finalmente, la **semilla** es la estructura quimérica con tres genotipos, lo que hace imposible que la llamen “órgano”.

La raíz, el tallo, la hoja y la UF son *cuatro órganos vegetales básicos* (Fig. 5.10), los que dentro de la planta bipolar se agruparían en el sistema de raíz y el sistema de brote; esta última es a menudo dividida en el sistema de brote generativo (con UF) y el sistema de brote vegetativo (sin UF).

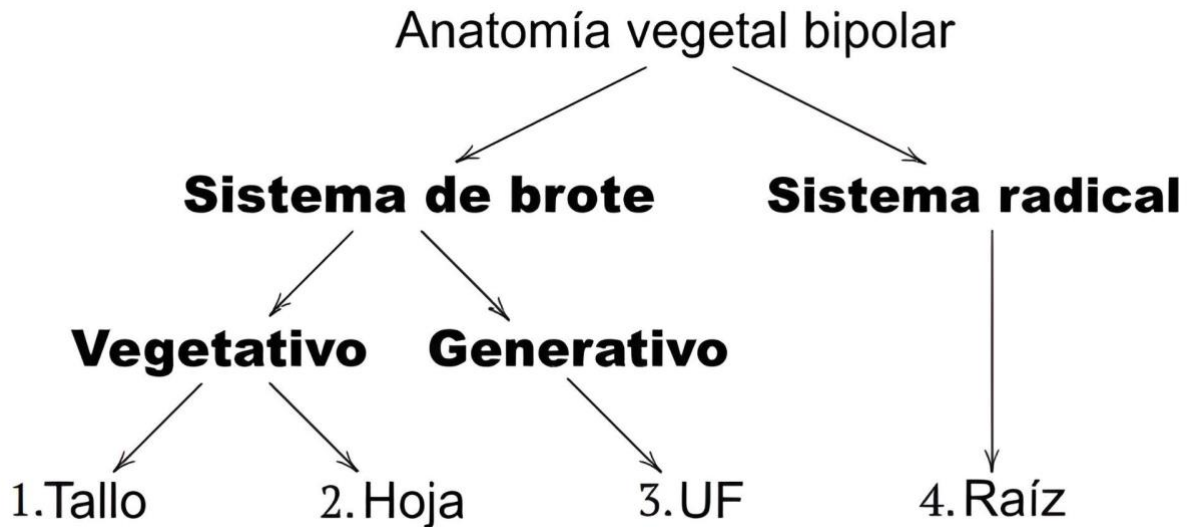


Figura 5.10. La planta bipolar: **sistema de órganos** y cuatro órganos.

El sistema de brote vegetativo por lo general consiste en brotes primarios y secundarios; estos contienen yemas en sus extremidades, yemas axilares (laterales), tallos (nudos y entrenudos) y hojas. Se explicarán primero las hojas.

5.3 La hoja

El objetivo inicial y final de todas las plantas es la fotosíntesis. Si una planta es pluricelular, esta generalmente desarrolla estructuras relativamente grandes y planas, con el propósito de recibir rayos solares. Las plantas terrestres no son ninguna excepción; la mayoría probablemente comenzó a formar su cuerpo con órganos similares a las de las hojas de hoy en día.

Una **hoja** es un *órgano fotosintético lateral del brote con crecimiento limitado*. Sus funciones son la fotosíntesis, la respiración, la transpiración y la síntesis de químicos secundarios. Los aspectos de una hoja (por ejemplo, las características que ayudan a

distinguir las) incluyen tener una yema en la axila, no crecer en su ápice, no producir hojas o brotes nuevos y tener una *morfología jerárquica* (véase a continuación).

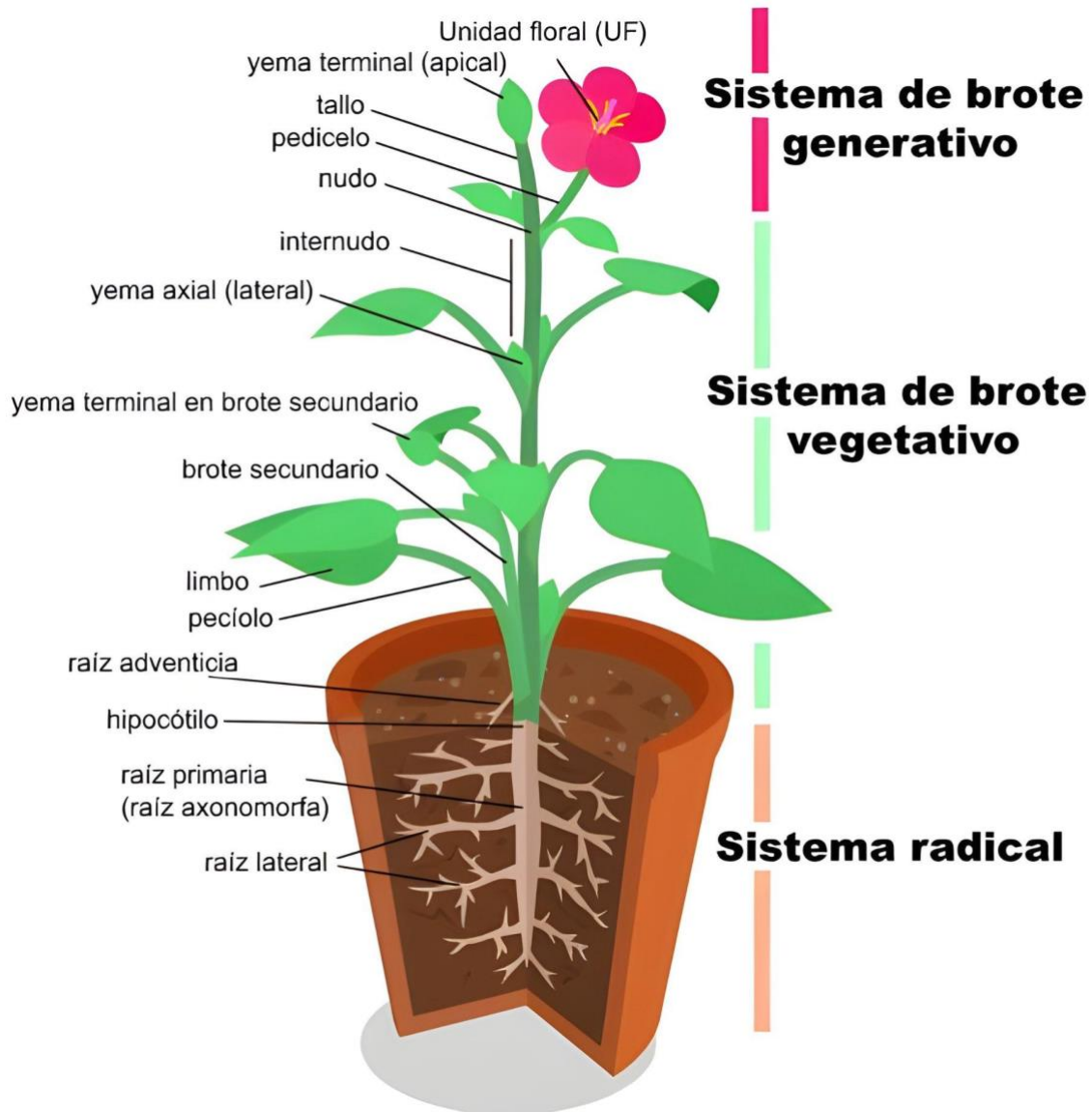


Figura 5.11. Los sistemas de órganos y los órganos de plantas bipolares.

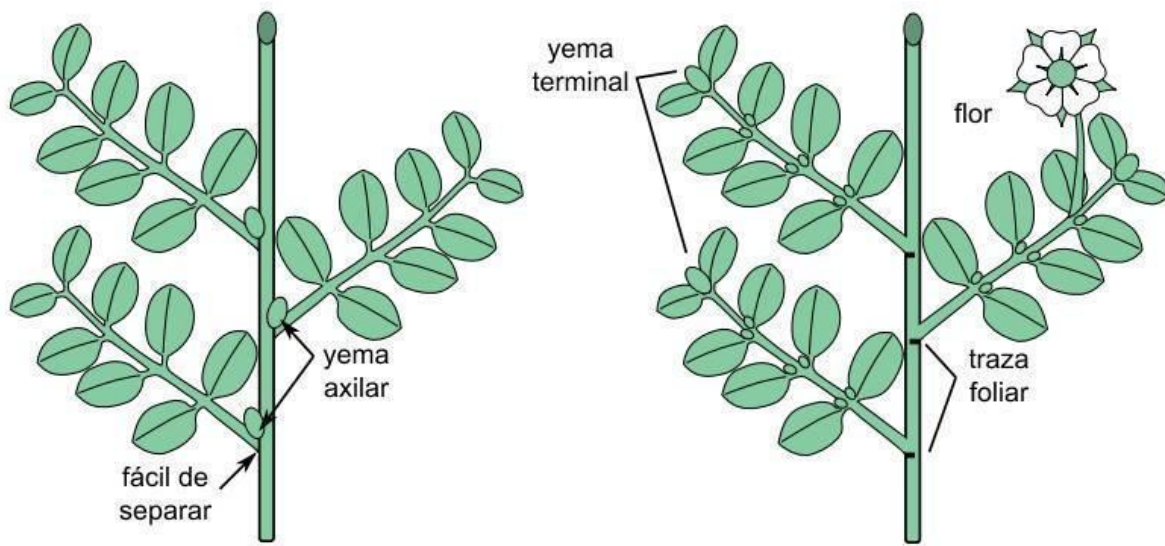


Figura 5.12. Cómo distinguir entre las hojas compuestas (izquierda) y las ramas (derecha).

5.3.1 Morfología foliar

Morfología significa características estructurales externas que son lo bastante visibles mientras que la anatomía necesita herramientas como un microscopio o bisturí. Las hojas son una parte muy importante en la morfología vegetal. La capacidad de describir la hoja es crucial incluso para los novatos dentro de la botánica.

En resumen, *las plantas son organismos fractales*, como el triángulo de Sierpinski (Fig. 5.13). Todos los fractales son autosimilares (Fig. 5.14) y las plantas no son la excepción. Autosimilaridad o “efecto matrioska” significa que casi cada parte de la planta puede pertenecer a un complejo más grande y que a su vez, este sea parte de otro sistema incluso más grande y así sucesivamente. Esto es lo que se conoce en las hojas como *niveles de jerarquía*. Las **hojas simples** tienen solo un nivel de jerarquía, mientras que las hojas compuestas tienen dos o más niveles. Las **hojas compuestas** algunas veces se mezclan con las ramas, pero hay muchas otras características que permiten distinguirlas (Fig. 5.12).



Figura 5.13. Uno de los fractales simples: triángulo de Sierpinski.

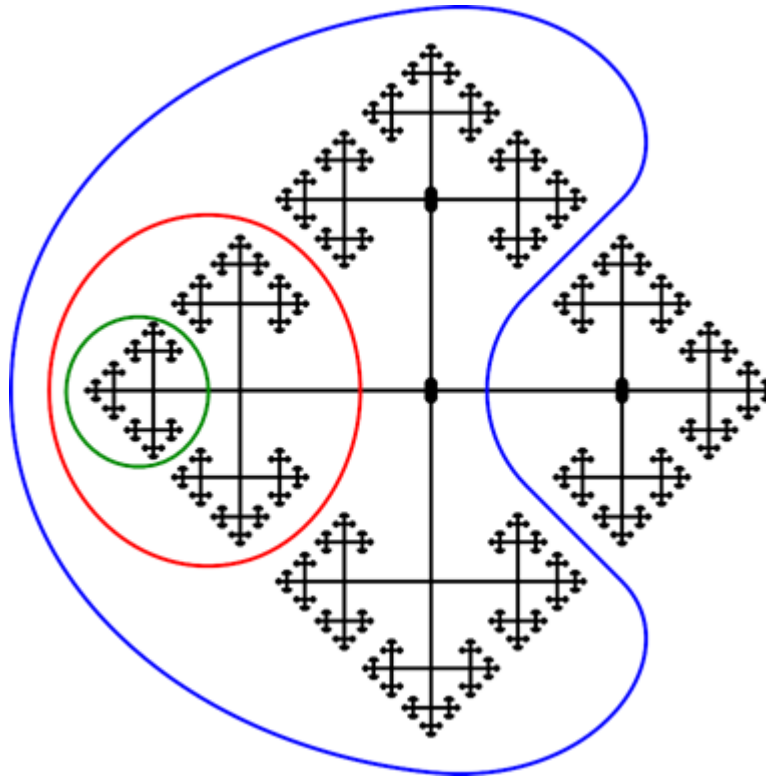


Figura 5.14. El ejemplo de autosimilitud.

Al describir las hojas, siempre se debería tener en cuenta el nivel de jerarquía, como “en el primer nivel de jerarquía, la forma es..., en el segundo nivel de jerarquía, la forma es...” Como se mencionó anteriormente, la jerarquía de las hojas es similar a las matrioskas: cada muñeca pequeña tiene una muñeca más grande (siguiente nivel jerárquico) afuera. Por ejemplo, si la hoja es compuesta (consiste en múltiples folíolos), la forma completa de esta puede ser redonda (circular) pero la forma del folíolo de la misma hoja puede ser ovalada (Fig. 5.15). Como resultado, la descripción dirá que en el primer nivel de la jerarquía la hoja es ovalada y en el tercer nivel, circular.

Hay tres tipos de características de las hojas: general, terminal y repetitiva. Las **características generales** solo se aplican a la hoja completa. Las **características terminales** solo se aplican a los folíolos terminales, estos son las partes al final de la hoja, no se dividen en terminales más pequeños; las hojas de los tréboles, por ejemplo, tienen tres terminales. Por último, las características repetitivas se repiten en cada nivel de la

jerarquía de la hoja. Las características generales y terminales no dependen de la jerarquía. Las **características repetitivas** pueden ser diferentes en cada sección de la jerarquía.

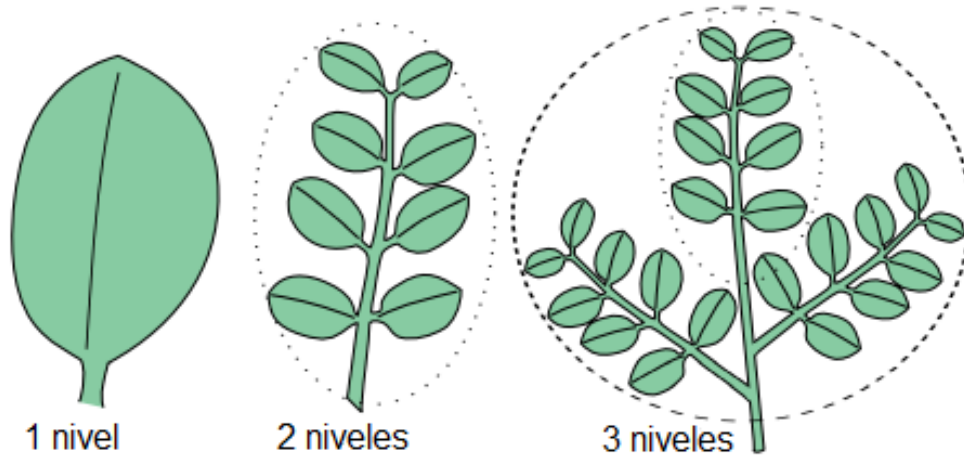


Figura 5.15. Hojas con uno, dos y tres niveles de jerarquía. Nótese que la última hoja es ovalada en el primer y segundo nivel pero es circular en el tercer nivel de jerarquía.

Las características generales de la hoja incluyen a las **estípulas** y otras estructuras ubicadas cerca de la base de la hoja (Fig. 5.16): la **vaina** (típica en pastos y otros liliids) y la **ócrea** (típica en la familia del trigo sarraceno, Polygonaceae).

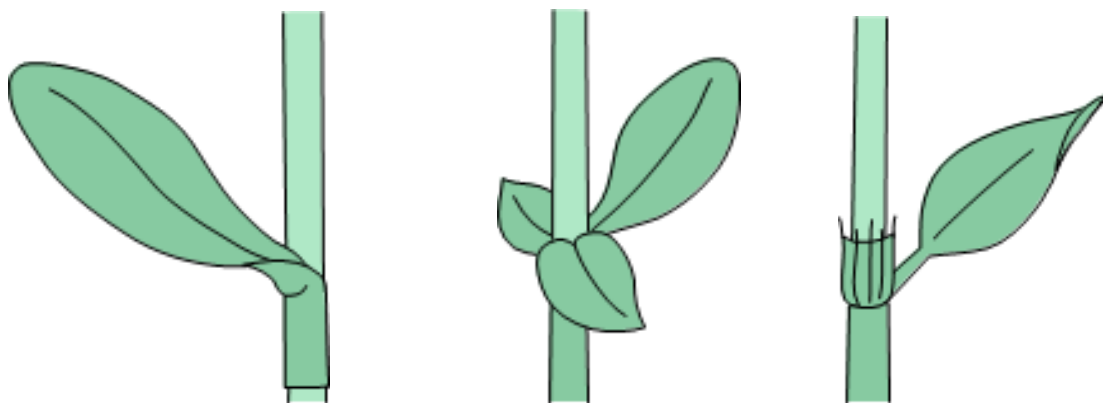


Figura 5.16. De izquierda a derecha: vaina, estípulas y ócrea.

Las características repetitivas son la forma de la hoja (Fig. 5.17), disección de la hoja y si el limbo se une por medio de un rabillo (pecíolo) o no.

Las características terminales se aplican solo a los folíolos terminales de las hojas. Estas características (Fig. 5.19) son la forma de la base del limbo, la punta de la hoja, el tipo de margen, la superficie y la nervadura. La base del limbo de la hoja puede ser **redonda**, **truncada** (recta), **cunada** y **cordada**. El ápice de la hoja puede ser **redondo**, **mucronado**, **agudo**, **obtusos** y **acuminado**. Las variantes del contorno de la hoja son **entero** (suave) y **con dientes**: **dentado**, **aserrado**, **doblemente aserrado** y **crenado**.

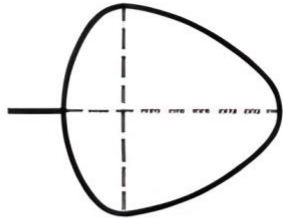
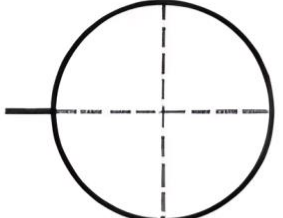
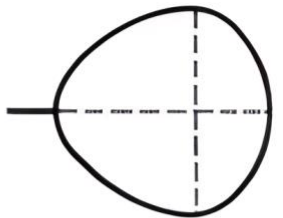
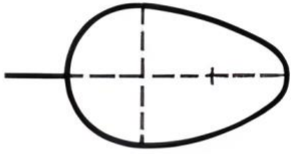
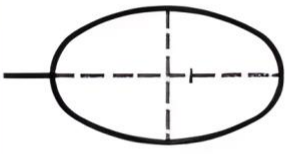
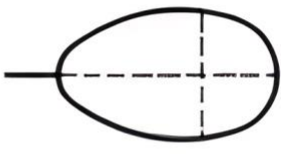

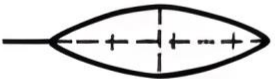


	Anchura máxima más cerca de la base de la hoja	Anchura máxima en el medio	Anchura máxima más cerca del ápice
Largo = anchura o un poco más	 deltada	 circular	 cunada
Largo > 1-1,5 x anchura	 ovada	 elíptica	 ovobada
Largo > 3-4 x anchura	 estrechamente ovada	 lanceolada	 estrechamente ovobada
Largo > 5 x anchura	 linear		

Figura 5.17. Formas de las hojas.

Hojas simples	Enteras			
	Lobuladas (de 1/4 a 3/4)	Bl. tri-	Palmeada	Pinnada
Divididas de 3/4 a la vena media				



Figura 5.18. Disección de las hojas.

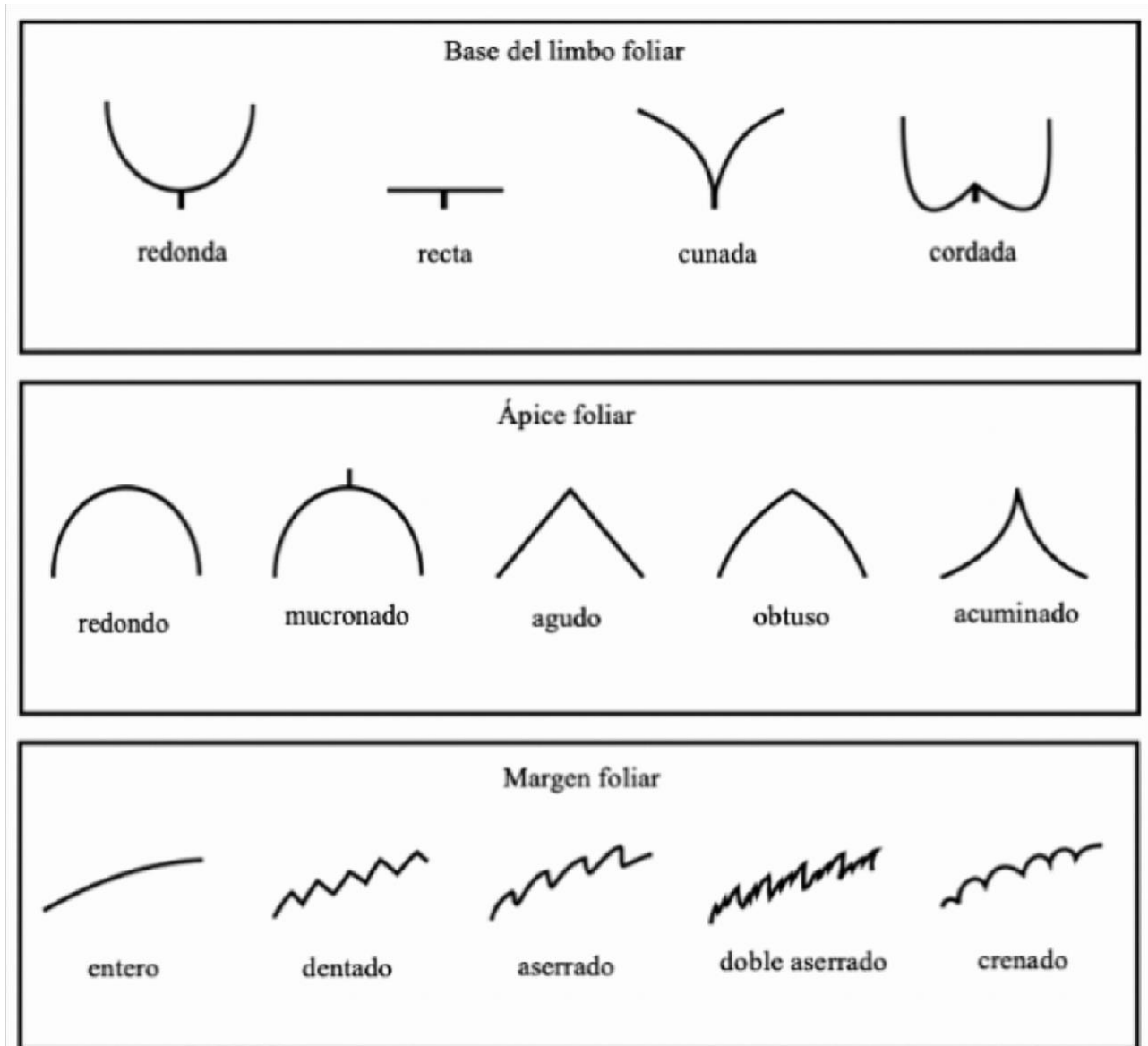


Figura 5.19. Características terminales de la hoja

Las venas de las hojas son haces vasculares que se extienden en la hoja desde el tallo. Con frecuencia, hay una **vena principal** y **venas laterales** (venas de segundo orden). Hay muchas clasificaciones de la nervadura foliar, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 5.20.

