

La diversidad de las plantas bajo el microscopio

*The diversity of plants
under the microscope*

Carlos A. Zavaro Pérez

Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata

 czavaro@fcnym.unlp.edu.ar

 <https://orcid.org/0000-0003-3298-7383>

*Autor de correspondencia

Recibido
31 de julio
2025

Aceptado
2 de septiembre
2025

Publicado
5 de enero
2026



Resumen

Palabras clave:

Anatomía,
órganos
vegetales,
plantas
vasculares,
tejidos.

La diversidad de plantas vasculares se clasifica en distintos grupos taxonómicos que dan cuenta de una historia en común. Algunos rasgos que permiten distinguirlos pueden ser observados bajo el microscopio y están relacionados con los tejidos que conforman el cormo o cuerpo vegetal. Cada uno de estos tejidos cumplen funciones diferentes, y si bien esto se ha interpretado como una manera de adaptarse al ambiente, hoy la biología evolutiva las entiende como especializaciones, es decir patrones estructurales que son resultado del azar y de la selección natural entre otros eventos evolutivos. Analizar algunas de las particularidades de los tejidos vegetales y entender la arquitectura que conforman es el propósito de estas líneas.

Abstract

Keywords:

Plant
anatomy,
plant organs,
plant tissues,
vascular
plants.

The diversity of vascular plants is organized into various taxonomic groups that reflect a shared evolutionary history. Distinctive characteristics among these groups can often be observed microscopically, particularly in the tissues that constitute the corm or vegetative body. These tissues perform specialized functions, which—while traditionally interpreted as adaptive responses to environmental conditions—are now understood through the lens of evolutionary biology as structural specializations shaped by stochastic processes, natural selection, and other evolutionary mechanisms. This paper aims to examine key features of plant tissues and explore the architectural organization.



Observar la anatomía de una hoja bajo la lupa es una manera de comprender el mundo desde otra perspectiva. figura: Carlos A. Zavaro.

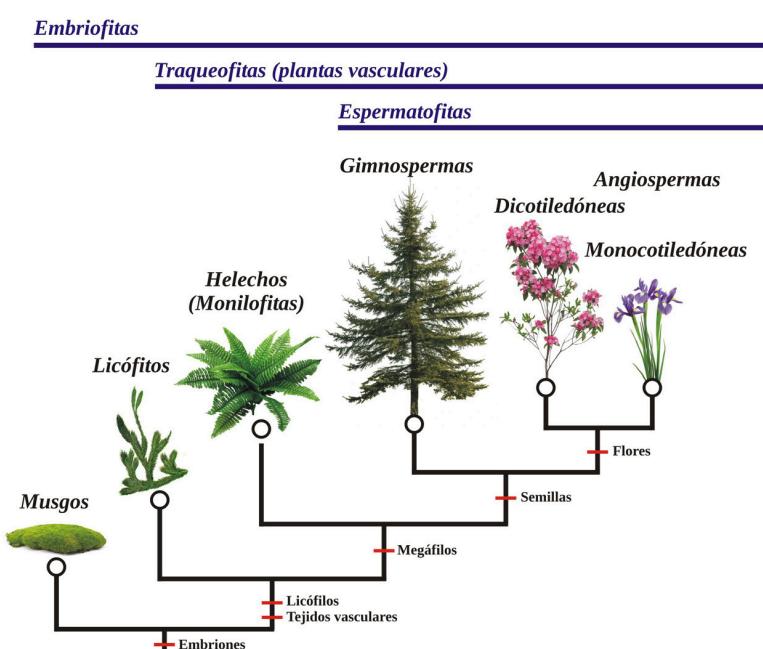
Introducción

La diversidad del mundo vegetal es un hecho. Alrededor de 300.000 especies han sido descritas y clasificadas bajo las llamadas “plantas vasculares” o traqueofitas.

Este rótulo que comprende a los helechos y afines, a las coníferas, también conocidas como gimnospermas (pinos, araucarias y abetos entre otros grupos) y a las angiospermas, que comprende a las plantas con flores y dentro de las que es posible reconocer al menos dos líneas evolutivas: las plantas dicotiledóneas y las monocotiledóneas, aunque las clasificaciones más modernas basadas en análisis moleculares, consideran a las angiospermas basales (ANA), las magnólidas, las monocotiledóneas y las eucotiledóneas que incluyen las rósidas y las astereas. Cada uno de estos nombres delimitan conjuntos de especies que pueden definirse según características diagnósticas

ticas que constituyen, en general, novedades evolutivas, es decir caracteres novedosos que han sido adquiridos a lo largo de la evolución (Zavaró Pérez y Maniago, 2023). Este proceso resulta la explicación más simple y coherente al origen de esa diversidad. Justamente, que estos caracteres sean comunes a una gran variedad de especies actuales hace suponer que esos rasgos han estado presentes en las poblaciones ancestrales de las cuales derivan, y quizás, por haber sido exitosos adaptativamente, se han conservado en la descendencia.