Fíjese que en la nervadura **dicotómica**, cada vena se divide en dos partes similares lo que se conoce como ramificación dicotómica. Un ejemplo de este tipo de nervadura es la hoja del árbol de los cuarenta escudos, (*Ginkgo biloba*). Otro tipo de nervadura frecuentemente segregado es el **paralelódromo**, pero básicamente, esto es una nervadura acródroma en

las hojas lineares (por ejemplo, las hojas del pasto), donde la mayoría de las venas son casi paralelas.

Para caracterizar la hoja entera, se puede usar el siguiente esquema:


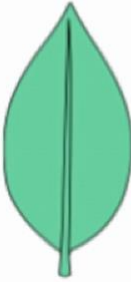
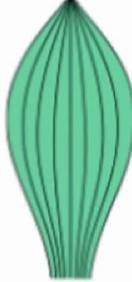
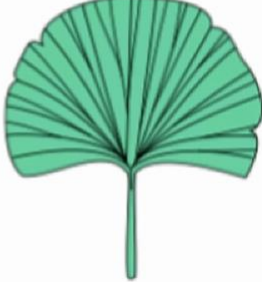


Principal Lateral	Sin	Una	Muchas
Sin	<p>Sésil</p> 	<p>Hifódroma</p> 	<p>Acródroma</p> 
Muchas	<p>Dicótoma</p> 	<p>Pinnatinervia</p> 	<p>Actinódroma</p> 

Figura 5.20. Clasificación simple de la nervadura foliar.

1. Características generales (hoja entera)

(a) estípulas (presente/ausente, deciduo/no, cuántas, tamaño, forma);

(b) base (con vaina/sin vaina, con ócrea/sin ócrea)

2. Primer nivel de jerarquía: características repetitivas:

(a) simetría (simétrica/asimétrica);

(b) forma;

(c) disección;

(d) pecíolo (presencia y largo)

3. Segundo nivel de jerarquía

4. Tercer nivel de jerarquía, entre otros.

5. Características terminales (folíolos):

- (a) base del limbo foliar (redonda, recta, cuneada, cordada);
- (b) ápice (redondo, mucronado, agudo, obtuso, acuminado);
- (c) margen (entero, dentado, aserrado, doblemente aserrado, crenado);
- (d) superficies (color, pelos, entre otras);
- (e) venación (hifo-,acro-, actinodroma, sésil, pinnatinervia)

* * *

La **heterofilia** se refiere a una planta que tiene más de un tipo de hoja. Una planta puede tener hojas jóvenes como también adultas, hojas de agua o de aire, hojas de sol o de sombra. El mosaico de una hoja se refiere a la distribución de hojas en un solo plano perpendicular a los rayos solares, esto provee la menor cantidad de sombra para cada hoja.

Las hojas viven por temporadas; estas emergen del SAM a través del **primordio floral** y crecen mediante meristemos marginales. Las hojas viejas se separan de la planta en la **zona de abscisión**.

* * *

El famoso poeta y escritor Johann Wolfgang Goethe también es considerado como un fundador de la morfología vegetal. Él inventó la idea de una “planta primordial”, la que llamó “Urpflanze”, esto es cuando todos los órganos son **modificaciones** de otras primordiales distintas. Según las ideas de Goethe, la morfología vegetal plantea que muchas de las partes visibles de una planta son solo modificaciones de órganos vegetales básicos.

Las modificaciones de las hojas incluyen **espinas** y **escamas** para su defensa, **zarcillo** para sujetarse, **trampas**, “cinta adhesiva”, o **urnas** para interactuar (en este caso para atrapar insectos), **plántulas** para poder expandirse y hojas de **suculenta** para almacenamiento. Las plántulas son plantas muy pequeñas que crecen en la planta

principal y luego se caen para crecer como plantas nuevas; el ejemplo más conocido es la *Kalanchoe* (“la madre de miles”) que utiliza, por lo general, plántulas para reproducirse. Las plantas que atrapan insectos de distintos tipos se llaman plantas carnívoras (de hecho, estas siguen siendo fotoautótrofos y usan los insectos como fertilizante). Varios tipos de estas son la lirio cobra (*Darlingtonia*), distintas plantas jarra (*Nepenthes*, *Cephalotus*, *Sarracenia*), la pinguicula (*Utricularia*), la rocío del sol (*Drosera*) y la más conocida de todas, la venus atrapamoscas (*Dionaea*).

5.3.2 Anatomía de la hoja

Anatómicamente, las hojas consisten de epidermis con estomas, **mesófilos** (tipo de parénquima) y haces vasculares o venas (Fig. 5.22). El mesófilo, por su lado, tiene variantes empalizadas y esponjosas. El mesófilo empalizado se encuentra en la capa superior y cumple la función de disminuir la intensidad de luz solar para el mesófilo esponjoso, además, capturan rayos solares inclinados. El **mesófilo empalizado** consiste de células largas y delgadas firmemente ordenadas junto con cloroplastos mayoritariamente a sus lados. Las células de **mesófilo esponjoso** están envasadas de manera desordenada, son redondas y tienen varios cloroplastos (Fig. 5.21).

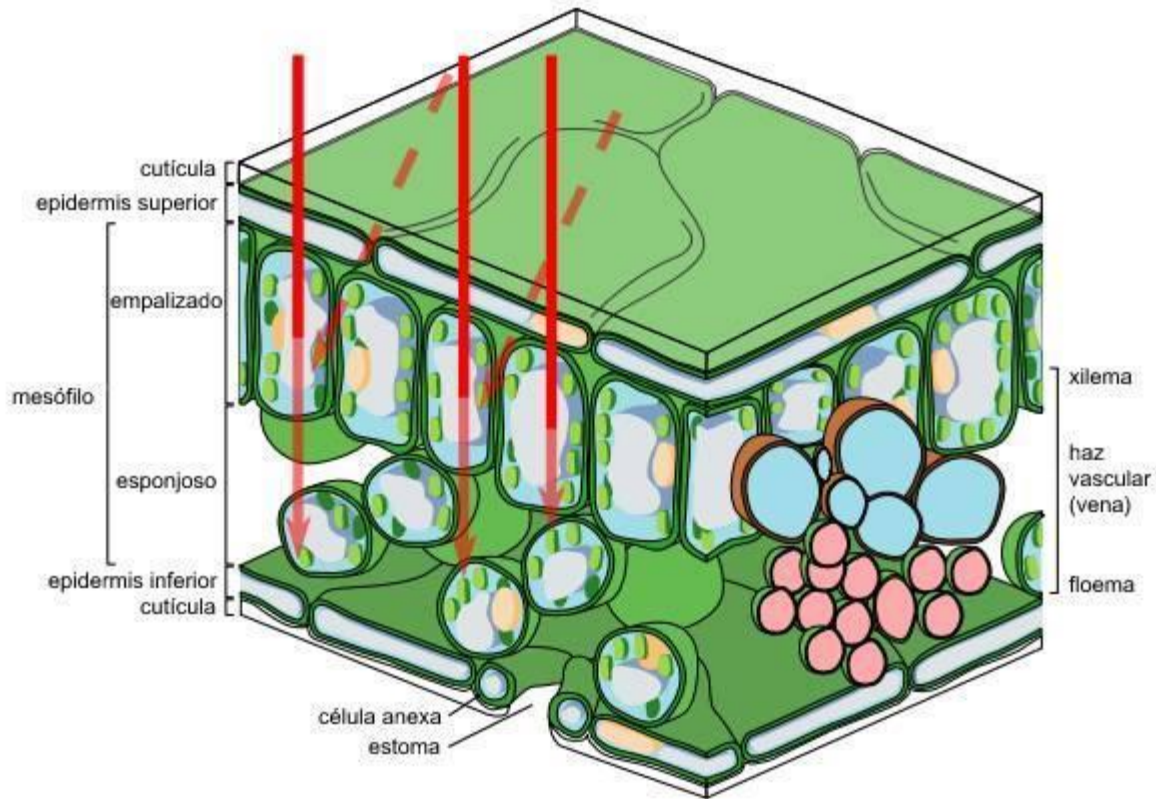


Figura 5.21. Anatomía de la hoja.

Cuando un haz vascular típico del tallo (que tiene el xilema abajo del floema) entra a la hoja, el xilema generalmente se encuentra mirando hacia arriba, mientras que el floema mira hacia abajo. Los haces de las plantas C_4 tienen células de la vaina del haz adicionales en sus haces vasculares.

La epidermis incluye células epidérmicas comunes, estomas rodeados de células anexas (también, de manera optativa, de células subsidiarias) y de tricomas. Casi todas las células epidérmicas están cubiertas con cutículas que ayudan a prevenir la pérdida de agua, ricas en lignina y ceras.

Los estomas ayudan en el intercambio de gases, en el enfriamiento y en la transpiración de agua. Existen dos células anexas unidas en cada lado del estoma. Estas tienen la forma de porotos y tienen una pared celular más gruesa en el medio. Esta última utiliza en su interior el denominado “efecto de curvatura” (cuando una tira de tocino se encorva en la sartén) porque la parte más delgada de la pared celular es más flexible y, por lo tanto, se

curva con mayor facilidad. Este mismo efecto de curvatura se puede apreciar en globos inflados con una cinta pegada en un lado. La apertura del estoma comienza desde

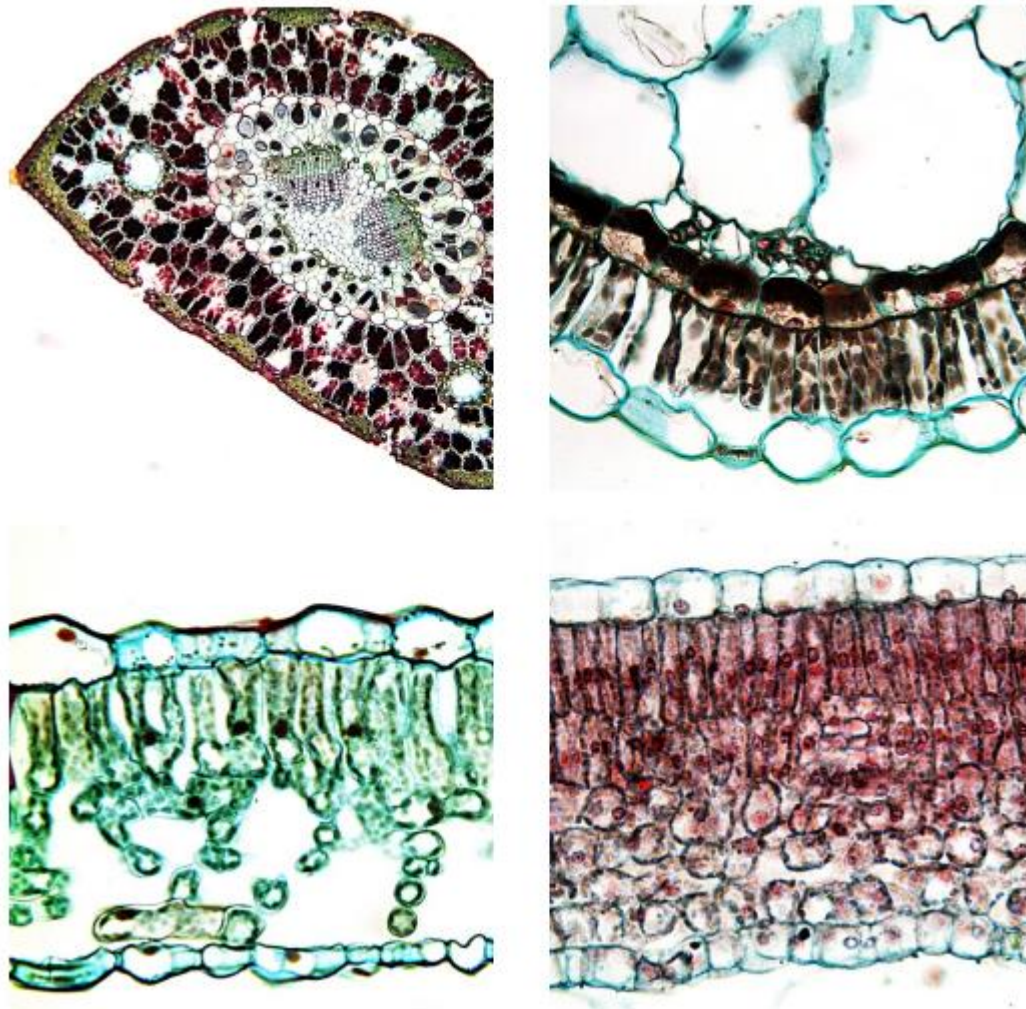


Figura 5.22. De izquierda a derecha, de arriba hacia abajo: hoja de esclerófilo *Pinus*, hoja de halófilo (parecido a las suculentas) *Salsola* (la epidermis está abajo), hoja de sombra de *Sambucus*, hoja de *Syringa* con células anexas (inferior izquierdo). Amplificadas x100 (en la primera) y x400 (las otras).

la acumulación de K^+ , luego la osmosis infla las células anexas y finalmente la pared celular desigual facilita la apertura del estoma. Este se cierra cuando los iones de potasio salen de la célula y la cantidad de agua en su vacuola disminuye (Fig. 5.23).

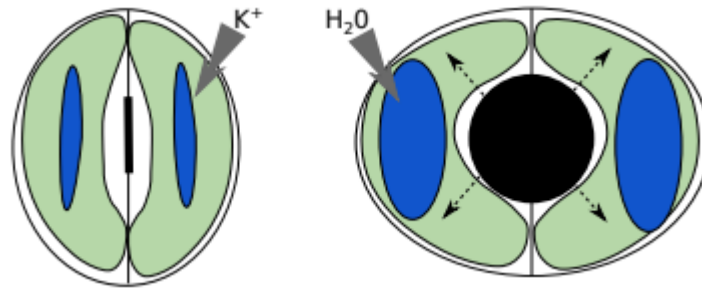


Figura 5.23. El cierre y la apertura del estoma. La pared celular es blanca, el citoplasma es verde, la vacuola es azul.

En la mayoría de los casos, la epidermis inferior contiene más estomas que la epidermis superior porque la parte baja de la hoja es más fría y la transpiración ahí es más segura. Una lógica similar se aplica a los tricomas (pelos): son más frecuentes en las partes bajas de la planta.

5.3.3. Formas ecológicas de las plantas

Cuando las plantas se adaptan a condiciones ambientales particulares, normalmente las hojas responden primero. En cambio, se puede estimar la ecología de las plantas simplemente al mirar sus hojas.

Con relación al agua, hay cuatro tipos principales de plantas: xerófitas, mesófitas, higrófitas e hidrófitas. Las **xerófitas** se adaptan a la escasez de agua (Fig. 5.22), pueden ser **esclerófitos** (normalmente con hojas esclerénquimas espinosas o ricas) y **suculentas** (con tallos u hojas que acumulan agua). Las **mesófitas** son plantas típicas que se adaptan a la cantidad regular de agua. Las **higrófitas** viven en ambientes en constante humedad, sus hojas se adaptan a la alta transpiración y a veces incluso a la gutación (exudación de gotas). Las **hidrófitas** crecen en el agua, sus hojas están frecuentemente en un estado de alta disección con el fin de acceder a gases disueltos en el agua, y los pecíolos y tallos de sus hojas tienen canales de aire para suministrar gases a los órganos bajo el agua.

En cuanto a la luz, las plantas pueden ser esciófitas o heliófitas. Las **esciófitas** prefieren la sombra antes que la luz del sol, sus hojas contienen en su mayoría mesófilo esponjoso.

Las **heliófitas** prefieren la luz del sol y, por lo tanto, sus hojas contienen mesófilo empalizado. En el grupo intermedio se encuentran las plantas de “sombra parcial”.

Los halófitos, halófitos nitratos, oxilófitos y calcícolos son grupos ecológicos que se adaptan a la presencia excesiva de químicos en particular. Las plantas **halófitas** son frecuentes, acumulan (y lucen de manera similar a las suculentas), excretan o evitan (lo que se ve como esclerófitos) cloruro de sodio (NaCl). Crecen en lugares con alta salinidad: costas, desiertos salados y praderas solonetz. Las plantas **halófitas de nitrato** crecen en suelos ricos en NaNO_3 . Los **oxilófitos** crecen en suelos ácidos, mientras que los **calcícolos** crecen en suelos básicos y calcáreos ricos en CaCO_3 .

Las hojas también reflejan su adaptación al substrato, formas ecológicas llamadas **psamófitos** (crecen en la arena), **petrófitos** (crecen en rocas) y **reófitos** (crecen en corrientes rápidas). Estas últimas a menudo tienen serias simplificaciones en su anatomía vegetal, sus hojas y tallos con frecuencia son reducidos a formar un cuerpo tipo talo.

Las plantas parásitas se pueden clasificar en micoparásitas, hemiparásitas y fitoparásitas. Las plantas **micoparásitas** se alimentan de hongos del suelo, las **fitoparásitas** son parásitas de raíz o de tallo que carecen de clorofila y fotosíntesis. Las plantas **hemiparásitas** son aquellas que sí tienen cloroplastos pero que toman una cantidad significativa de agua e incluso de compuestos orgánicos de la planta anfitriona (como el muérdago, *Viscum*).

5.4 El tallo

El tallo es un órgano axial de brote. Cumple la función de apoyo, transporte, fotosíntesis y almacenamiento. Tiene una estructura radial, sin pelos radicales y crece constantemente.

5.4.1 Morfología del tallo

La morfología del tallo es simple. Sus componentes son los **nudos** (lugares en los que las hojas se unen), los **entrenudos**, largos o cortos (en el último caso, hay plantas que a veces pareciera que no tienen tallos, como las rosetas).

Los tallos son diferentes según el tipo de filotaxis. El **filotaxis** es la disposición de las hojas. Si hay una hoja por nudo, la disposición es **espiral (alternada)**. Dos hojas por nudo es una **opuesta**. Las hojas opuestas pueden estar en el mismo ángulo o cada par puede rotar 90°. Si hay más de dos hojas por nudo, es una disposición **verticilada** y cada verticilo también puede rotar.

Cada tipo de filotaxis espiral tiene su propio ángulo de divergencia. Muchas de las disposiciones espirales siguen en su mayoría la **sucesión de Fibonacci**:

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{3}{8}, \frac{5}{13}, \frac{8}{21}, \dots$$

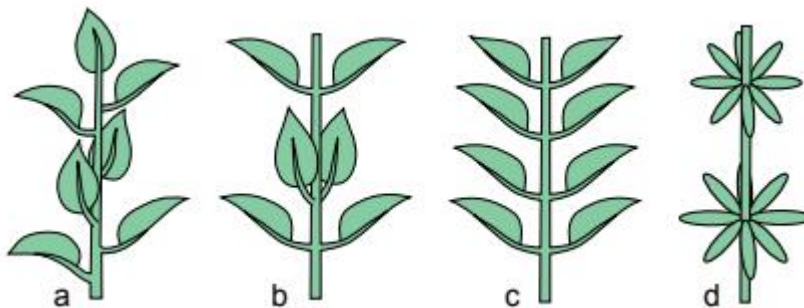


Figura 5.24. Tipos de filotaxis (disposición de las hojas): a, espiral (alternada); b y c, opuestas; d, verticilada.

Esta secuencia de números tiene una regla simple: en cada una de las fracciones siguientes, el numerador y el denominador son la suma de dos numeradores y denominadores previos, respectivamente. La sucesión parece ser completamente teórica pero asombrosamente es del todo aplicable a la ciencia de las plantas, es decir, a distintos tipos de filotaxis espiral (Fig. 5.25).

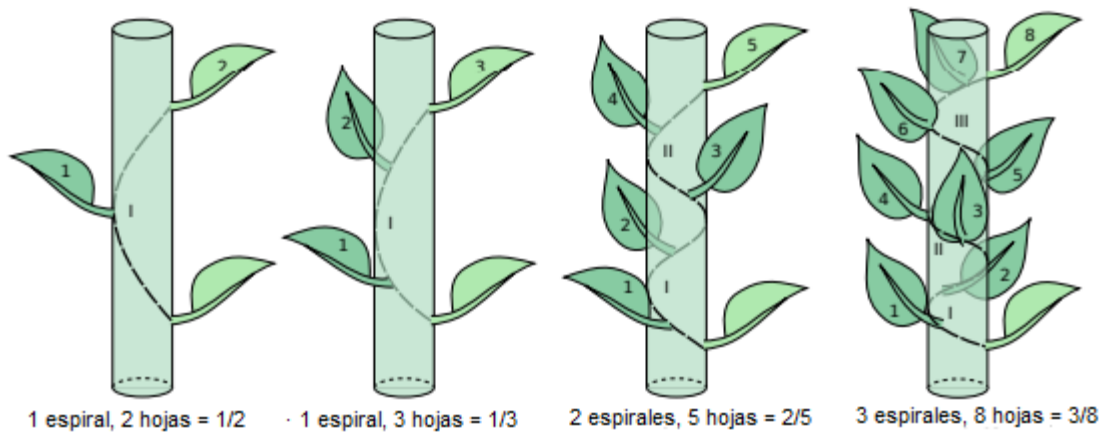


Figura 5.25. Siguiendo los cuatro primeros tipos de la secuencia de Fibonacci de filotaxis

espiral: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ y $\frac{3}{8}$.

Para determinar la fórmula de la filotaxis espiral, se necesita empezar con hojas arbitrarias (o cicatriz foliar) y luego encontrar la siguiente (superior) que esté *dirigida en la misma dirección*, está puesta en la misma línea. Entonces, se debería extraer el espiral imaginario a través de la base que comienza en el inicio de la hoja hacia la hoja superior correspondiente.

Este espiral debería atravesar todas las hojas intermedias, podría haber una, dos o más hojas intermedias. También, el espiral pasará al menos una vez alrededor del tallo (en lugar del espiral imaginario, es prudente usar un hilo delgado). Se necesita contar todas las hojas en el espiral excepto la primera y además contar el número de rotaciones.

El número de hojas contadas será el denominador de la fórmula y el número de las rotaciones es el numerador. Así es como aparecen los números de Fibonacci en la morfología foliar.

Estas fórmulas de la filotaxis son relativamente estables y, algunas veces, incluso específicas del taxón. Por ejemplo, las gramíneas (Gramineae) tienen $\frac{1}{2}$ de filotaxis, la juncia (*Carex*) tiene $\frac{1}{3}$, muchas rosáceas (como la manzana, *Malus* o la cereza, *Prunus*) tienen $\frac{2}{5}$, los sauces generalmente tienen $\frac{3}{8}$, y así sucesivamente.

Aún no hay completa claridad de por qué la filotaxis espiral se categoriza bajo una regla teórica matemática. La hipótesis más factible hace énfasis en el problema matemático del empaquetamiento de círculos y la competencia entre los primordios foliares alrededor del SAM.

5.4.2 Anatomía del tallo primario

La evolución de la planta dio como primer resultado los **tallos primarios** sin meristemas laterales ni tejidos secundarios. Solamente después de mucho tiempo las plantas “aprendieron” a engrosar sus tallos.

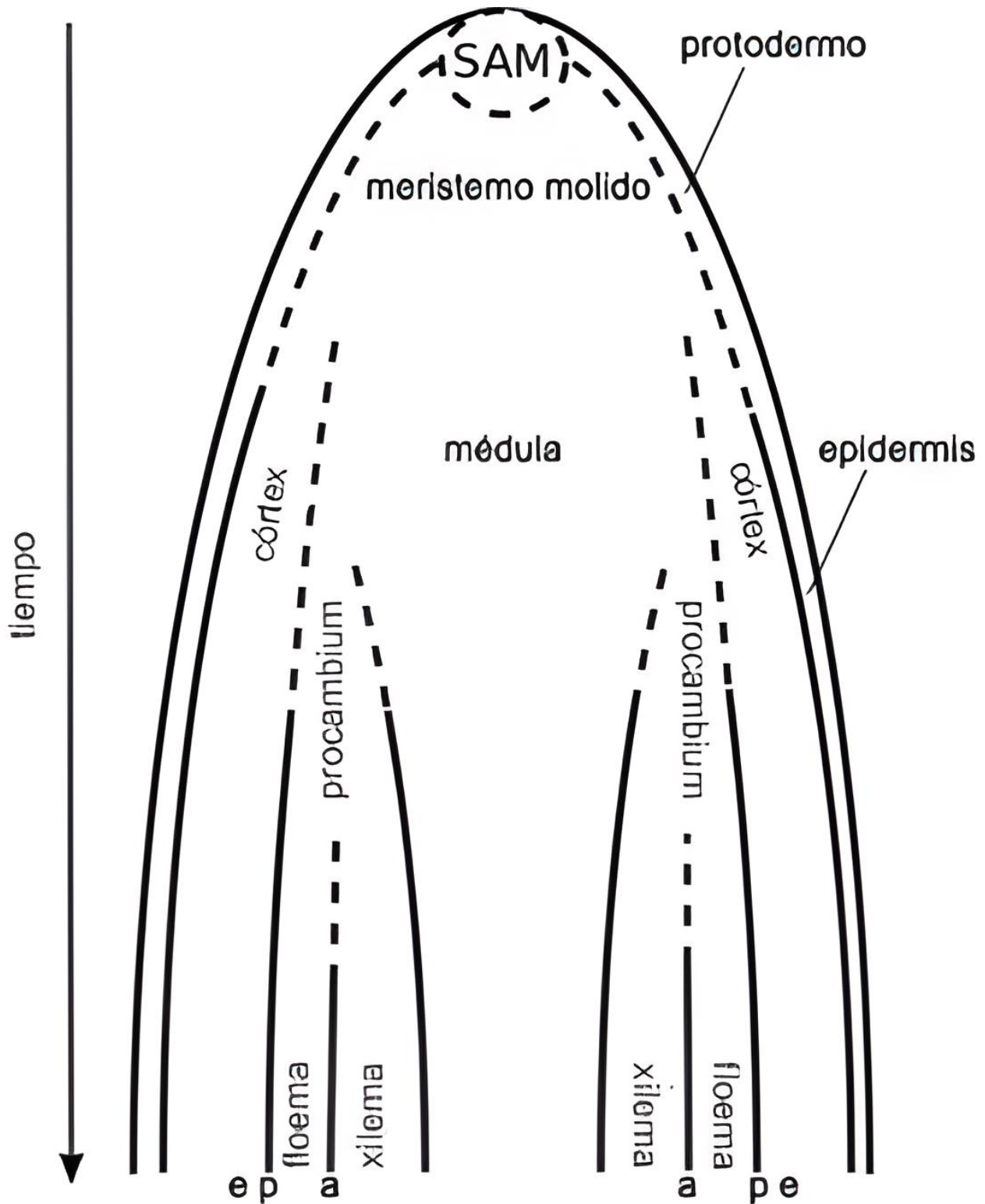


Figura 5.26. Origen del desarrollo de los tejidos del tallo (simplificado) Las letras e, p y a muestran respectivamente donde podría aparecer el endodermis, periciclo y cambium vascular.

El desarrollo del tallo comienza desde el meristemo apical del tallo (SAM) en la parte superior de la planta. El SAM forma tres meristemas primarios: el procambium, el protodermo y el meristemo molido. Las células del **protodermo** se diferencian en células epidérmicas. El **meristemo molido** se diferencia en el **córtex** y la **médula**. El **procambium** surge entre el córtex y la médula. Forma **haces** o **cilindros vasculares** (Fig. 5.26).

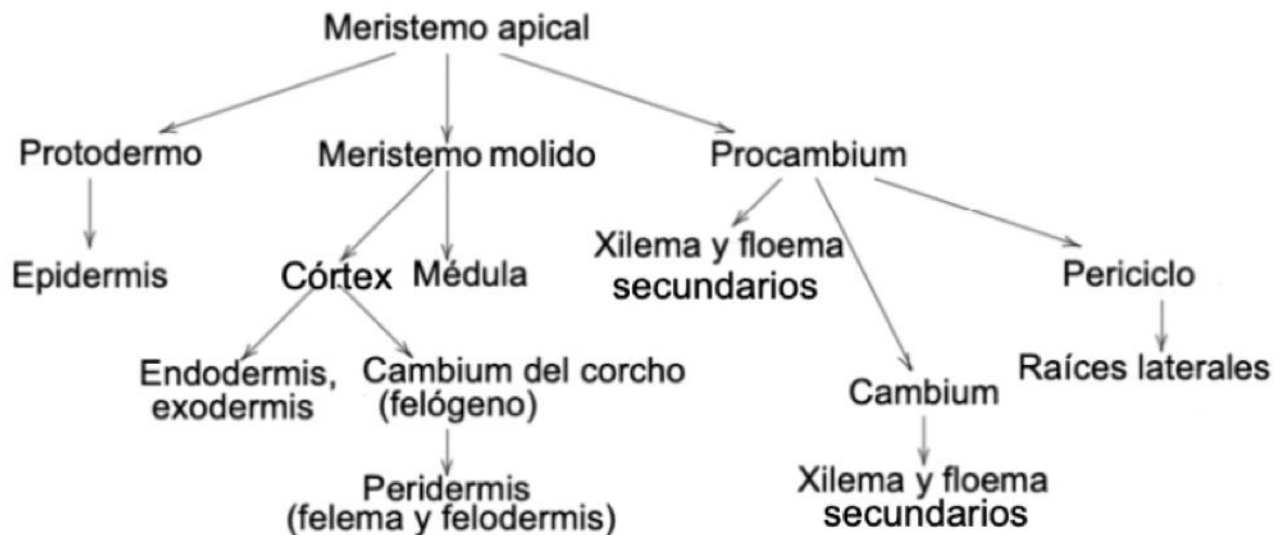


Figura 5.27. Origen del desarrollo de los tejidos del tallo (detallado). Los tejidos de la raíz tienen formas similares de desarrollo.

Las capas exteriores del procambium forman el *floema primario*. Las capas interiores pasan a ser el xilema primario. La capa del medio puede desaparecer completamente o formará el cambium para el engrosamiento secundario. De vez en cuando, las capas que están fuera del procambium pueden formar un **periciclo**. A veces, la capa de más adentro del córtex puede formar una **endodermis** (endodermo) (Fig. 5.28) y la capa de más afuera forma la **exodermis** (exodermo). Todas estas capas son un tipo de “control fronterizo” entre las capas funcionalmente diferentes del tallo. Otra variante frecuente es el desarrollo del colénquima en el córtex adyacente a la epidermis.

Los haces vasculares conectan a las hojas con los tallos. En muchas plantas, forman un anillo en la sección transversal del tallo. El parénquima (tejido molido) que se encuentra entre los haces vasculares normalmente pertenece al córtex y a la médula. Otra variante es un *cilindro vascular*, estructura que rodea por completo al tallo. Los tallos de los liliid (*monocot*) generalmente tienen haces vasculares dispersos. Estas tres variantes son

estelas, configuraciones generales del sistema vascular primario del tallo de la planta (Fig. 5.29). Los tipos más frecuentes de estelas son las **eustelas** (haces vasculares en un anillo), **solenostelas** (cilindros vasculares) y **atactostelas** (haces vasculares dispersos).

Todos estos tipos se originaron, probablemente, a partir de la **protostela**, una configuración en donde el floema rodea al xilema central y donde no hay médula (Fig. 5.30). Mientras que la

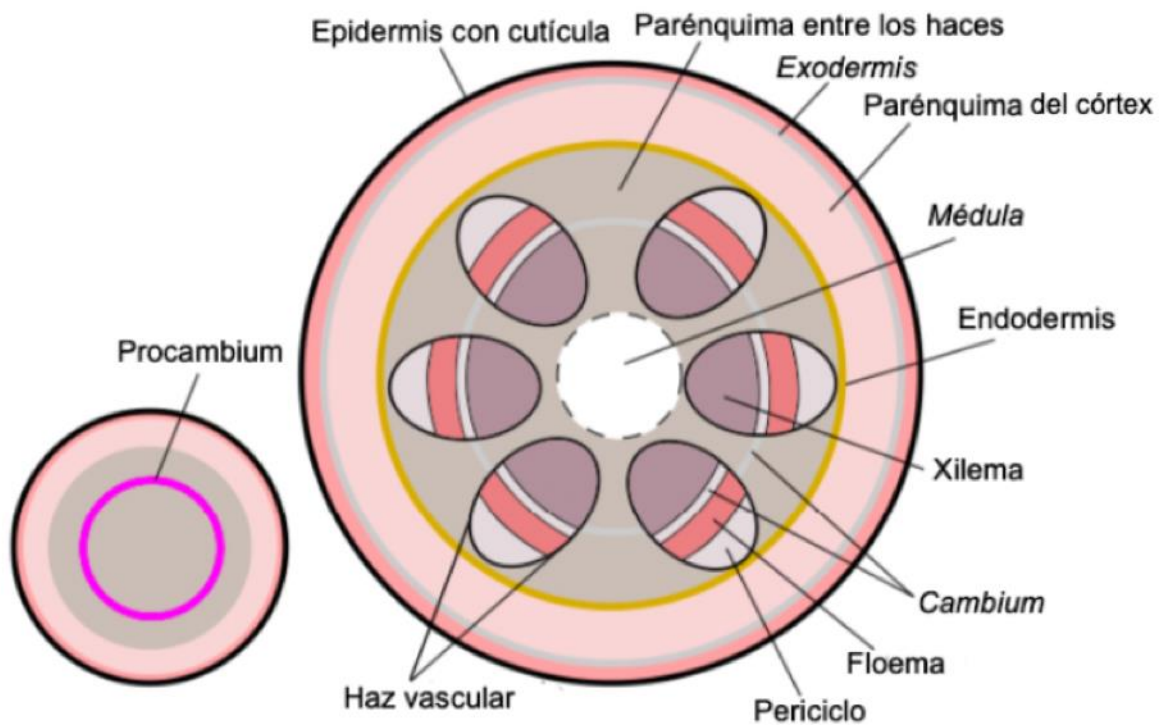


Figura 5.28. Anatomía del tallo primario (derecha). Se utiliza cursiva para los tejidos “opcionales”. La imagen pequeña a la izquierda es el tallo joven que consiste de epidermis, córtex, procambium y médula.

protostela estaba presente en varias plantas prehistóricas, hoy en día solo algunas licofitas (*Huperzia*) tienen protostelas en sus tallos. Dicho esto, es importante notar que las raíces de la mayoría de las plantas tienen tejidos vasculares organizados de manera similar a las protostelas.

.5.5 La raíz

La raíz es la innovación evolutiva más reciente dentro de la anatomía vegetal de los órganos vegetativos. Muchas de las plantas “primitivas” (todos los musgos e incluso algunos helechos como el *Psilotum*) no tienen raíces; algunas de las plantas de agua como la lenteja de agua (*Wolffia*) o el pinito de agua (*Ceratophyllum*) tampoco tienen raíces. Sin embargo, las plantas homeohídricas grandes necesitan suministro constante de agua y minerales y, así, este reto evolutivo obtuvo como respuesta la aparición del sistema radical.

La **raíz** es un *órgano axial de la planta con crecimiento geotrópico*. Una de las funciones de la raíz es suministrar el anclaje de la planta en el suelo o en otras superficies. Otras funciones incluyen la absorción y el transporte de agua y minerales, el almacenamiento de alimentos y la comunicación con otras plantas.

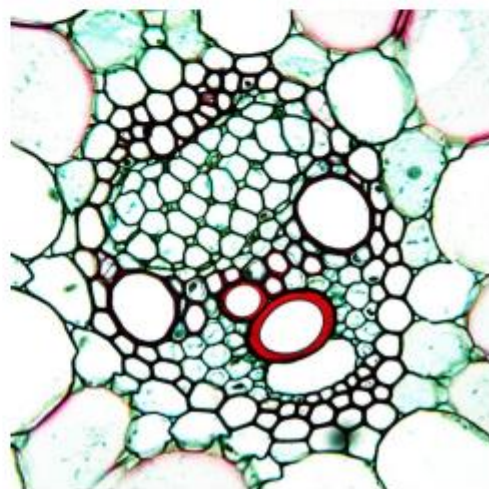
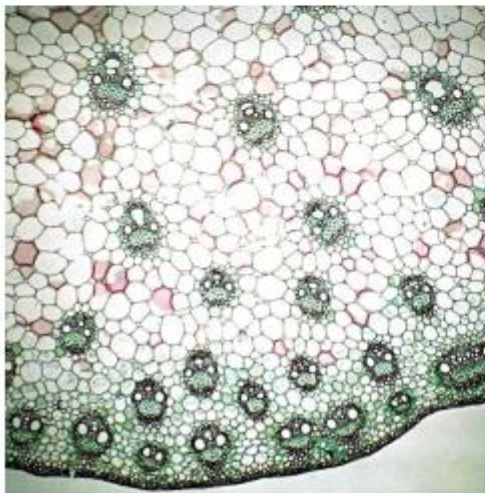
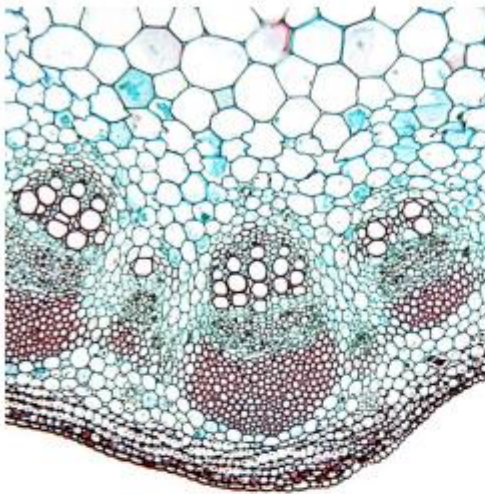


Figura 5.29. De izquierda a derecha, de arriba a abajo: eustela (segmento del tallo), vasos del xilema (sector longitudinal) y atactostela (segmento del tallo y haz vascular). La primera foto es del tallo de un *Helianthus*, la segunda es de un *Trifolium*, las últimas dos son del tallo de un *Zea*. Amplificadas x100 (en la primera y tercera) y x400 (en la segunda y cuarta).

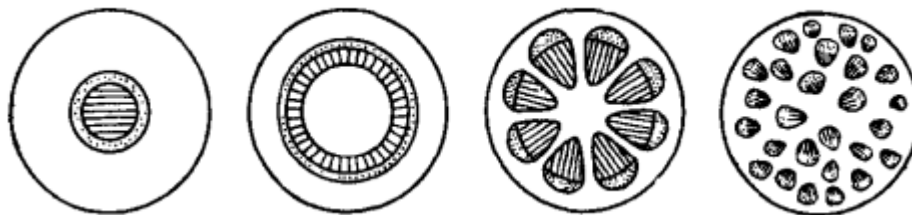


Figura 5.30. Las estelas (de izquierda a derecha): protostela, solenostela, eustela, atactostela. El xilema es lineado y el floema punteado.

5.5.1 Morfología de la raíz

Existen dos tipos de sistemas radicales. El primero es el de **raíz fasciculada** que tiene varias raíces grandes que se ramifican y forman una masa densa que no tiene una raíz primaria visible (“como el pasto”). El segundo es el de **raíz napiforme** que tiene solo una raíz principal que se ramifica hacia las raíces laterales (“como la zanahoria”).

Además de tener distintos sistemas, existen diferentes tipos de raíces: la **raíz primaria** se origina de la raíz de un plantón, la **raíz secundaria (lateral)** se crea a partir de las raíces primarias y, por último, la **raíz adventicia** se origina en el tallo (algunas veces en las hojas), un ejemplo son las raíces fúlcreas del pandano (*Pandanus*).

* * *

Las raíces pasan por una gran variedad de modificaciones que las ayudan a interactuar, almacenar y protegerse. Por ejemplo, las raíces de las plantas parásitas se modifican para transformarse en **haustorios**, que se insertan en el tejido vascular de la planta hospedante y viven de su agua y nutrientes.

Las raíces de los manglares (plantas que crecen en pantanos costeros oceánicos) a menudo se modifican para convertirse en **raíces aéreas de soporte** (“piernas”). Ya que

estas plantas pantanosas necesitan oxígeno para permitir la respiración celular en las partes subterráneas, existen los **neumatóforos**, raíces especializadas que crecen hacia arriba y que absorben el aire de manera pasiva a través de múltiples poros. Las plantas que crecen en la arena (psamófitas, véase anteriormente) tienen otro problema: su substrato desaparece constantemente. Para prevenir esto, las plantas desarrollaron **raíces contractivas** que pueden acortar y plantar el cuerpo vegetal de manera más profunda en la arena.

¡Algunas de las raíces de la orquídea son verdes y fotosintéticas (Fig. 5.31)! Sin embargo, como regla, la raíz es un órgano heterotrófico, ya que las células de la raíz no tienen acceso a la luz.

Los **nódulos radicales** están presentes en las raíces de las plantas fijadoras de nitrógeno, contienen bacterias capaces de desoxidar el nitrógeno atmosférico en amoníaco: $N_2 \rightarrow NH_3$.

Los nódulos radicales también contienen proteínas parecidas a la hemoglobina que facilitan la fijación de nitrógeno al mantener baja la concentración de



Figura 5.31. Raíces fotosintéticas de la orquídea sin hojas, *Chiloschista segawai*.

oxígeno. Las plantas que fijan el nitrógeno son frecuentes, en especial dentro de la *rósida faboideae*: legumbres (de la familia leguminosae) y muchos otros géneros (como el aile, *Alnus* o la cereza de bisonte, *Shepherdia*) tienen nódulos radicales con bacterias. Otras

plantas (helecho de agua, *Azolla* y nalca, *Gunnera*) utilizan la cianobacteria con el mismo propósito.

La **micorriza** es una modificación radical que comienza cuando el hongo se introduce en la raíz y la hace más eficiente en la absorción de minerales y agua: esta los intercambiará por compuestos orgánicos. Además del hongo micorriza, los **hongos endófitos** habitan otros órganos y tejidos vegetales.

5.5.2 Anatomía de la raíz

En la *sección longitudinal* de la nueva raíz en proceso de crecimiento, hay distintas capas o zonas horizontales: la caliptra que cubre las *zonas de división, elongación, absorción y maduración* (Fig. 5.32). La **caliptra** protege al meristemo apical de la raíz (RAM), que es un grupo de pequeñas células con forma regular. El **centro inactivo** es una parte pequeña del RAM ubicada en su centro en el que las células iniciales se dividen y producen todas las otras células de la raíz. La caliptra es responsable del crecimiento geotrópico, si la punta de la raíz tiene contacto con una barrera, la caliptra lo sentirá y crecerá en una dirección diferente con el fin de rodearla.