En consecuencia, si nombramos a las plantas vasculares de esa manera, es porque aquellas que quedan incluidas bajo esta categoría tienen en común la presencia de un tejido vascular especializado en la circulación de los nutrientes. Esta afirmación nos lleva a proponer, como ejercicio deductivo, profundizar en las características anatómicas, y por supuesto en los tejidos que conforman el cormo, es decir, el cuerpo (raíz, tallo y hojas) de estos vegetales.



Historia evolutiva de las embrionitas y detalle de las novedades evolutivas que sostienen a los grupos taxonómicos. Ilustración: Carlos A. Zavaró Pérez.

Ahora bien, ¿qué entendemos por tejido, qué diferencias existen entre las células que los conforman y entre éstas y las células de otros grupos de seres vivos como los hongos o los animales?, ¿qué ventajas representan para algunos grupos de plantas la especialización de las células de los tejidos que conforman sus cuerpos, considerando la relación que existe con las particularidades de los ambientes en que estas especies se desarrollan y distribuyen?

Sobre las células y los tejidos

La vida es monofilética, es decir tiene un origen común, y esta afirmación supone que todos los seres vivos están relacionados evolutivamente. El hecho de que las células que componen sus cuerpos tengan una estructura similar es una evidencia de esa hipótesis, aunque también las particularidades que las distinguen hacen pensar que esos grupos divergieron en algún momento y que las novedades que los hicieron diferentes fueron heredadas a lo largo del tiempo por sus descendientes. De ahí, las células vegetales pueden distinguirse de los animales por la presencia de una pared celular, un rasgo que también comparten con los hongos, aunque a diferencia de estos las paredes celulares de las plantas están formadas por sustancias como la celulosa, la hemicelulosa y las pectinas. En estas células, además, se destacan organelas como las vacuolas prominentes y los cloroplastos. Así, las particularidades de cada célula están íntimamente relacionadas con la especialización de la estructura de los tejidos que conforman y por lo tanto con la función que estos desempeñan.

Visto de esa manera podríamos afirmar que las adaptaciones, que constituyen un tema polémico por la manera en que históricamente se ha enfocado, no solo atañe a la morfología externa sino también -y por sobre manera- a la anatomía y la fisiología, aunque bajo la consideración de que la función no condiciona la estructura del cuerpo de los seres vivos, sino al revés. Esto no es menor porque lo que podría parecer un juego de palabras ha condicionado la biología evolutiva en los últimos dos siglos como mínimo.

Si hay un tipo de tejido que caracteriza a las plantas vasculares son los de conducción: el xilema y el floema. Ambos son tejidos complejos porque están formados por diferentes tipos celulares con funciones distintas. Las células conductoras del xilema mueren a la madurez como resultado de la deposición constante de una sustancia llamada lignina en su pared celular, conformando una segunda pared (interior) que le otorga firmeza. Esta rigidez afecta algunas de sus funciones y termina por destruir su citoplasma y organelas. Como resultado de ese proceso, se terminan formando tubos (llamados traqueidas y tráqueas) por los cuales sube el agua, y los nutrientes disueltos en ella, desde las raíces hasta las hojas.

Xilema (traqueidas)

Floema

Xilema (tráqueas)

Los tejidos de conducción (xilema y floema) son novedades evolutivas de las plantas vasculares.

En el xilema, con paredes celulares lignificadas, se observan las traqueidas con ornamentación de tipo helicoidal, y las tráqueas conformando un patrón escalariforme.

El floema, por su parte, tiene células vivas carentes de núcleos con paredes de calosa. Además hay células parenquimáticas asociadas.

Tejidos vasculares (xilema y floema) en plantas vasculares. Corte longitudinal.

Fotografías: Carlos A. Zavarce Pérez.

85

Las plantas más antiguas con este tipo de sistema conductor como algunos helechos y coníferas presentan traqueidas que son células estrechas, aguzadas y con algunas ornamentaciones de lignina dispuestas mayormente en anillos o en espiral, mientras que en las plantas con flores (angiospermas) aparecen, además, células de mayor diámetro (tráqueas) cuyas ornamentaciones son más complejas conformando un patrón escalariforme (que parece una escalera) o reticuladas. Acompañándolas aparecen fibras y células parenquimáticas que constituyen el “comodín” de las plantas y sobre las que profundizaremos más adelante.