La **zona de elongación** es donde las células comienzan a estirarse, lo que les da longitud. La **zona de absorción** es donde el tejido de la rizodermis (pelos radicales)

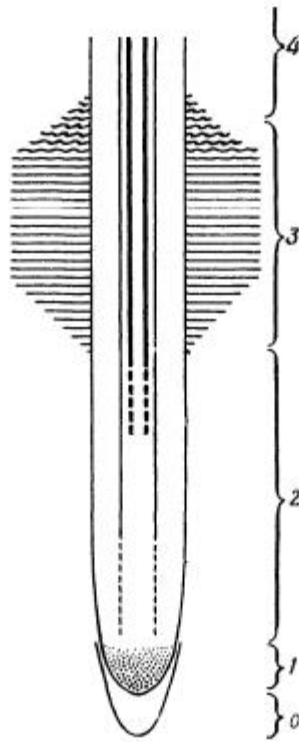


Figura 5.32. Zonas radicales: 0, caliptra; 1, zona de división; 2, zona de elongación; 3, zona de absorción; 4, zona de maduración.

se desarrolla y donde el agua y los nutrientes se absorben y penetran en la planta. Los pelos radicales comienzan a degradarse dentro de la **zona de maduración**, muchas células comienzan a adquirir paredes secundarias y se desarrollan raíces laterales (Fig. 5.32).

En la *sección transversal* de la raíz, que se encuentra dentro de la zona de absorción, el primer tejido es la rizodermis que también se conoce como la epidermis de la raíz. Luego se encuentra el córtex, que separa las capas unicelulares de la *exodermis* externa y la *endodermis* interna del cilindro vascular (Fig. 5.33). Normalmente, las raíces no tienen médula. En algunos casos (por ejemplo, en las orquídeas), el córtex puede tener un *velamen* (véase anteriormente) compuesto por múltiples capas, otro tejido de absorción.

El cilindro vascular se encuentra en el centro de la raíz, contiene al periciclo que se compone principalmente del parénquima y la endodermis adyacente. Las células del periciclo pueden ser usadas como almacenamiento, contribuyen al cambium vascular e inician el desarrollo de las raíces laterales. En consecuencia, estas raíces

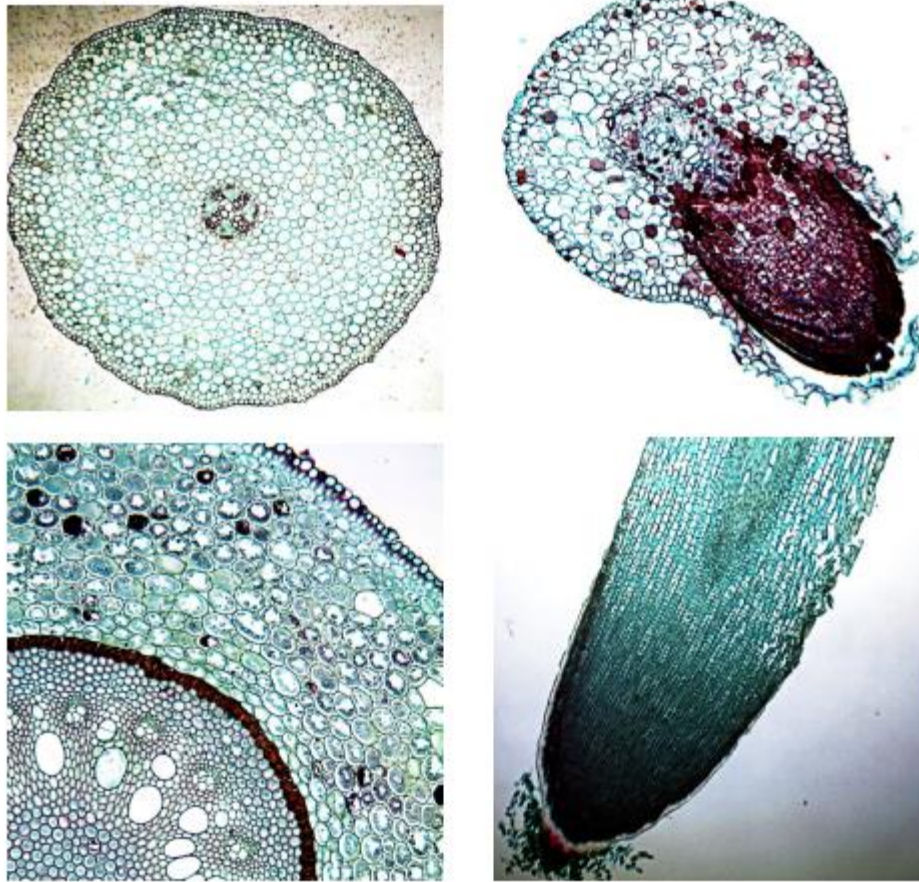


Figura 5.33. De izquierda a derecha, de arriba a abajo: Raíz de *Ranunculus* con xilema de cuatro rayos, raíz de *Salix* con la raíz lateral en desarrollo, raíz de *Smilax* con la banda de Caspary visible en la endodermis; raíz de *Zea* y sección longitudinal con caliptra, zonas de división y elongación. Amplificadas $\times 100$ (en la segunda) y $\times 40$ (en las otras).

se desarrollan de manera endógena y rompen los tejidos que se ubican afuera, como los aliens en la famosa película. El floema de la raíz se organiza en múltiples hebras mientras que, normalmente, el xilema tiene una estructura radial, algunas veces con forma de estrella con unos cuantos rayos (Fig. 5.34). En este último caso, las hebras del floema se localizan entre los rayos del xilema.

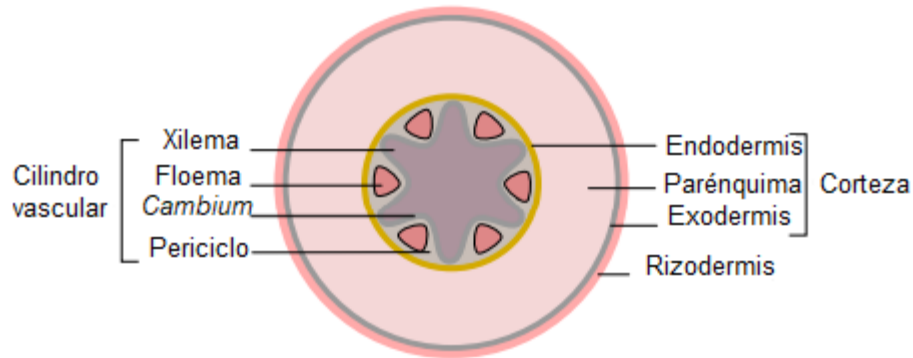


Figura 5.34. Anatomía de la raíz: sección transversal a través de la zona de maduración.

Los tejidos de la raíz se desarrollan de manera similar al tallo, el RAM da lugar al meristemo molido, procambium y protodermo, que a su vez crean todos los tejidos primarios mencionados anteriormente. Más tarde, el periciclo origina raíces laterales o cambium vascular y luego esto produce el xilema y el floema secundario. La raíz secundaria es similar al tallo secundario (véase a continuación).

5.5.3 Transporte de agua y azúcar en las plantas

Las plantas necesitan agua para facilitar la fotosíntesis (¡el oxígeno proviene del agua!), para enfriarse por medio de la transpiración y para utilizar microelementos diluidos. El velamen muerto (tipo papel), el rizoide (tipo pelo) y la rizodermis viva son responsables del consumo de agua.

En la rizodermis, los pelos radicales aumentan el área de superficie donde la planta tiene que absorber los nutrientes y el agua. Para consumir agua, los pelos de las células incrementan la concentración de químicos orgánicos (el proceso que necesita ATP) y luego usa la osmosis. Hay dos maneras en las que ocurre el transporte de agua: apoplástica o simplástica. El transporte *apoplástico* mueve el agua a través de las paredes celulares del córtex desde la rizodermis hacia la endodermis. Las paredes celulares de la endodermis contienen la **banda de Caspary** (rica en suberina hidrofóbica y lignina) que previene que el agua pase a través de la pared celular y fuerza el transporte *simplástico* (Fig. 5.35) mediante citoplasmas y plasmodesmos. El transporte simplástico se dirige solo al centro de la raíz y requiere ATP para funcionar.

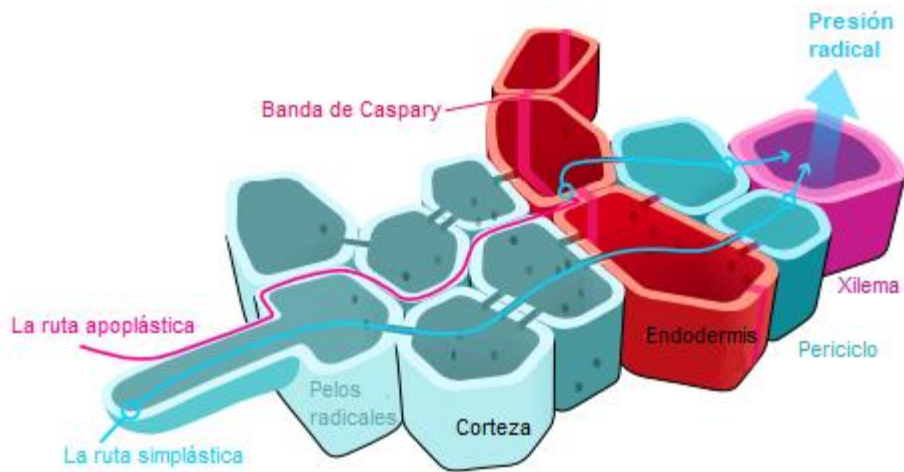


Figura 5.35. Transporte apoplástico y simplástico en las raíces.

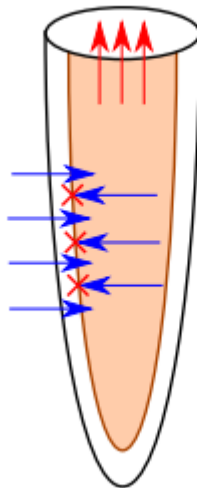


Figura 5.36. El origen de la presión radical: el agua entra al cilindro vascular pero no puede volver a salir debido a la endoderma (línea café). La única vía posible es ir hacia arriba.

Al bombear agua dentro del cilindro vascular y no dejar que vuelva a salir, las células endodérmicas crean la **presión radical** (Fig. 5.36). Es fácil de observar en plantas herbáceas altas cortadas a ras del suelo: las gotas de agua inmediatamente aparecerán en el corte. Dentro de los elementos traqueales del xilema, el agua se mueve con la presión radical, la capilaridad y la presión de succión de la transpiración. Esto último significa que la columna de agua no quiere romperse y que si el agua desaparece de la parte de arriba

(los estomas en las hojas), moverá el agua dentro de la planta. La principal dirección del movimiento del agua es de las raíces a las hojas, por ejemplo, hacia arriba.

Los productos de la fotosíntesis (azúcares) se mueven dentro de las células vivas del floema; estas células (tubos cribosos) usan solo el transporte simplástico para distribuir glucosa y otros componentes orgánicos entre todos los órganos de las plantas. De hecho, el floema transporta a estos componentes en todas direcciones: a las flores (normalmente hacia arriba) y, al mismo tiempo, a las raíces (normalmente hacia abajo).

Capítulo 6

Diversidad creciente de las plantas

Cuando las plantas desarrollan tejidos y órganos básicos y, por consiguiente, se vuelven lo suficientemente maduras para sobrevivir en la tierra, comienzan a aumentar su diversidad. Todas las plantas estudiadas en este capítulo y en el siguiente pertenecen a la categoría de plantas² o al reino Vegetabilia que se divide en tres filos (Fig. 6.1): briofitas (musgos y parientes), pteridofitas (helechos y afines) y espermatofitas (plantas con semillas). Las diferencias más notables entre estos tres filos radican en la organización de sus ciclos de vida.

Las plantas terrestres tienen un ciclo de vida espórico (Fig. 4.13), que comienza con un diplonte (esporófito); la célula madre de las esporas lleva a cabo la meiosis y produce esporas haploides. Estas se convierten en un haplonte que produce gametangios femeninos y masculinos (“hogar” de los gametos). Los femeninos se llaman *arquegonios* mientras que los masculinos *anteridios*; el arquegonio produce un ovocito que se fertiliza por el espermatozoide del anteridio en el proceso de oogamia. Cuando ocurre esta fertilización, forma un cigoto diploide que luego madurará y se convertirá en un *esporófito joven que crece en un gametofito*. Este tipo de parasitismo dentro de la misma especie es casi único en el mundo de los seres vivos. Solo los animales vivíparos (como el embarazo en los mamíferos) se podrían comparar con las plantas terrestres.

6.1 Briofitas: los musgos

Las briofitas tienen una predominancia de gametofitos mientras que las pteridofitas y las espermatofitas tienen una de esporófitos (y la diferencia principal entre las pteridofitas y las espermatofitas es que esta última tiene semillas). Las briofitas se componen de aproximadamente 20 000 especies. No tienen raíces, pero tienen células que murieron hace mucho tiempo que son capaces de absorber agua a través del transporte de apoplasto, estas células se llaman **células rizoides**. Se reduce su esporófito a un **esporogonio**, básicamente un esporangio con seta (tallo) y generalmente es parasitario. El gametofito de las briofitas comienza su desarrollo a partir de un

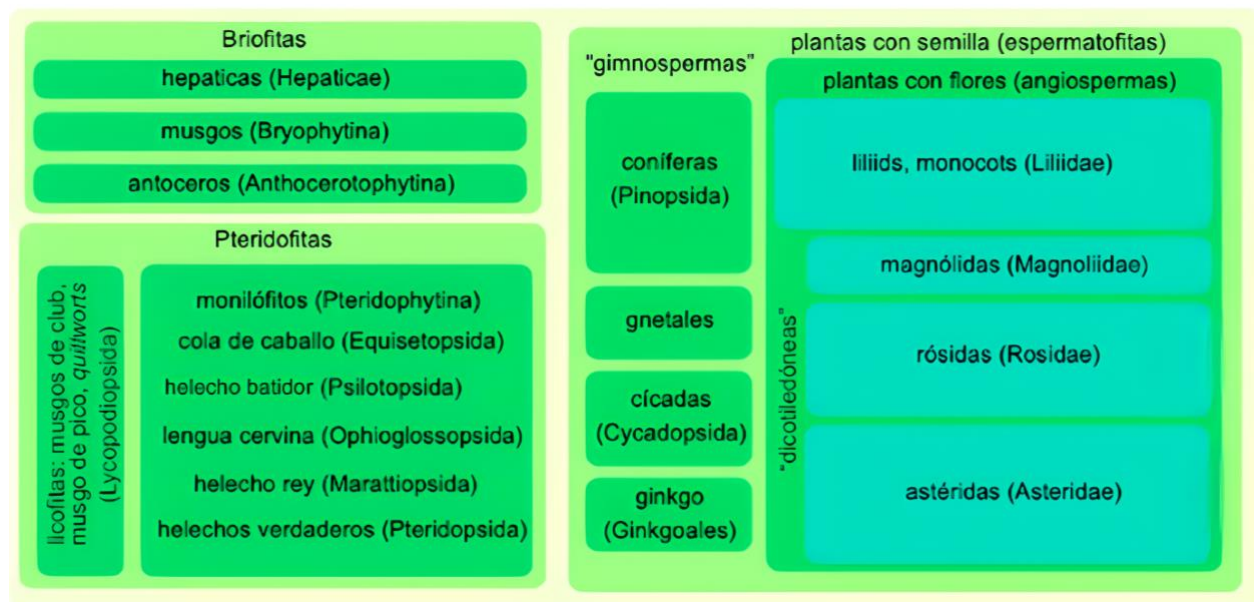


Figura 6.1. Clasificación de las plantas²: esquema detallado.

protonema, una cadena de células. Las briofitas son poiquilohídricas; pasan por deshidratación o concentraciones de agua extremadamente bajas sin ningún daño fisiológico grave para la planta.

El ciclo de vida de los musgos es similar al ciclo de vida general de las plantas terrestres descrito anteriormente. Comienzan con un gametofito con arquegonios y anteridios. El anteridio produce espermatozoides biflagelados que fertilizan el óvulo, lo que produce un cigoto diploide; este crece y se convierte en un esporogonio y sus células (células madre de las esporas) llevan a cabo la meiosis, lo que produce esporas haploides. Estas se esparcirán con el viento, llegarán al sustrato y germinarán en un estado de protonema para luego convertirse en un gametofito verde bien desarrollado. La mayoría de los gametofitos de los musgos tienen una anatomía de brote que consiste de un tallo y hojas (sin raíces) mientras que otras tienen una de tipo talo que es plana, parecida a una hoja con una estructura indiferenciada.

Hay tres grupos principales, también conocidos como subfilos, de las briofitas: Hepaticae (hepáticas), Bryophytina (musgos verdaderos) y Anthocerotophytina (antoceros).

Las **Hepaticae** son cercanas filogenéticamente a las algas verdes. Su talo normalmente tiene partes dorsales y ventrales y el esporangio se parece a una bolsa. Dentro del esporangio no hay columna central (columela), pero sí eláteres, que son células que sueltan esporas. Una de las hepáticas más comunes sobre la tierra es la *Marchantia*, que se encuentra comúnmente en lugares húmedos y sombreados. Se volvió una maleza frecuente en los invernaderos.

La **Bryophytina** consiste de muchas clases (Fig. 6.2), las más importantes son la **Sphagnopsida** (musgos de turbera), la **Polytrichopsida** (musgos de pelo) y la **Bryopsida** (musgos verdes). Las Bryophytinas tienen una anatomía parecida a la de brote, estructurada radialmente con tallo y hojas delgadas. Su esporogonio es largo y tiene columela, pero no tiene eláteres. Los esporogonios de los musgos verdaderos generalmente tienen **peristoma**, una estructura que ayuda con la distribución de las esporas. Algunos musgos verdaderos avanzados (musgos de pelo, *Polytrichum*) tienen gametofitos altos con tejidos protovasculares, mientras que otros (*stinkmosses*, en inglés, *Splachnum*) utilizan insectos para la distribución de esporas. Los musgos de turbera (*Sphagnum*) son, probablemente, el género más importante económicamente de las briofitas.

Desde un punto de vista evolucionario, las **Anthocerotophytina** (Fig. 6.3) son las más cercanas al siguiente filo, las pteridofitas (helechos y afines). Los antoceros tienen una anatomía de talo aplanada, su largo esporogonio fotosintético tiene columela y eláteres. La presencia de estomas en los esporogonios y la capacidad que tienen algunos antoceros para dividirse y, a veces incluso, vivir de forma independiente de los gametofitos proporciona un soporte para la posición avanzada de este grupo. Los antoceros son raros y bastante pequeños (miden algunos milímetros) y, al igual que las hepáticas, crecen principalmente en lugares húmedos y sombreados.

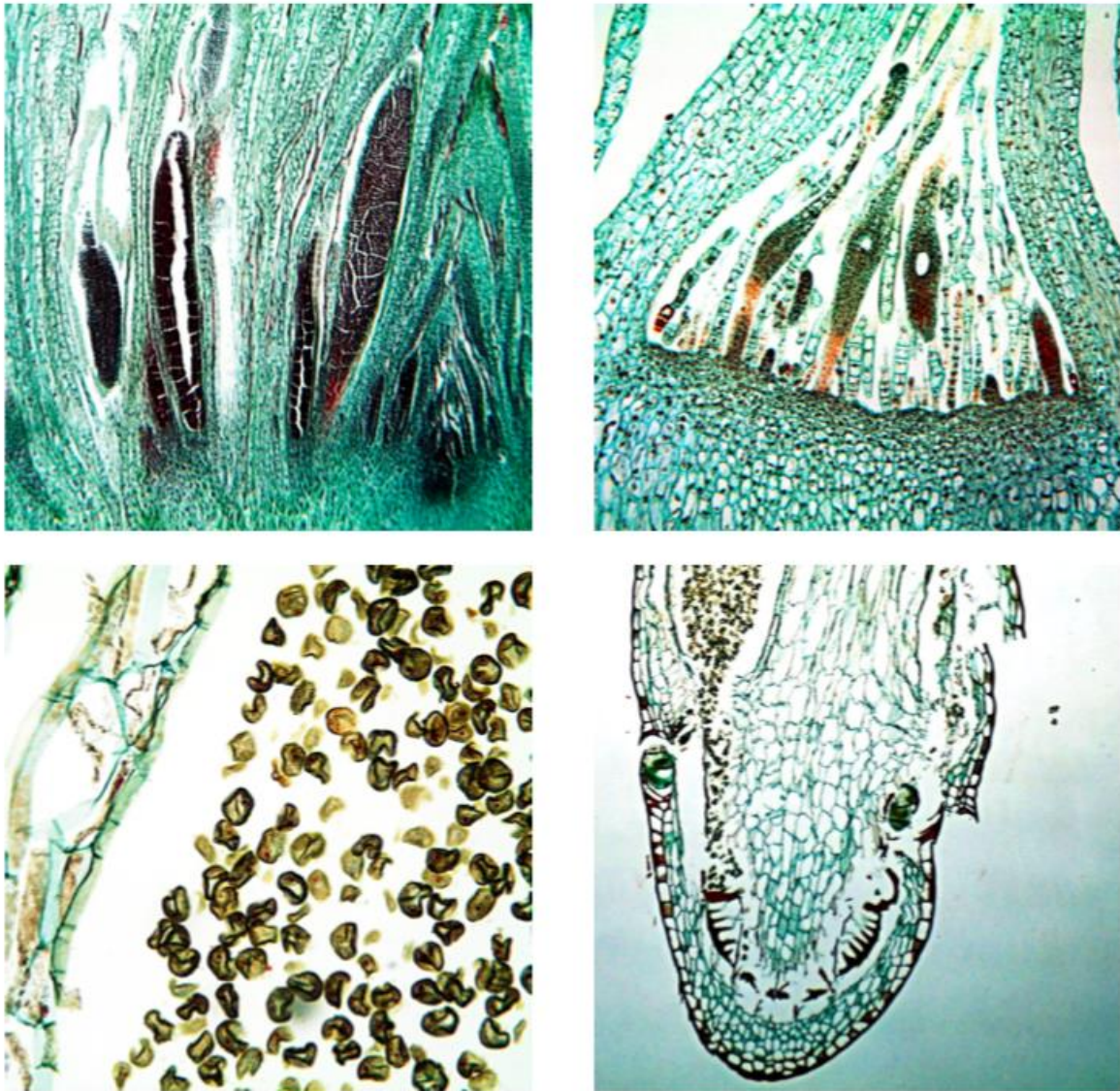


Figura 6.2. De izquierda a derecha, de arriba a abajo: anteridios (Bryopsida), arquegonios, esporas y la base del esporogonio del *Mnium*. Amplificadas $\times 100$ (en la primera y segunda) y $\times 400$ (en la tercera) y $\times 50$ (en la cuarta).

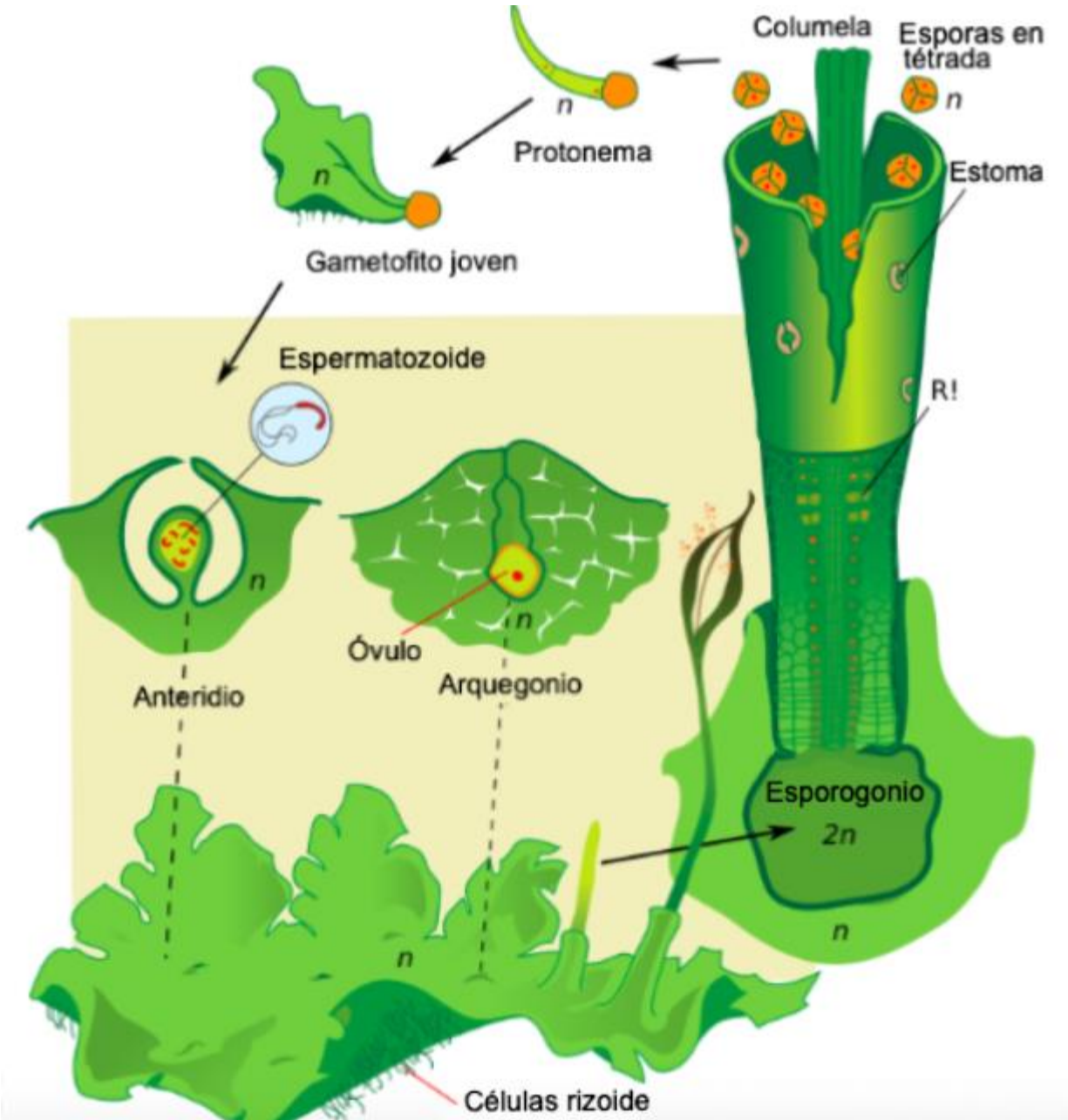


Figura 6.3. Ciclo de vida del *Phaeoceros* (Anthocerotophytina).

A los musgos se les conoce como la “muralla evolutiva” puesto que su gametofito poiquilohídrico necesita agua para la fertilización y no tiene un sistema de raíces; esto restringe su tamaño y requiere un crecimiento denso. Sin embargo, si los órganos sexuales están cerca de la superficie del suelo, el esporogonio parásito no crecería lo suficiente y, en consecuencia, no sería capaz de distribuir esporas efectivamente en el viento.

Tres fuerzas naturales “desgarran” el cuerpo del musgo: el viento y la luz exigen que la planta sea más alta, mientras que el agua, que sea más pequeña (Fig. 6.4). Los musgos no resolvieron este conflicto.

La única manera de arreglar la situación apropiadamente sería que el esporófito fuese más alto, que crezca independientemente y, por lo tanto, reducir el dominio del gametofito. Esto es lo que hicieron los helechos (Fig. 6.5).

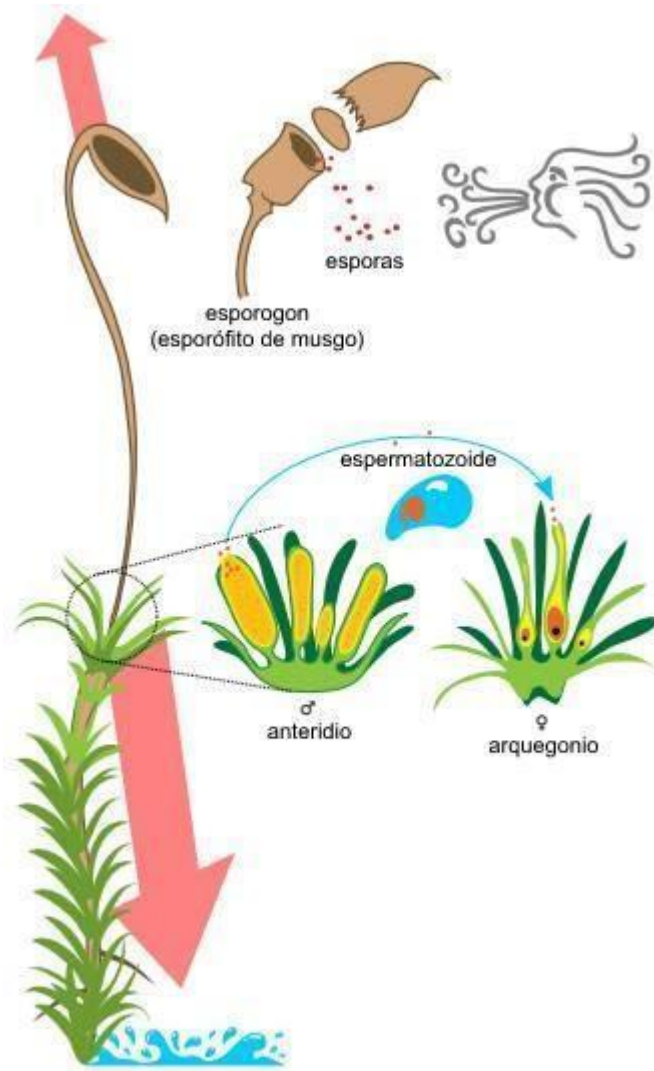


Figura 6.4. Dos fuerzas que interrumpen la evolución del musgo.

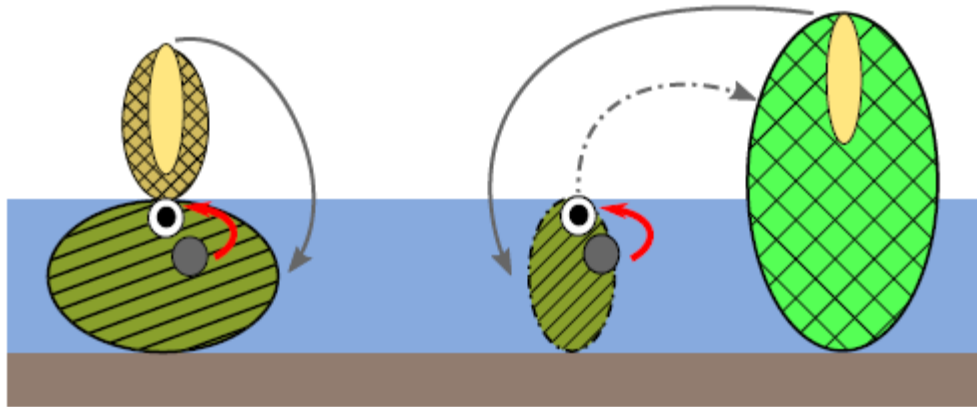


Figura 6.5. Musgos (izquierda) versus helechos (derecha). El nivel del agua es azul, el esporangio es amarillo, el gametangio es gris. Las flechas rojas muestran la fertilización (en el agua), las flechas grises muestran los ciclos de vida. Las líneas con puntos señalan que los esporófitos del helecho se *independendizan* de sus gametofitos efímeros.

6.2 Pteridofita: los helechos

La **pteridofita** (helechos y afines) tiene aproximadamente 12 000 especies y seis clases (Fig. 6.6). Tiene un ciclo de vida esporico y una predominancia esporofítica, mientras que sus gametofitos se reducen a menudo a protalo, planta pequeña tipo antocero. Otra variante frecuente es el gametofito micoparásito subterráneo. La pteridofita (con solo una excepción) tiene raíces verdaderas. La mayoría de ellas tienen tejidos vasculares y son homeohídricas. Es por esto que a las plantas con semilla, junto con los helechos, se les llama **plantas vasculares**. Los esporófitos de la pteridofita siempre inician su vida desde un embrión que se encuentra en el gametofito. A pesar de que la pteridofita tiene xilema y floema verdadero, esta no tiene un engrosamiento secundario desarrollado.

La mayoría de las pteridofitas antiguas aparecieron en el período Silúrico, se consideraban riniofitas. Esta última tenía gametofitos terrestres bien desarrollados y esporófitos sin hojas de ramificación dicotómica relativamente cortos. Los siguientes pasos importantes fueron la formación de hojas y la posterior reducción de los gametofitos.

6.2.1 Diversidad de las pteridofitas

La **lycopodiopsida** o licofita tiene al menos cuatro géneros y más de 1 200 especies. Las licofitas pertenecen al linaje **microfilo** de las pteridofitas. Esto quiere decir que sus hojas se generan cuando emerge el tallo a la superficie y, por esto, son más similares a las hojas de musgo que a cualquier otra hoja de plantas pteridofitas y de semilla. El esporangio licofita está relacionado con las hojas y a menudo forman **estróbilos**, que es una condensación de las hojas que tienen esporangio (**esporofilo** cuando son parecidas a las hojas o **esporangióforo** cuando son divergentes). Su espermatozoide por lo general tiene 2 flagelos (al igual que los musgos) pero a veces también son multiflagelados (como los espermatozoides de otros helechos). La licofita solía ser la planta dominante de los bosques tropicales pantanosos carboníferos y ahora sus restos se convirtieron en carbón. Las licofitas actuales son mucho más pequeñas pero aún así florecen en lugares húmedos y cálidos. Otras licofitas basales (musgo club *Huperzia* y *Lycopodium*) tienen poros y gametofitos subterráneos iguales, mientras que la *Selaginella* (musgo de pico) y la *Isoëtes* (lacustre) más avanzadas son ambas heterospóreas (véase a continuación) con menos gametofitos terrestres. El lacustre es un descendiente directo del árbol gigante licofita del periodo carbonífero y, a pesar de ser un hidrófito subacuático, sigue manteniendo el grosor secundario poco común del tallo. Muchos musgos de pico son poiquilohídricos (otra similitud con los musgos).

gametofitos subterráneos de larga vida; además, tienen espermatozoides multiflagelados similares a todos los otros helechos. Ambos, *Psilotum* y *Tmesipteris* les faltan raíces; así mismo, al *Psilotum* también le faltan hojas.

La **ofioglósida** (lengua cervina) es un grupo pequeño que consiste de aproximadamente 75 especies y son los parientes más cercanos de los helechos batidores. La ophioglossopsida tiene un rizoma subterráneo (a veces con rastros de engrosamiento secundario) con hojas terrestres divididas: una mitad de cada hoja es el limbo mientras que la otra mitad se convierte en *esporofilo*. Los gametofitos también crecen bajo tierra. *Ophioglossum vulgatum*, también conocido como la lengua de serpiente, tiene números cromosómicos $2n = 1\ 360$, ¡que es el número de cromosomas más grande de todos!

Las **maratiópsidas** (helechos gigantes) son plantas tropicales con distintos géneros y con aproximadamente 100 especies. Estas son similares a los helechos reales y tienen hojas compuestas que son enrolladas cuando son jóvenes. Estas, además, son los helechos más grandes, ya que una sola hoja puede medir seis metros de largo. Tienen tallos cortos y hojas con estípulas. Su esporangio tiene paredes de múltiples capas que se fusionan para hacer sinangios (no como los helechos reales). Al mismo tiempo, estos se localizan al fondo de la superficie de las hojas (tal como los helechos reales). Los gametofitos son relativamente grandes (de 1 a 2 cm), son fotosintéticos y, por lo general, viven un largo tiempo. Estos helechos eran importantes en los bosques pantanosos carboníferos.

Las **pteridópsidas** (helechos reales) tienen más de 10 000 especies y generan la mayor cantidad de **monilófitos** (todas las clases de Pteridofitas excepto las licofitas). Sus hojas se llaman **frondas** por su crecimiento atípico; las hojas jóvenes se enrollan en **brotos de helechos** (Fig. 6.7). Los helechos reales son **megafilos**; sus hojas se originan de ramificaciones aplanadas. Los helechos reales tienen un esporangio único: el **leptosporangio**. Este se origina de una célula única en una hoja, tienen pedículos largos y delgados y la pared de una capa celular; además, estos se abren activamente: cuando un esporangio madura (se seca), la fila de células con paredes engrosadas (**anillo**) se encoge de una manera más lenta que las células que la rodean y, finalmente, se rompería y liberaría todas las esporas al mismo tiempo. El leptosporangio, además, se agrupa en aglomeraciones que se llaman **soros**, que, a menudo, están cubiertos con **indusio**, algo

parecido a un paraguas o bolsillo. Los gametofitos de la pteridopsida son minutas y crecen en la superficie. Algunos géneros de los helechos reales (como el helecho de agua *Azolla*, el trébol de agua *Marsilea* y muchos otros) son heterospóricos.

Los helechos reales son muy competitivos incluso con las angiospermas. A pesar de su ciclo de vida “primitivo”, estos tienen múltiples ventajas: la capacidad de fotosintetizar en sombras intensas (no son forzadas a crecer rápido), de sobrevivir en humedades altas y de formar miles de millones de unidades reproductivas (esporas). Los helechos no tienen que gastar sus recursos en flores y frutas y, además, están menos vulnerables a los herbívoros vertebrados y a las plagas de insectos, lo más probable es porque no los usan como polinizadores y, por consiguiente, pueden envenenar los tejidos de todos los animales.

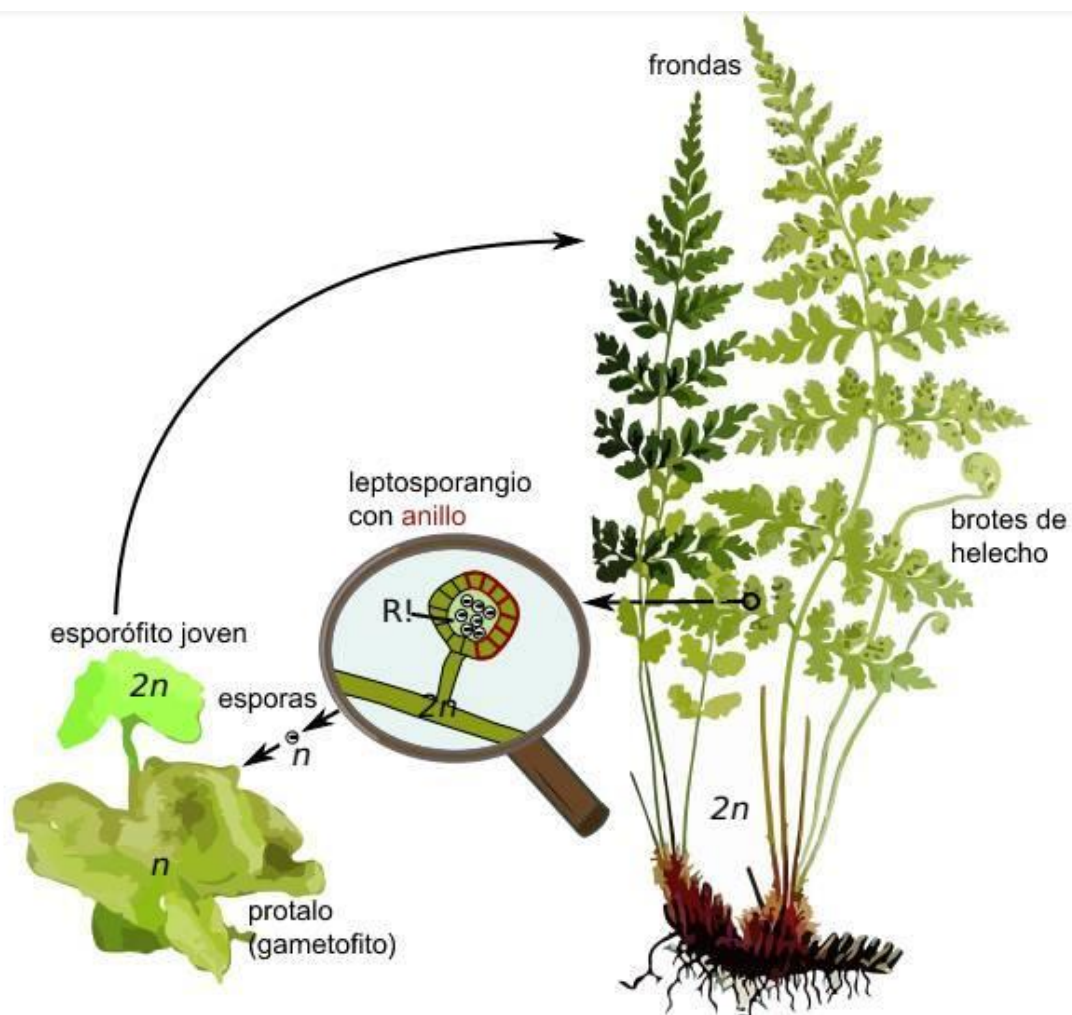


Figura 6.7. Etapas seleccionadas del ciclo de vida del *Cyrtopteris*, representativo de la pteridopsida.

6.2.2 Heterosporia: el siguiente paso en la tierra

Los animales vertebrados se volvieron completamente terrestres (los anfibios fueron los primeros reptiles) solo cuando su fertilización se volvió completamente independiente del agua. Las plantas comenzaron a realizar esta misma “iniciativa evolutiva” incluso con mucha más anterioridad, sin embargo, mientras que los reptiles activamente se acercan a sus parejas sexuales, las plantas no pueden hacer lo mismo, ya que sus tejidos y órganos evolucionaron con un objetivo completamente distinto. En lugar del sexo activo, las plantas utilizan el “bombardeo en alfombra” con esporas; esto se generó para aumentar la posibilidad de que las esporas terrestres cercanas y la distancia entre la esperma y el óvulo sea mínima.

Sin embargo, ya que el simple aumento en la cantidad de esporas es una gran pérdida de recursos, las plantas minimizan el tamaño de las esporas; esto también permitirá la distancia más larga para la dispersión. Por otro lado, algunas esporas deben mantenerse grandes porque su embrión (si ocurre la fertilización) necesitará el apoyo del gametofito alimentador. Por lo tanto, las plantas terminaron con la división del trabajo: las numerosas y minúsculas esporas masculinas que crecen para ser gametofitos masculinos con solo con anteridio y algunas esporas femeninas grandes que forman gametofitos femeninos que producen solo arquegonio (Fig 6.8).

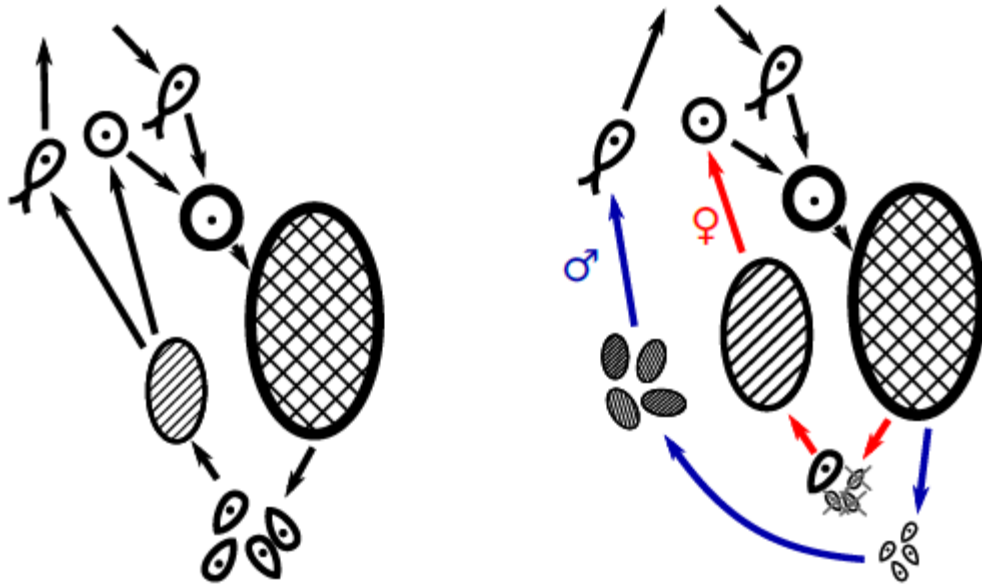


Figura 6.8. Ciclo de vida desde homospórico hasta heterospórico.

Este ciclo **heterospórico** hace que la fertilización dependa menos del agua y más de la distribución de esporas y de las características de los gametofitos (Fig. 6.9). También permite numerosas mejoras futuras.

La división del trabajo permite que los recursos se utilicen de manera más eficiente y también restringe la autofertilización. En la evolución de las plantas, la necesidad de la heterosporia fue alta porque surgió de manera independiente en múltiples grupos de pteridofitas e incluso entre los musgos. En casos extremos de heterosporia (Fig. 6.10), una espóra femenina no deja la planta madre y germina ahí, “esperando” la fertilización del gametofito masculino que se desarrolla cerca; de hecho, esto se trata de polinización incipiente, el paso hacia la *semilla*.

Las plantas heterosporas producen una espóra femenina, la **megaspóra**, que es rica en nutrientes; las megasporas no están dispersas de manera tan extensa pero el gametofito femenino resultante provee nutrición y protección al cigoto, embrión y esporófito joven. El ciclo de vida heterospórico (Fig. 6.11) comienza con un gametofito masculino y uno femenino, ambos producen gametos. Una vez que ocurre la fertilización, un cigoto se transforma en esporófito. Este luego producirá dos tipos distintos de esporangios:

megasporangio femenino y **microsporangio** masculino. La meiosis en los megasporangios con frecuencia resulta en *una* espora

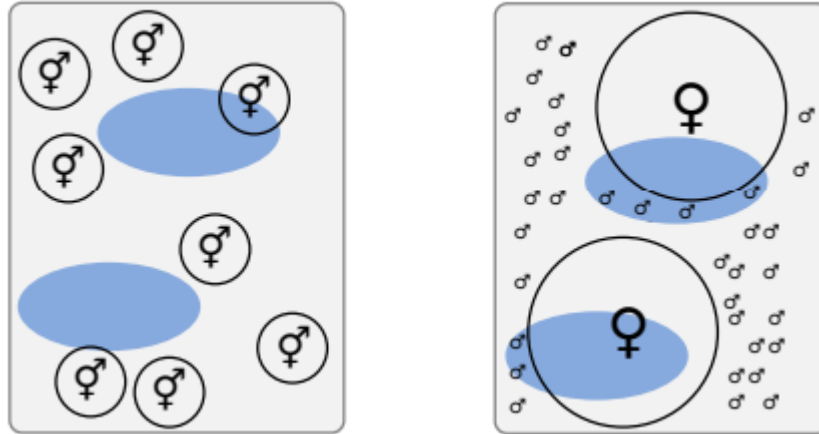


Figura 6.9. Esquema simple que ilustra el método heterospórico de fertilización. Dos gotas de agua (azul) no entregan la conexión entre dos gametofitos de una planta homospora (izquierda) pero son suficientes gametofitos de plantas heterosporas (derecha) que usan la misma cantidad de recursos.

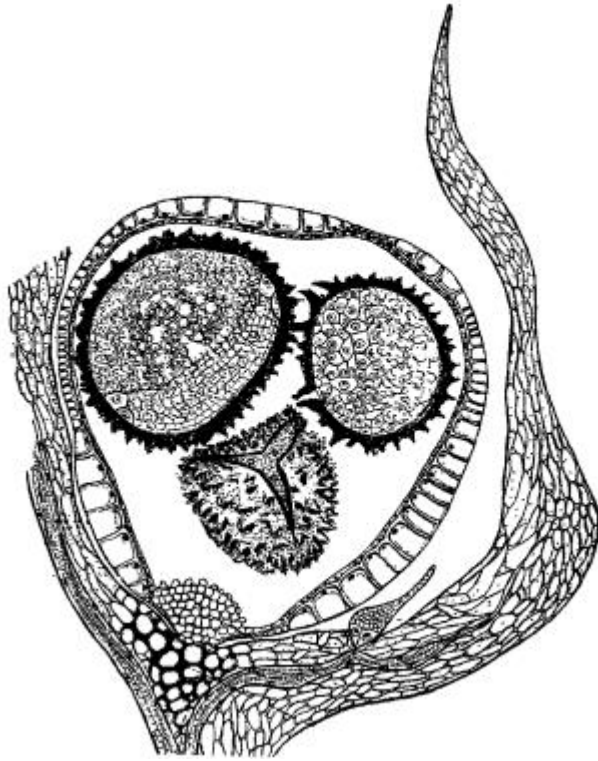


Figura 6.10. Megasporangias de la espiga prado de musgo. *Selaginella apoda* (de Lyon, 1901). Las tres megasporas germinan en gametofitos femeninos sin dejar los esporangios.

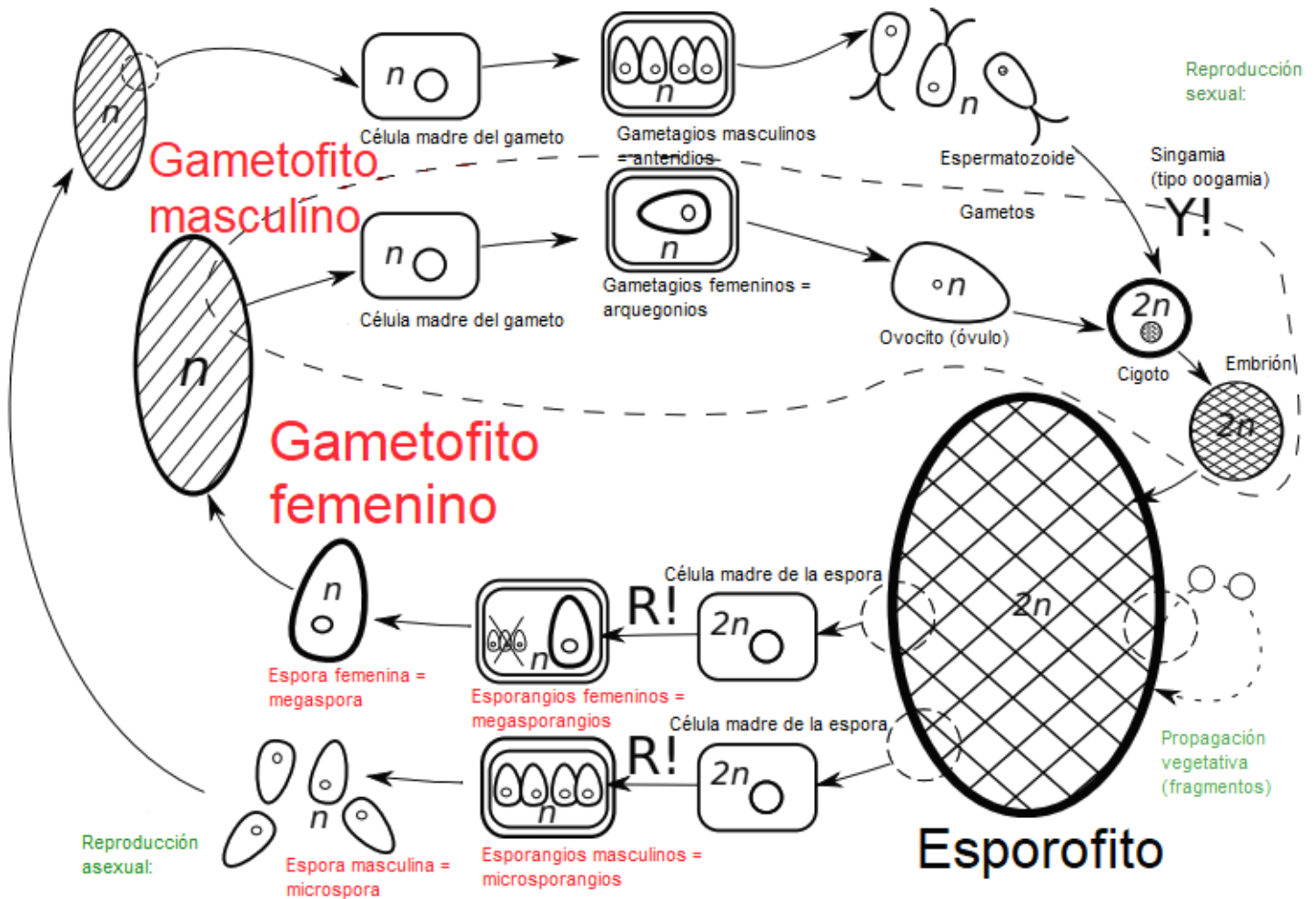


Figura 6.11. Ciclo de vida de una planta heterospórica. Las innovaciones (en comparación con el ciclo de vida de las plantas terrestres) están en color rojo.

femenina, megaspora (similar a la meiosis en los ovarios de los animales vertebrados), mientras que en los microsporangios, la meiosis y la posterior mitosis crearán múltiples **microsporas**, tanto la megaspora como las microsporas se convertirán en gametofitos y el ciclo se repetirá.

En resumen, la heterosporia permite la separación entre linajes de haploides masculinos y femeninos. Los gametofitos masculinos se vuelven tan pequeños que fácilmente podrían ser transportados en su totalidad. Los gametofitos masculinos completos comienzan a ser una fase de transición, este es el origen de la *polinización*.

Capítulo 7

El origen de los árboles y las semillas

La competencia por los recursos (principalmente agua y luz solar) siempre lleva a la evolución de las plantas. La manera más lógica de escapar de esta competencia era alargar el cuerpo. Sin embargo, si solo los tejidos primarios están disponibles, este crecimiento es estrictamente limitado.

Sin el engrosamiento secundario, el tronco fácilmente se quebrará ante el peso de la corona en crecimiento y la planta morirá. Esto es fácil de observar en plantas que de todas maneras desarrollan hábitos parecidos a los de los árboles, sin el crecimiento secundario: helechos y palmeras. Además, los helechos no tienen corteza lo que limita su distribución a espacios realmente húmedos.

Por otro lado, el engrosamiento del tallo permitirá ramificaciones y estas, a su vez, que aparezcan cuerpos aún más grandes sobre la superficie. Pero entonces, surgirá otro gran desafío debido a nuevos problemas asociados tanto con el tamaño como con el ciclo de vida.

7.1 Tallo secundario

En muchas plantas con semillas, el crecimiento secundario comienza en su primer año dentro del tallo y continúa por muchos años más. Estas plantas son clasificadas como *leñosas*. Estas desarrollan *tejidos secundarios* como la peridermis y la madera e incluso estructuras *terciarias* como la corteza.

El primer paso para producir floema y xilema secundarios (otros nombres son metafloema y metaxilema) es formar el cambium vascular, que incluye la división celular dentro de los haces vasculares y el parénquima que se encuentran en medio de los haces (Fig. 7.1). El cambium vascular se divide en dos direcciones. Las células que se forman hacia el exterior se convierten en el *floema secundario* y aquellas formadas hacia el interior son el *xilema secundario* (Fig. 7.3). Después de muchos años, la médula central desaparece como consecuencia de la presión que ejerce la madera que crece y solo se pueden ver rastros del xilema primario (protoxilema) *debajo* del xilema

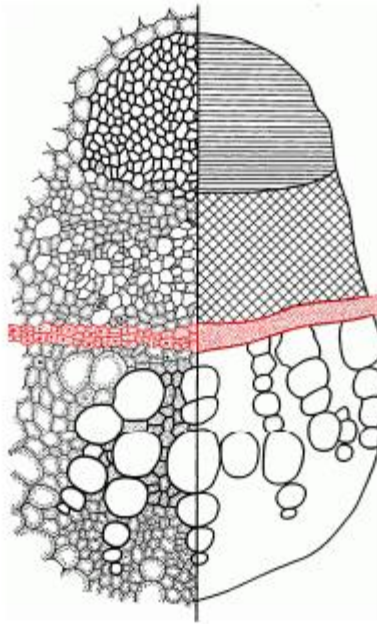


Figura 7.1. Haz vascular en la etapa de formación del cambium (rojo). El xilema se encuentra abajo, el floema arriba. Nótese que el cambium también se forma entre haces vasculares.

secundario grueso. En conjunto, estos tejidos (médula, xilema primario, xilema secundario) forman la **madera**. (Fig. 7.2).

El floema secundario se forma fuera del cambium vascular y se pueden ver trazas del floema primario (protofloema) sobre él. Es rico en fibra y, a diferencia de la madera, no crea anillos anuales.

La mayoría de las células del cambium son **iniciales fusiformes** que forman los elementos de vaso axilar, mientras que otras son **iniciales de rayo** y forman **rayos**: combinaciones de la traqueida y de células del parénquima que transportan agua, minerales y azúcares (ya que dentro del tallo es oscuro y solo es posible la respiración) *horizontalmente*. Los rayos se pueden ver de mejor manera en la sección **tangencial** del tallo (cuando el plano de la sección es la tangente de la superficie del tallo); otras dos secciones posibles (**radial** y **transversal**) muestran los componentes axilares del tallo de mejor manera. En el floema secundario, algunas veces los rayos están *dilatados* (con forma de cuña).

Generalmente, el cambium no hace su trabajo uniformemente durante todo el año. En los climas templados, se forma un *anillo* por cada temporada de cultivo lo que hace posible determinar la edad al contar los anillos de crecimiento. Esto se debe a que al final de la temporada, el cambium crea elementos traqueales (“más oscuros”) mucho más pequeños. Los árboles que crecen en climas donde las estaciones no están tan marcadas no forman anillos anuales. Para saber la edad de un árbol, los investigadores

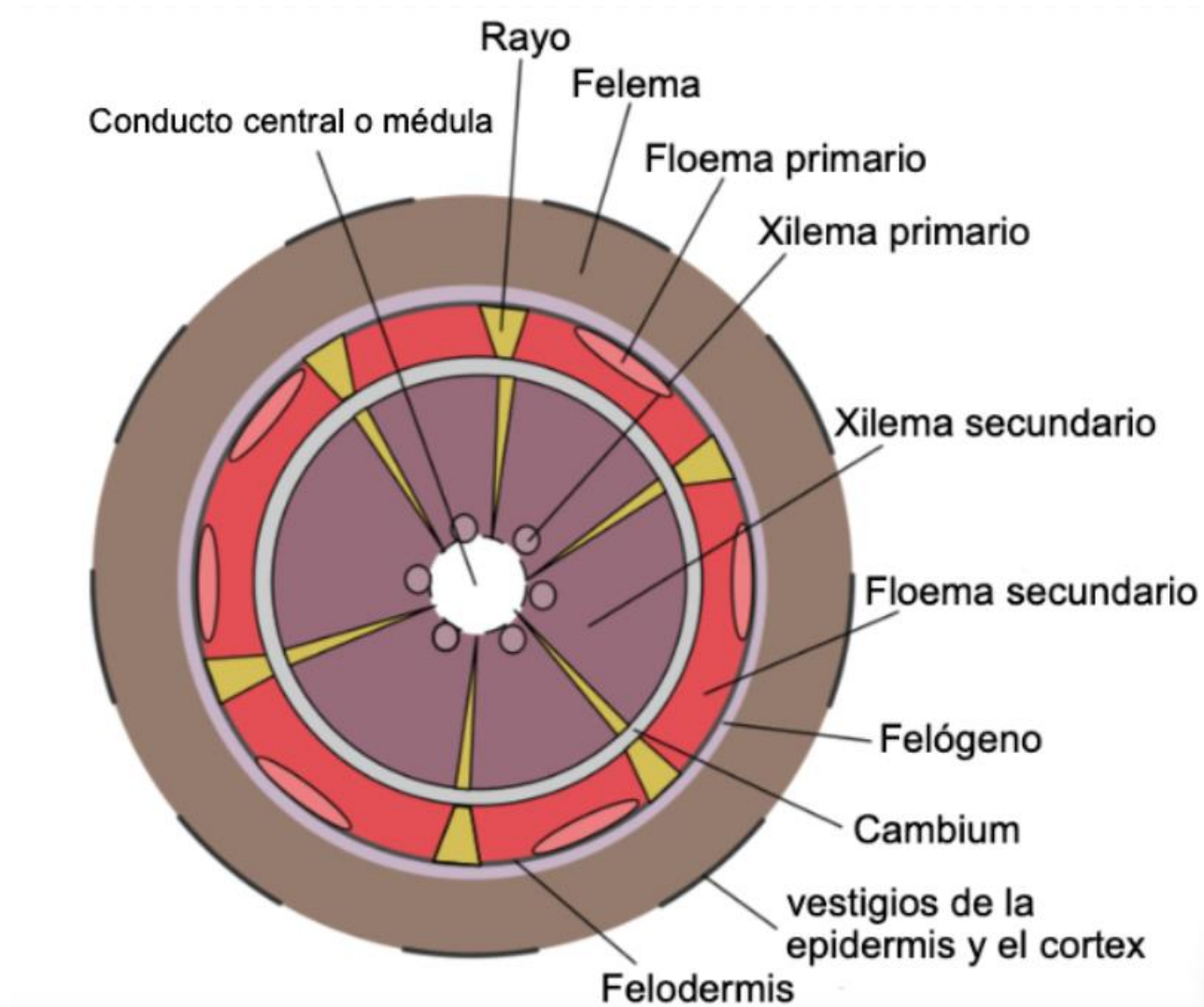


Figura 7.2. Anatomía del tallo secundario. Vista radial.

observan el número y grosor de los anillos anuales formados. Esto se llama *dendrocronología*.

Algunos árboles (como los robles, *Quercus*) tienen elementos grandes de vaso que se encuentran principalmente en la madera que se formó durante los primeros días de la temporada (madera temprana); este patrón se conoce como **anillo poroso**. Los elementos grandes de vaso de otros árboles (como los olmos, *Ulmus*) se producen más uniformemente en ambas maderas, temprana o tardía. Este patrón se conoce como madera de **poros difusos**: con elementos grandes de vaso en la madera temprana y tardía.

La madera sin vasos de las coníferas es una estructura más simple con relativamente pocos tipos de células. Hay rayos simples y, a menudo, *canales resiníferos*; la resina es secretada por células especializadas.

En el tronco de un árbol, la madera más clara cerca de la periferia se llama **albura** y tiene un xilema en funcionamiento donde se transportan la mayoría de los minerales y el agua. La madera más oscura cerca del centro se llama **duramen** y es un xilema de tono

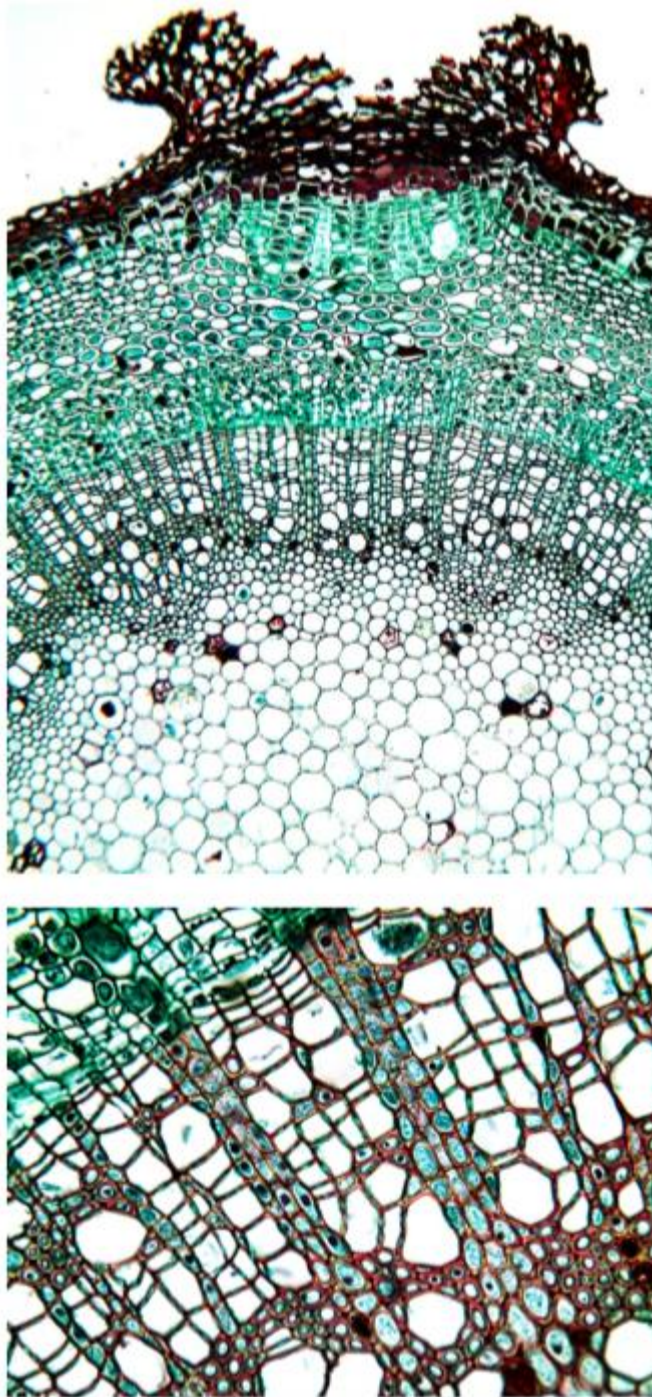


Figura 7.3. De arriba a abajo: tallo secundario del *Sambucus* al comienzo de su crecimiento, la lenticela está arriba, el cambium del *Sambucus* (parte superior izquierda) y los tejidos vasculares secundarios. Amplificadas $\times 100$ (de la primera) y $\times 400$ (de la segunda).

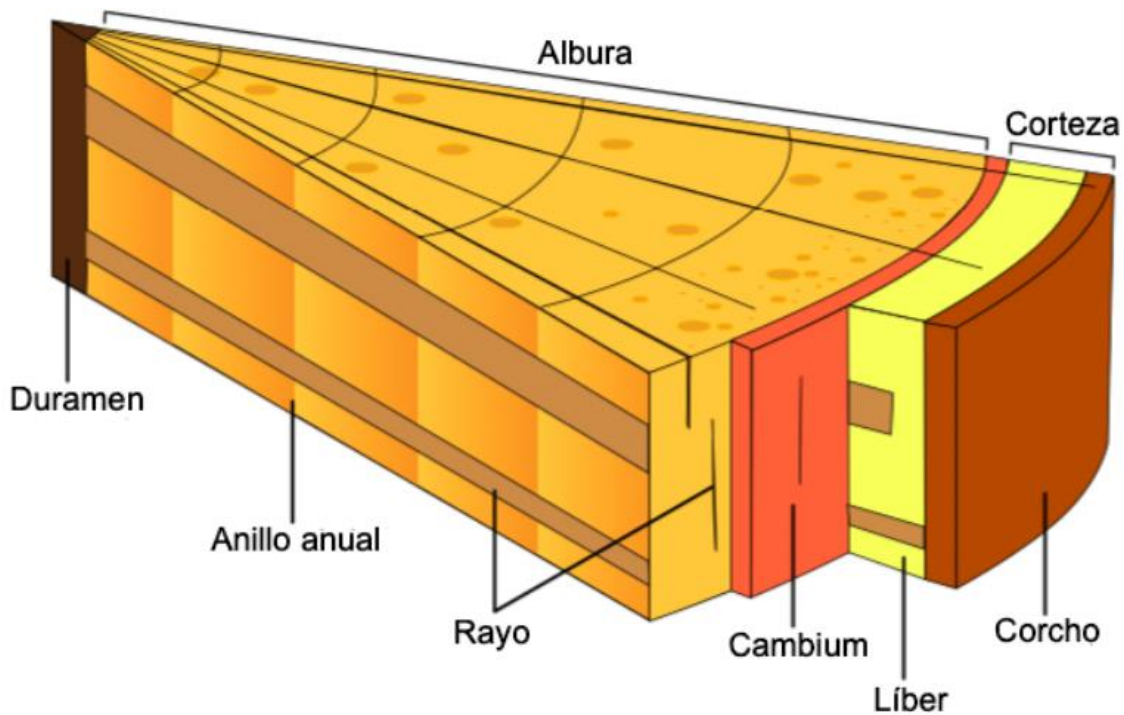


Figura 7.4. Pedazo de un tronco. Vistas radiales y transversales.

oscuro que no funciona (Fig. 7.4). Los elementos traqueales son células muertas y, para bloquearlos, las plantas utilizan **tilosas** que también ayudan a controlar el funcionamiento de los vasos durante el invierno. Una tilosa se forma cuando la pared celular de un parénquima crece a través de una abertura en el elemento traqueal; parecen burbujas.

La mayoría de los liliids (por ejemplo, las palmeras) no tienen meristemos laterales ni madera verdadera. Algunos engrosamientos si ocurren en una palmera, pero esto sucede en la base del árbol, como resultado del crecimiento de las raíces adventicias. Las palmeras también pueden tener un crecimiento secundario difuso, esto significa la división y ampliación de algunas de las células del parénquima. Estos procesos no compensan el crecimiento total de la planta por lo que las palmeras a menudo son más gruesas en la parte superior que en la parte inferior. Unos pocos liliids (como el árbol sangre de dragón, *Dracaena*) tienen un **crecimiento secundario anómalo** que utiliza el cambium, pero este no forma anillos estables.

Engrosar el tallo constantemente requiere hacer crecer “nueva ropa” constantemente, un tejido dérmico secundario como la peridermis. Este tejido es parte de la corteza. *Corteza es todo lo que está afuera del cambium vascular*. Es una estructura única a la que a veces se le llama “tejido terciario” ya que consiste del tejido primario y secundario:

- tronco = madera + cambium vascular (“cambium”) + corteza
- madera = xilema secundario + xilema primario + [médula]¹
- corteza = líber (floema primario + floema secundario) + peridermis + [córtez] + [epidermis]
- peridermis = [felodermis] + cambium del corcho (felógeno) + corcho (felema)

Cada año, aparece una nueva capa del felógeno (cambium del corcho) desde las células del parénquima del floema secundario lo que hace que la corteza tenga muchas capas y sea desigual. En la superficie de un tallo joven, se pueden ver **lenticelas**, aperturas en la capa del felema que se encargan de suministrar oxígeno a la parte interna del tallo; junto a los rayos, las lenticelas funcionan como ductos de ventilación. Para producirlas, algunas células del felógeno se dividen y crecen mucho más rápido, lo que finalmente abrirá la peridermis.

Además de las lenticelas, los tallos más viejos o de invierno tienen **cicatrices foliares** con **trazas foliares** en su superficie. Las primeras son los lugares donde está anexado el pecíolo de la hoja mientras que las segundas son los lugares donde entraron los haces vasculares en la hoja.

La estructura secundaria de la raíz hace recordar la estructura secundaria del tallo y, con el tiempo, estos dos órganos se han vuelto similares anatómicamente.

7.2 Brote de ramificaciones

El tallo secundario permite una ramificación extensiva. En las plantas con semilla, la ramificación se da en las yemas axilares. Estas se encuentran en las axilas de las hojas y

¹ Los tejidos “opcionales” están entre corchetes, los sinónimos entre paréntesis.

se desarrollan para formar brotes secundarios. Hay dos tipos principales de ramificación: monopodial y simpodial (Fig. 7.5).

La **ramificación monopodial** sucede cuando las yemas no se deterioran por lo que todos los brotes siguen creciendo.

La **ramificación simpodial** sucede cuando las yemas terminales se deterioran (lo que hace que las UF se mueran) por lo que el brote lateral más cercano a la yema terminal ahora se vuelve el brote terminal y continúa con el crecimiento vertical. Esto pasa porque el SAM terminal suprime los meristemas posteriores al producir la hormona auxina (dominancia apical). Existen múltiples técnicas de recorte en la jardinería que se basan en este tipo de dominancia.

La **ramificación monopodial** forma la corona cónica (parecida a la píceas) mientras que la simpodial formará coronas de muchas formas diferentes. Se considera al crecimiento monopodial como más primitivo. Algunos árboles monopodiales pueden incluso morir si se daña la yema terminal.

Existe un modo de ramificación aún más ancestral: el **dicotómico**. Esto sucede cuando cada rama se divide en dos; esto es frecuente en la Lycopsida y en algunas otras pteridofitas.

7.3 Formas de vida

El engrosamiento y la ramificación cambian la apariencia de la planta. La clasificación más antigua emplea ambos y divide las plantas en árboles, arbustos

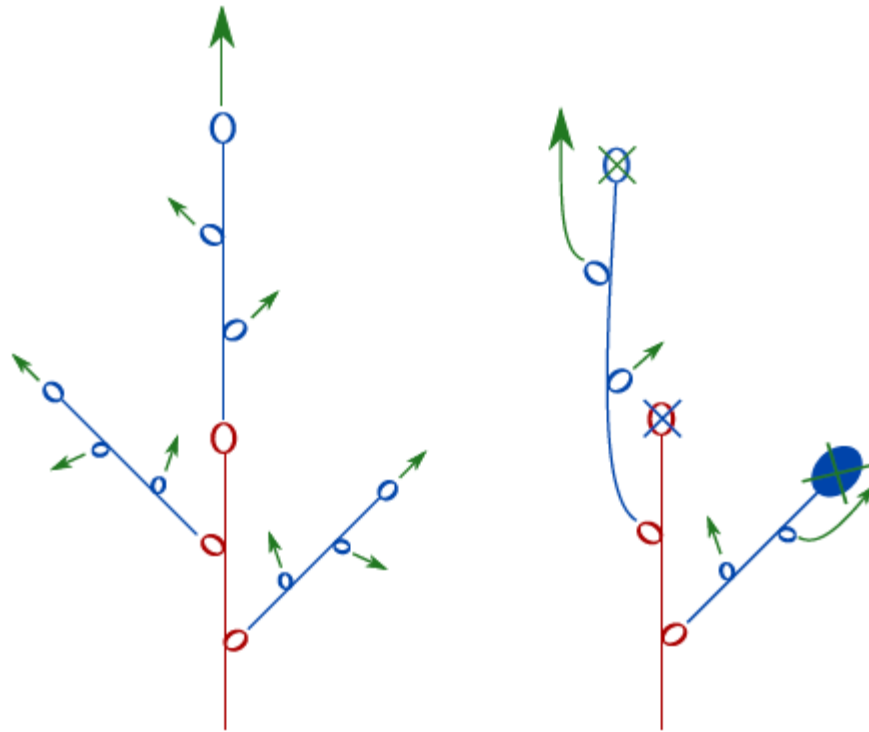


Figura 7.5. Ramificación monopodial (izquierda) y simpodial (derecha). El primer, segundo y tercer año de crecimiento son el rojo, azul y verde, respectivamente. Nótese que la rama de la extrema derecha desarrolló la UF (óvalo azul).

y hierbas. Este método fue la primera clasificación de las *formas de vida*. Estas no indican la evolución, sino que cómo viven las plantas. Se sigue utilizando esta clasificación. Con algunas modificaciones, desempeña un rol significativo en la jardinería:

Enredaderas Trepadoras leñosas y plantas herbáceas.

Árboles Plantas leñosas con un tronco de larga vida

Arbustos Plantas leñosas con múltiples troncos

Hierbas Plantas herbáceas sin o con poco xilema secundario (madera). A veces, se dividen además en anuales (viven por una temporada), bianuales (por dos temporadas) y perennes.

Este sistema de clasificación tiene muchas desventajas. ¿Qué es, por ejemplo, la frambuesa? Tiene tallos leñosos pero cada uno de ellos vive por solo dos años, de manera similar que una hierba bianual. O, ¿qué es la lenteja de agua? Estas plantas pequeñas, que flotan en el agua con cuerpos ovalados que no se pueden diferenciar, no pueden ser llamados “hierbas”. Como se puede observar, la diversidad actual del estilo de vida de las plantas es mucho más abierta que la clasificación mostrada anteriormente.

7.3.1 Método de modelos arquitecturales

Durante el invierno, es fácil observar que ciertas coronas de árboles tienen principios similares de organización. En los climas menos helados, la diversidad de estas estructuras es aún más alta. En la base de las ramificaciones (monopodial o simpodial), donde se localiza la UF y la dirección del crecimiento (**plagiotrópica**, horizontal u **ortotrópica**, vertical), se describieron múltiples *modelos arquitecturales* para los árboles. Cada modelo fue nombrado en honor de famosos botánicos tales como Thomlinson, Corner, Attims, entre otros. En las regiones templadas, uno de los modelos más difundido es el de Attims (crecimiento simpodial irregular): los abedules (*Betula*) y los alisos (*Alnus*) crecen de acuerdo con ese modelo (Fig. 7.6). En las regiones tropicales, muchas plantas (como las palmeras y las cycas) tienen un solo tronco grueso coronado con hojas grandes, este es el modelo de Corner (Fig. 7.7).

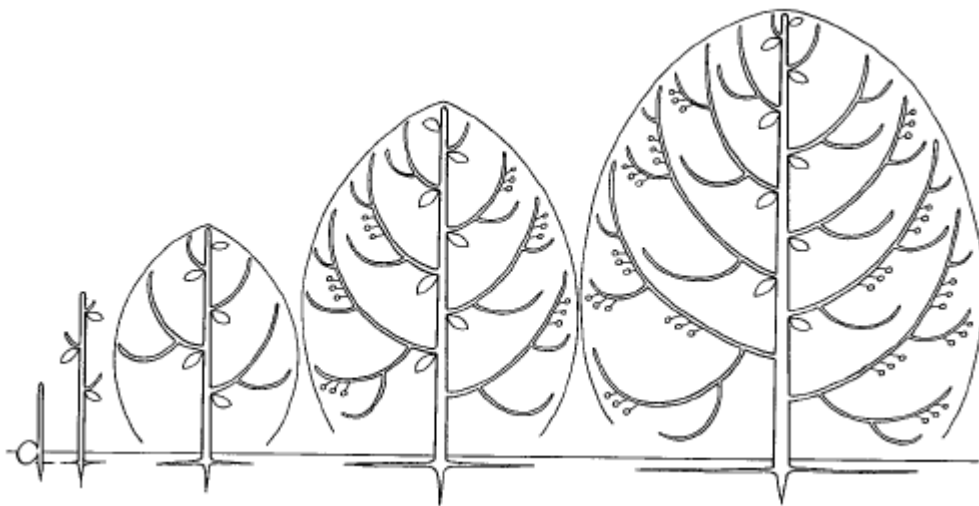


Figura 7.6. Modelo de arquitectura de Attims sobre el crecimiento del árbol (de Halle et al. (1978)).

7.4 Brote modificado

Tal como las hojas y raíces, los brotes y tallos también tienen modificaciones. Algunos ejemplos de esto son los rizomas, los estolones, los tubérculos, los bulbos, los cormos, las espinas caulinares, las espinas foliares, los cladodios y las trampas de tallo. Los **rizomas** (por ejemplo: los jengibres, *Zingiber*) son tallos subterráneos que se adentran en el suelo justo abajo de la superficie y, por lo general, tienden a tener hojas escamosas pequeñas que no son fotosintéticas. Las yemas de las axilas de las hojas forman nuevas ramas que crecerán para convertirse en brotes terrestres. Los **estolones** (*runners*) son brotes terrestres horizontales, que germinan y producen una planta nueva (por ejemplo: las frutillas, *Fragaria*). Los **tubérculos** (por ejemplo: las papas, *Solanum*) son porciones agrandadas de los rizomas. Los “ojos” de las papas son realmente yemas laterales y el cuerpo del tubérculo está compuesto de muchas células parénquimas que contienen amiloplastos con almidón. Los cormos y bulbos son estructuras de brotes que se utilizan

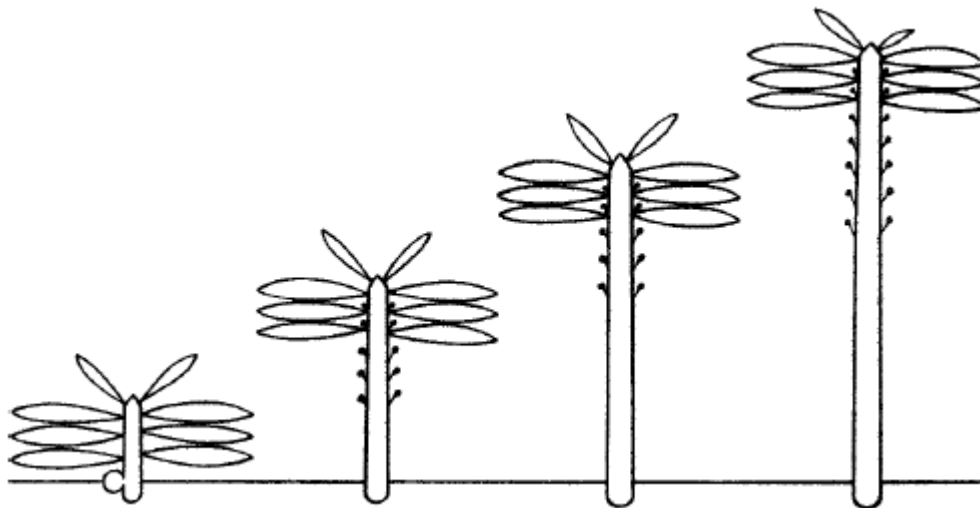


Figura 7.7. Modelo de arquitectura de Corner sobre el crecimiento del árbol (de Halle et al. (1978)).

como almacenamiento. Un **cormo** (por ejemplo: los azafranes, *Crocus*) es un tallo de almacenamiento subterráneo pequeño y grueso con hojas escamosas y delgadas. Un **bulbo** (por ejemplo: las cebollas, *Allium*) se diferencia de un cormo en el hecho de que almacena sus nutrientes en sus hojas carnosas (Fig 7.8).



Figura 7.8. Bulbos (izquierda) y cormos (derecha) (Modificado de distintos recursos).

Las **espinas caulinares** (por ejemplo: los majuelos, *Crataegus*) son brotes defensivos que ayudan a proteger a la planta de predadores. Las **espinas foliares** no son tallos modificados, sino que hojas o estípulas reducidas y modificadas o escamas de yemas (por ejemplo, casi todos los cactus, la familia Cactaceae). Los **aguijones** (por ejemplo: las rosas, *Rosa*) son tejidos modificados de la superficie del tallo.



Figura 7.9. Aguijones, espinas foliares (de estípulas) y espinas caulinares (de Charles-Dominique et al., 2016).

Los **cladodios** (por ejemplo: los cactus de navidad, *Schlumbergera*; cinta, *Homalocladium*) son brotes planos con forma de hoja. Los **filodios** son, de hecho, modificaciones de hojas (por ejemplo: las acacias australianas, *Acacia*). Son visualmente parecidos a los cladodios pero se originaron del pecíolo de hoja plana. El brote de las **trampas de insectos** son utilizadas por ciertas plantas carnívoras, tales como la *bladderwort* (por su nombre en inglés) (*Utricularia*). La siguiente tabla hace hincapié en la diversidad de las modificaciones de los órganos:

Función \ Órgano	Hoja	Tallo/brote	Raíz
Absorción	Absorción de las hojas (bromelias)	Rizoides	<i>Predeterminado</i>
Defensa	Espinas foliares, escamas	Espinas caulinares, aguijones	Espinas foliares
Ampliación	Plántulas	Rizomas, estolón, <i>runners</i>	Yemas adventicias
Interacciones	Trampas, epidermis pegajosa, urnas, hojas de colores	Trampas, nido de insectos	Haustorio, micorriza, nódulos radicales, trampas de nematodos, nido de insectos
Fotosíntesis	<i>Predeterminado</i> , filodio	Cladodios	Raíces verdes (orquídeas)
Almacenamiento	Hojas de suculentas, ascidio	Bulbos, cormos, tubérculos	Raíces de almacenamiento
Apoyo	Zarcillo, tallos falsos, flotas, súrculo	<i>Predeterminado</i> , zarcillo	Contrafuerte, raíces aéreas y contráctiles, súrculo

Nótese que las estructuras similares superficiales (por ejemplo, zarcillos de brote y hoja) pueden tener distintos orígenes.

7.4.1 Sistema de Raunkiaer

Christen Raunkiaer utilizó un método distinto para clasificar las formas de vida, que es útil para caracterizar toda la *flora* (todas las especies de plantas que crecen en algún territorio), en especial floras templadas. Él categorizó las plantas en seis categorías: epífitos, fanerófitos, caméfitos, hemicriptófitos, criptófitos y terófitos.

Los *epífitos* no tocan el suelo (son plantas aéreas), los *fanerófitos* tienen sus yemas de invierno expuestas, los *caméfitos* “ponen” sus yemas de invierno bajo la nieve, las yemas de invierno de los *hemicriptófitos* en la superficie del suelo, las *criptófitos* en el suelo o bajo el agua y los *terófitos* no tienen yemas de invierno, pasan el invierno como semillas o fragmentos vegetativos (Fig. 7.10)². Normalmente, las floras del norte tienen más plantas de las últimas categorías, mientras que las primeras categorías dominarían las floras del sur. Nótese que la “exposición de yema” de Raunkiaer no está lejos de la robustez en el método dinámico explicado a continuación.

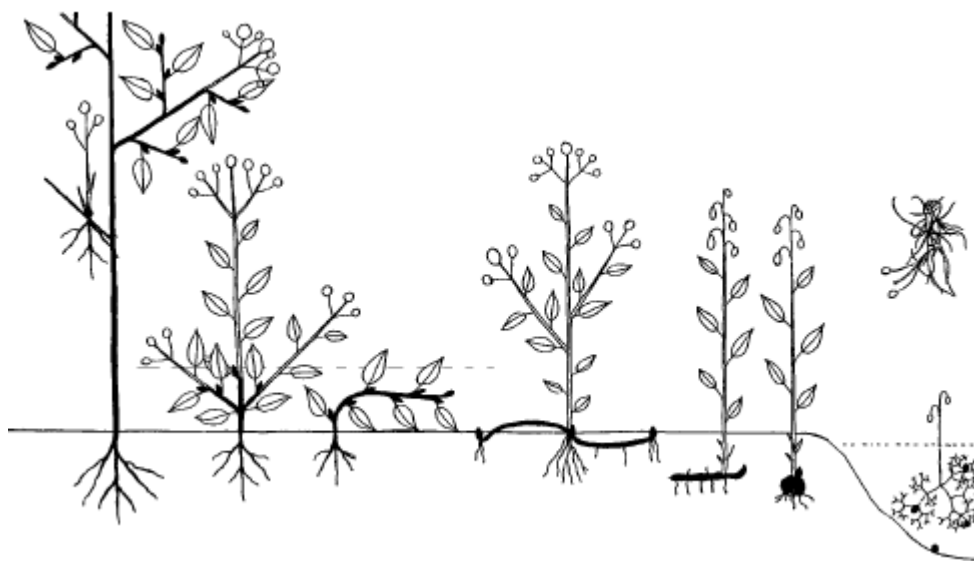


Figura 7.10. Formas de vida de Raunkiaer. De izquierda a derecha: epífitos (en una rama), fanerófitos, caméfitos, hemicriptófitos, dos criptófitos (con rizomas y con bulbo), terófitos (en el agua) y aerófito (en el aire). La línea trazada en la izquierda es el nivel de nieve estimado (de Raunkiaer (1907), extendido).

² Estos también distinguen aerófitas, “plantas aéreas”.

CAPÍTULO II: Problemas al traducir un texto científico que no fue editado y escrito por un autor no nativo del inglés basado en la traducción de los capítulos 1, 2,3 4, 5, 6 y parte del capítulo 7 del texto *Introduction to botany*

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar y clasificar los distintos errores gramaticales, léxicos, semánticos, mecánicos e inteligibles encontrados en el texto *Introduction to botany* del capítulo 1 al 7 y cómo se les dio una solución a estos errores, según los estudios de las autoras Hsiao-ping Wu y Esther V. Garza. Se aplicó una metodología cuantitativa descriptiva. Se utilizaron un total de 19 muestras del libro que se tomaron aleatoriamente. Se concluyó que los errores más comunes fueron gramaticales y mecánicos.

Palabras clave: traducción; traducción científica; errores

Abstract

The aim of this research was to analyze and classify different kinds of errors found in the text Introduction to Botany from chapter 1 to 7, and how a solution was given to these grammatical, lexical, semantic, mechanical and intelligible errors according to the studies from the authors Hsiao-ping Wu and Esther V. Garza. A quantitative descriptive research was applied. A total of 19 samples were taken randomly from this book. It was concluded that grammatical and mechanical errors were the most current ones.

Key words: translation; scientific translation; errors

Objeto de estudio

Papel del traductor al tener que traducir un texto mal escrito/escrito en una lengua no nativa para el autor.

Objetivo

Identificar los errores del texto original y cómo el traductor enfrenta y soluciona este problema.

Introducción

El proceso de la traducción conlleva una larga investigación y no se deberían realizar mayores cambios para no alterar el mensaje del texto original. Sin embargo, un problema que surge al traducir y que es poco tratado son los errores que afectan la comprensión del texto, parte de estos errores son porque el autor no es hablante nativo del idioma del texto escrito y no se realizó una edición posterior. Los tipos de errores varían desde lo más básico hasta lo que afecta el sentido de la oración. Esto provoca que el traductor tenga problemas al comprender y además que tenga que decidir cómo expresarlo de manera que sea fiel a las ideas del autor y que sea correcto en el idioma de llegada. En un texto científico, esto es más difícil porque requiere que sea más preciso, a diferencia de textos humanistas o literarios, los científicos no dan lugar a la interpretación subjetiva del lector.

El texto que se tradujo y en el que se basó la investigación se llama *Introduction to botany*, escrito por Alexey Shipunov, reconocido botánico de nacionalidad rusa quien pasó gran parte de su vida en su país y que posteriormente se mudó a Estados Unidos para estudiar y en la actualidad se dedica a hacer clases en universidades. Estas podrían ser algunas posibles razones de porqué el texto causa tanto problema a la hora de comprenderlo y traducirlo.

Debido a la preocupante cantidad de errores que encontramos, surgió un interés por esta problemática de la que no se habla tanto dentro de la enseñanza de la traducción. Es por esto que mientras se realizaba el proceso de traducción decidimos elegir esta problemática para nuestra investigación.

Marco teórico

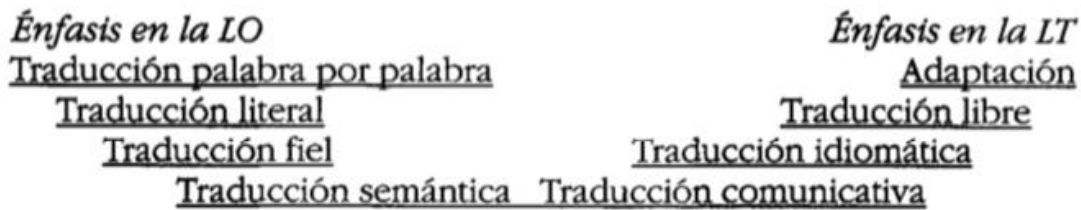
1. Traducción científica

La traducción científica abarca textos de campos biológicos, físicos, químicos, entre otros. Estos textos suelen ser más técnicos en cuanto a su estructura y terminología y requieren absoluta precisión. Como dice Javier Franco Aixelá los dos rasgos más visibles y que probablemente constituyen los marcadores intuitivos por los que afirmamos que un texto es científico-técnico son la temática y la terminología (Franco Aixelá, p. 39). También menciona que su autor sea un especialista, es decir, que conozca en profundidad el tema que será tratado. María Teresa Cabré también habla sobre la terminología y dice que el traductor especializado no puede desempeñar su actividad profesional sin conocer la terminología del ámbito de especialidad al que pertenece el texto que traduce (Cabré, p. 2). Además agrega que la calidad de una traducción especializada requiere como recurso habitual el uso de terminología (y no de paráfrasis), adecuada al nivel de especialización del texto (Cabré, p. 2).

Algo muy notorio dentro de los textos científicos es el uso de terminología propia. Esto genera una ambigüedad, ya que puede llegar a confundir tanto al lector como al traductor. Los textos científicos deben ser concisos y entregar información clara y objetiva porque hablan de hechos concretos y el lector no debería buscar información adicional de la que entrega el texto.

2. Traducción semántica y comunicativa

Peter Newmark señala que el traductor debe determinar la intención del texto y la forma en que está escrito con el fin de seleccionar un método de traducción adecuado e identificar los problemas concretos y repetidos (Newmark, p. 27). Existen dos modos para traducir según este autor: la traducción semántica y la traducción comunicativa. El autor propone el siguiente diagrama



Newmark, p.70 (2010)

Como se puede ver en el diagrama, la traducción semántica sigue un estilo más fiel al texto original ya que se centra en la LO. Esta se utiliza mayormente en textos de científicos y técnicos. Por otro lado, la traducción comunicativa, que se centra en la LT, puede dar más libertades al traductor y, por lo tanto, tiende a ser más libre.

3. Texto mal escrito

En algunos casos, los autores pueden cometer errores al momento de escribir un texto por lo que es necesaria una posterior edición. En un artículo, Maura E. Díaz Antúnez (2009) señala que los textos pueden tener diferentes tipos de faltas. Las más importantes que ella propone son las faltas ortográficas, la sintaxis descuidada, la puntuación deficiente y el mal uso del lenguaje. Estos son los típicos errores que se pueden ver en los hablantes no nativos de una lengua junto con mantener estructuras de la lengua materna del hablante

Siguiendo esta línea, el traductor Brian Mossop (2019) habla sobre este tema haciendo hincapié en si el texto está mal escrito porque el autor escribió el texto en su segunda lengua. Señala que

It is full of odd word combinations, peculiar syntactic structures and puzzling inter-sentence connections probably reflecting the rhetorical habits prevalent in that language.

En nuestro caso, el autor del texto es ruso, pero lo escribió en inglés. Mossop dice que esto se da constantemente en el campo científico, por esto menciona que

These days, scientists very often write directly in English rather than in their own language. Many scientific and other scholarly publications insist that such writers

have their work edited by a native speaker of English prior to submission. They make all sorts of elementary errors (...) as well as errors in such matters as language level. (p. 23)

Enfatiza en que el mayor problema recae en la composición de las oraciones en inglés ya que los escritores no recibieron educación formal en este idioma y es por esto que no logran organizar oraciones de la forma correcta a esta lengua. En cambio, mantendrán el estilo en su propio idioma.

Como menciona Mossop, a raíz de estos problemas, se tendrá que reestructurar el texto durante el proceso de traducción. Esto puede llevar a un proceso mucho más largo y profundo debido a la cantidad de errores que se puedan encontrar.

Para finalizar, Mossop habla sobre los riesgos de editar y traducir un texto de un hablante no nativo, uno de estos riesgos es cambiar el significado real o la intención del autor, ya que puede que estos no se entiendan por completo. Esto hace que gran parte del proceso de traducción sea descifrar la intención real del autor, concluye Mossop

As a result, you will more frequently find yourself making guesses about what the author intends without realizing that you are guessing, and that other meanings are possible. (p 26)

4. Clasificación de los errores

La siguiente tabla fue creada por las doctoras Hsiao-ping Wu y Esther V. Garza, académicas especialistas en lingüística y educación bilingüe de la Universidad de Texas, en un estudio sobre un análisis de errores de estudiantes del inglés como segunda lengua.

Tipo de error	Categoría
Gramatical	<ul style="list-style-type: none">● Tiempo verbal● Estructura de la oración● Coordinación● Cláusula relativa● Singular/plural● Omisión de verbo● Omisión de sujeto

	<ul style="list-style-type: none"> ● Concordancia S-V ● Fragmento
Léxico	<ul style="list-style-type: none"> ● Sustantivo ● Pronombre ● Verbo ● Adjetivo ● Adverbio ● Artículo ● Preposición ● Formación de la palabra ● Interjecciones
Semántico	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de la palabra (Significado)
Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> ● Puntuación ● Uso de mayúsculas ● Ortografía
Inteligible	<ul style="list-style-type: none"> ● Si se presentan

Metodología

Esta investigación es de tipo cuantitativa, ya que durante nuestra traducción surgió la problemática de los errores que cometió el autor al escribir este libro y esta investigación se basó en recopilar y clasificar estos errores según la tabla mencionada en el marco teórico. De aproximadamente 80 errores encontrados, analizamos un total de 19.

Además, el enfoque de la investigación es descriptivo porque tomamos el objeto de estudio y le dimos una explicación a los errores que encontramos durante la traducción del texto.

Corpus

Se utilizó la tabla mencionada en el marco teórico donde se analizan los errores y se entrega una solución.

Problema encontrado en texto original	Traducción	Tipo de error	Solución
Viri which are mentioned sideways , are not living things but merely pieces of DNA or RNA which “went astray” out of cells of living organisms of all four kingdoms. (Página 21)	Los virus, que son mencionados aparte , no son seres vivientes sino simplemente piezas de ADN o ARN que se “salieron” de células de organismos vivos de los cuatro reinos.	Uso de la palabra (Semántico)	Se cambió la terminología para que tuviera más sentido con lo que se hablaba anteriormente.
It also means that there always are different competing opinions. (Página 24)	Otras opiniones puede que acepten a grupos en un sentido más estricto.	Estructura de la oración (Gramatical)	Se cambió el orden de las palabras para que tuviera más sentido, ya que en inglés no estaba estructurado de manera correcta.
To make its body, living beings obtain building blocks either by (a) from the assimilation of carbon dioxide (autotrophy), or from other living beings (heterotrophy). (Página 25)	Para crear su cuerpo, los seres vivos consiguen componentes ya sea a través de (a) la asimilación de dióxido de carbono (autótrofo) o (b) a través de otros seres vivos (heterótrofo).	Estructura de la oración (Gramatical)	En el original faltaba (b) y se decidió agregarlo.
It splits water, Makes proton the gradient and then	Se encarga de la escisión de las moléculas de	Estructura de la oración (Gramatical)	En el inglés no hay unión entre <i>proton</i> y <i>gradient</i> lo que

ATP, and forwards electrons to photosystem I. (Página 31)	agua, forma la gradiente de protones que luego se usará para crear ATP y envía electrones al fotosistema I.		genera confusión ya que no tiene mucho sentido. Se decidió poner gradiente de protones ya que esto es lo que sucede en aquel proceso.
There are plants which able to drive both C3 and C4 pathways. (Página 37)	Hay plantas que son capaces de hacer las vías C ₃ y C ₄ .	Omisión de verbo (Gramatical)	El autor omite el verbo en inglés por lo que se añadió en la traducción.
However, at nights plants do exactly the same as animals, and make only carbon dioxide! (Página 39)	Sin embargo, en la noche las plantas hacen exactamente lo mismo que los animales ¡y solo hacen dióxido de carbono!	Singular/Plural (Gramatical)	El autor escribió <i>nights</i> cuando debería ser <i>night</i> y en la traducción se escribió de la forma correcta.
This is like fruit jelly covered with thin layer of butter. (Página 41)	Esto es como una jalea de frutas cubierta con una capa delgada de mantequilla	Artículo (Léxico)	Falta de artículos en inglés, en la traducción se le añadió.
Figure 3.3. Semi-permeable membrane: how it works. Big “red” molecules are larger then pores so they are not allowed to go. (Página 42)	Figura 3.3. Membrana semipermeable. Cómo funciona: las moléculas “rojas” grandes son más grandes que los poros, por lo tanto, no se les permite entrar.	Ortografía (Mecánico)	El autor escribió <i>then</i> en vez de <i>than</i> , en la traducción se corrigió.
The threat of predators result in cells. (Página 43)	El resultado de la amenaza de los predadores en las células.	Concordancia sujeto-verbo (Gramatical)	El sujeto no concuerda con el verbo, en la traducción se

			corrigió.
Other chloroplasts could be red and/or orange (chromoplasts), because they are rich of carotenes and xanthophyls . (Página 46)	Otros cloroplastos pueden ser rojos o anaranjados (cromoplastos), ya que son ricos en carotenos y xantofilas .	Ortografía (Mecánico)	El término está mal escrito en inglés ya que se escribe <i>xanthophylls</i> en la traducción se utilizó el término apropiadamente.
This is done through plasmodesmata . (Página 46)	Esto se logra a través del plasmodesmo .	Ortografía (Mecánico)	El término está mal escrito en inglés ya que se escribe <i>plasmodesmata</i> , en la traducción se utilizó el término apropiadamente.
Nucleoplasm contains chromatin (chromosomes). (Página 49)	El nucleoplasma contiene cromatina (cromosomas).	Ortografía (Mecánico)	El término está mal escrito en inglés ya que se escribe <i>Nucleoplasm</i> , en la traducción se utilizó el término apropiadamente.
For the really small (millimeters) plant it is enough because, in accordance to surface / volume law , they have high relative surface, and diffusion can serve for gas exchange. (Página 68)	Para las plantas que son demasiado pequeñas (milímetros) es suficiente, ya que, de acuerdo a la relación superficie-volumen , estas tienen una alta superficie relativa y la difusión puede servir como intercambio de gas.	Uso de la palabra (Semántico)	El término que utilizó el autor es incorrecto, en la traducción se utilizó el término apropiadamente.
“Parenchyma” and “sclerenchyma” terms are	Los términos “parénquima” y “esclerénquima” se	Inteligible	Se decidió omitir la palabra ya que no existe.

<p>freShoot systemquently used in two ways. (Página 72)</p>	<p>usan sistemáticamente de dos maneras</p>		
<p>“Parenchyma” and “sclerenchyma” terms are freShoot systemquently used in two ways. (Página 72)</p>	<p>Los términos “parénquima” y “esclerénquima” se usan sistemáticamente de dos maneras</p>	<p>Formación de la palabra (Léxico)</p>	<p>Se entendió que el término era una combinación de dos palabras, por lo que se quiso mantener la idea del autor.</p>
<p>Apodromous, pterodromous. (Página 86)</p>	<p>Sésil, pinnatinervia.</p>	<p>Uso de la palabra (Semántico)</p>	<p>Solo en este libro se encontraron estos términos, lo que hace pensar que el autor los creó o que no sabía como se decía en inglés , por lo que se buscó su equivalente en español.</p>
<p>He is invented an idea of a “primordial plant”. (Página 87)</p>	<p>Él inventó la idea de una “planta primordial”.</p>	<p>Tiempo verbal (Gramatical)</p>	<p>El tiempo verbal es incorrecto por lo que se omitió el <i>is</i> en la traducción.</p>
<p>Specialized roots which grow upward (!) (Página 97)</p>	<p>Raíces especializadas que crecen hacia arriba.</p>	<p>Puntuación (Mecánico)</p>	<p>El autor incluyó un signo de exclamación que no se sabe a qué corresponde ni a que hace énfasis. En la traducción se omitio.</p>
<p>Phyllodes are actually leaf modifications (ex- ample: Australian acacias, <i>Acacia</i>) they visually similar to cladophylls but</p>	<p>Los filodios son, de hecho, modificaciones de hojas (por ejemplo: las acacias australianas, <i>Acacia</i>). Son visualmente</p>	<p>Omisión de verbo (Gramatical)</p>	<p>El autor omite el verbo en inglés por lo que se añadió en la traducción.</p>

originated from flattened leaf petioles. (Página 128)	parecidos a los cladodios pero se originaron del pecíolo de hoja plana.		
---	---	--	--

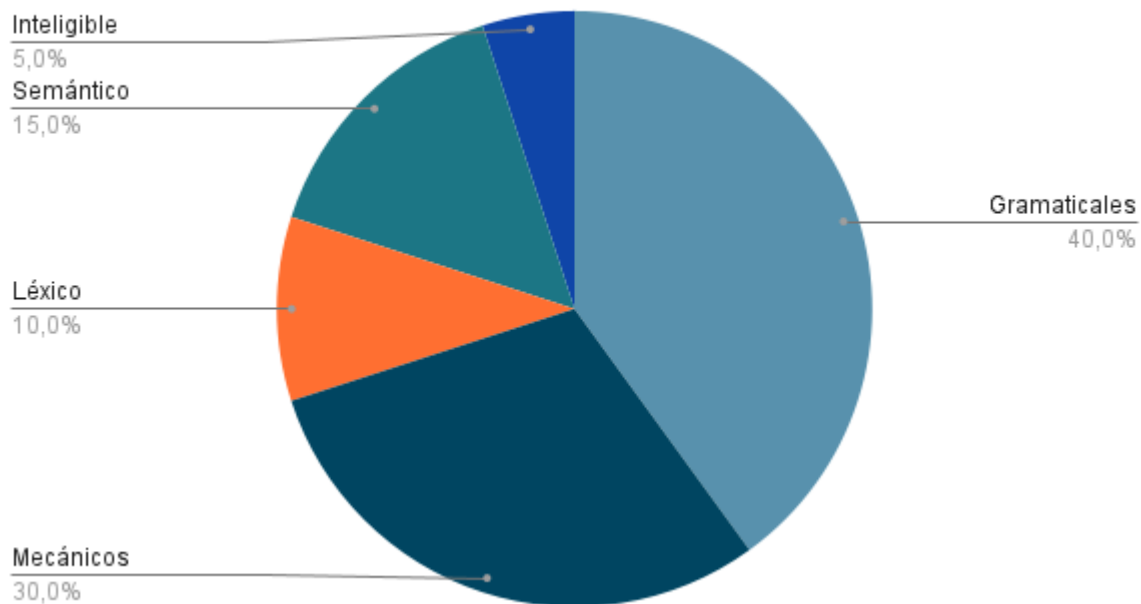
Discusiones y resultados

La mayor cantidad de errores encontrados fueron gramaticales con un 40%, de estos un 5,3% pertenecen a la categoría tiempo verbal, 5,3% a concordancia sujeto-verbo, 5,3% a singular/plural, 10,5% a omisión de verbo y 15,8% a estructura de la oración.

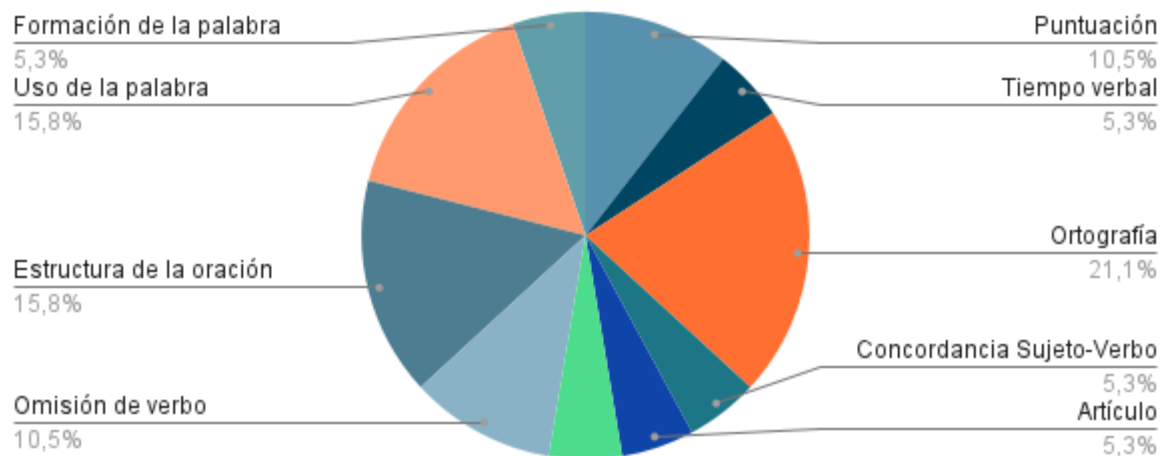
Luego, un 30% son de tipo mecánico con un 10,5% de la categoría puntuación y 21,1% de ortografía. El tipo semántico cuenta con un 15% de errores que pertenecen a la categoría uso de la palabra con un 15,8%; además un 10% de errores de léxico con un 5,3% que pertenece a la categoría formación de la palabra y 5,3% a artículo.

Por último, un 5% pertenece al tipo inteligible.

Según tipo



Según categoría



Los tipos de errores que más se presentaron son gramaticales y mecánicos. Se concluye que los errores gramaticales se deben a que no se usaron correctamente las estructuras gramaticales de la lengua inglesa y además es posible suponer que el autor mantuvo estructuras pertenecientes a su lengua materna. En cuanto a los errores mecánicos, se deben a la falta de una edición cautelosa posterior a la escritura.

Conclusiones

El proceso de traducción de este texto tuvo una larga y profunda investigación, debido a que el texto original no siempre fue claro con sus ideas. Se concluye que al momento de escribir un libro se necesita tomar en consideración quienes serán los lectores sobre todo si es un texto académico y, más aún, si se trata de una introducción a un tema en específico, en este caso la botánica.

Otro aspecto importante, es que no basta con saber otro idioma para escribir un libro puesto que se vio en la investigación que siempre prevalecerán las estructuras de la lengua materna. Reiterando lo que dice el traductor Brian Mossop, cada vez son más los autores no nativos que escriben textos científicos en inglés, ya que es el idioma universal. Es por esto que se presenta esta problemática al no tener un conocimiento del inglés técnico lo que lo lleva a cometer errores que afectan la comprensión lectora.

Debido a lo mencionado anteriormente, tras la gran cantidad de errores presentes en el texto se llegó a la conclusión de que es necesario el trabajo de un editor que pueda revisar el texto para que sea más entendible para el receptor. Algo muy recurrente del autor fue que acuñó términos propios sin tomar en cuenta la terminología ya existente.

Con esta investigación se concluye que siempre existirán nuevos desafíos para el traductor y, que aunque esto no sea una problemática muy tratada dentro del campo de la traducción, se necesita más investigación sobre el tema para poder afrontarlo de la mejor manera.

Bibliografía

Alcina Caudet, A., & Gamero Pérez, S. (2002). *La traducción científico-técnica y la terminología en la sociedad de la información*. Publicacions de la Universitat

Jaume I. <https://doi.org/10.6035/EstudisTraduccio.2002.10>

Cabré, M. T. (2000, diciembre). Traductor y terminología: necesidad y compromiso.

Panace@, 1(2). https://www.tremedica.org/wp-content/uploads/n2_EditorialCabre.pdf

Díaz Antúnez, Maura E. (2009). Deficiencias frecuentes en la redacción de textos científicos. Frequently deficiencies in redaction of scientific texts. *ACIMED*, 19(1)

Recuperado en 27 de diciembre de 2021, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009000100007&lng=es&tlng=es

Franco Aixelá, J. (2013). La traducción científico-técnica: aportaciones desde los estudios de traducción. *LETRAS*, (53), 37-60. <https://doi.org/10.15359/rl.1-53.2>

Garza, E. V., & Wu, H. (2014, noviembre). Types and Attributes of English Writing Errors in the EFL Context—A Study of Error Analysis. *Academy Publication*, 5(6).

<https://www.academypublication.com/issues/past/jltr/vol05/06/05.pdf>

Mossop, B. (2019). Revising and Editing for Translators. En *Revising and Editing for Translators* (4th ed., pp. 23–26). Routledge.

Mossop, B. (2015, 15 octubre). *Understanding Poorly Written Source Texts - Search by Title - Favourite Articles - TERMIUM Plus® - Translation Bureau.*

TERMIUM Plus®. Recuperado 26 de diciembre de 2021, de

https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2guides/guides/favart/index-eng.html?lang=eng&letr=indx_titls&page=95D0QuFqwMUE.html

Newmark, P. (2010). *Manual de Traducción* (6.^a ed., p. 27 y 70). Ediciones

Cátedra.

[https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/8d6b16e94aff8ee3e692ddef9834b237/Manual_de_traducción_by_Peter_Newmark\)_3492054_\(z-lib.org\).pdf](https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/8d6b16e94aff8ee3e692ddef9834b237/Manual_de_traducción_by_Peter_Newmark)_3492054_(z-lib.org).pdf)

Pereiro, C. (2010). Traducción científica y equipos de traducción: Un modelo práctico con base en principios teóricos. *Núcleo*, 22(27), 257-271. Recuperado en

26 de diciembre de 2021, de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97842010000100011&lng=es&tlng=es