El agua es fundamental para las plantas. De ello no hay dudas. Gracias al agua circulan por todo el cuerpo de los vegetales las sustancias inorgánicas que constituyen la base de su nutrición. La mayoría de los metabolitos se forman en los tejidos de los órganos fotosintéticos mediante un proceso llamado fotosíntesis que permite transformar la energía lumínica en metabólica.

El tejido de conducción que permite distribuir esos fotosintatos en todo el cormo, y que suele acompañar al xilema, es el floema.

Así como ocurre en el xilema, las células del floema involucradas en la conducción, es decir, las células cribosas y los tubos cribosos, tienen la pared engrosada, pero en ellas estos engrosamientos se deben a la deposición de una sustancia llamada calosa, y aunque son células vitales tienen la particularidad de carecer de núcleo. El floema es el responsable de que las sustancias nutritivas elaboradas por fotosíntesis lleguen a todos los tejidos de la planta y a diferencia del xilema, que conduce el agua en sentido vertical (y en contra de la gravedad), el floema lo hace en diferentes direcciones.

En ambos tejidos de conducción, especialmente en el floema, existen unas células que resultan centrales en el control de su funcionamiento, las células parenquimáticas. En general este tipo de células conforman un tejido en sí mismo, pero con muy diferentes funciones y especializaciones.

El parénquima: muchos parénquimas...

El parénquima es un tejido totipotente, es decir que “todo lo puede”. Ocupa casi todo el cuerpo de la planta e incluso, tal como adelantamos, se encuentra formando parte de los tejidos de conducción. La mayoría de sus células se originan en un tejido embrionario llamado meristema fundamental y su nombre no es casual. Este es un tejido fundamental, único e irreemplazable. No solo es capaz de especializarse en funciones distintas, sino también desdiferenciarse y adquirir la capacidad de dividirse para formar otras células que pueden, posteriormente, especializarse en nuevas funciones.

La mayoría de las células parenquimáticas son isodiamétricas, es decir tienen un tamaño similar en cada una de sus caras y sus paredes celulares están constituidas fundamentalmente por celulosa que se adelgazan cada tanto conformando los llamados campos de puntuaciones primarias. Es en esta zona donde se establecen las conexiones (llamadas plasmodesmos) con las células adyacentes que le permiten funcionar como un tejido, intercambiando diferentes sustancias y garantizando el contacto de sus citoplasmas.

Si bien se conocen varios tipos de parénquimas y en la literatura científica estos son nombrados por la función que desempeñan, todos tienen un mismo origen: las células del meristema fundamental. En algunos órganos de la planta, especialmente en las hojas, es frecuente el parénquima clorofílico, también conocido como parénquima clorofílico o clorénquima. Este tejido se ubica por debajo de la epidermis y en algunos casos pueden presentar diferentes tipos

celulares aunque conservan un rasgo en común, la presencia de cloroplastos. Los cloroplastos son plastidios, organelas de las células eucariotas que están especializados en la fotosíntesis y suelen aportar, gracias al pigmento de la clorofila, el color verde característico de las hojas y de la corteza de algunos tallos.

La mayoría de las hojas son órganos dorsiventrales, con dos caras que configuran una estructura laminar. En el haz, que es la superficie que se encuentra en la cara superior (o adaxial), abunda un clorénquima en empalizada. La metáfora no es casual, sus células son alargadas, estrechas y carecen prácticamente de espacios intercelulares. Visto al microscopio parece un muro o empalizada, a ello debe su nombre, y pareciera que resulta sumamente eficiente en la asimilación de la energía solar. La abundancia de cloroplastos que presenta, y que estructuralmente permite distinguirlo de cualquier otro tejido e incluso de otros tipos de clorénquima, resulta ser un acierto de la evolución, en especial porque esta es la cara de la hoja en la que impacta la luz y el número elevado de cloroplastos y la disposición de sus células hacen de esta particularidad un éxito.

En la cara opuesta de las hojas (abaxial), en el envés, suele encontrarse otro tipo de clorénquima. Se le conoce como clorénquima esponjoso porque su estructura da esa impresión. A diferencia de la empalizada, acá las células son más redondeadas y con grandes espacios entre ellas e incluso con una menor cantidad de cloroplastos. El envés de las hojas raramente es alcanzado por los rayos del sol, pero no obstante algunos de ellos, al atravesar el mesófilo, impactan en los cloroplastos. Ahí se produce también la fotosíntesis, aunque estudios recientes

han confirmado, además, que esos espacios intercelulares le permiten a la planta regular el aire que entra y sale a través de los poros que intervienen en el equilibrio hídrico (estomas) y que contribuyen a generar la fuerza de succión que garantiza el flujo de agua que asciende a través del xilema. Además, inciden en la posibilidad de refracción de los rayos solares que rebotan con las paredes de las células del envés, potenciando la asimilación de la luz que escapa a las células del clorénquima en empalizada.

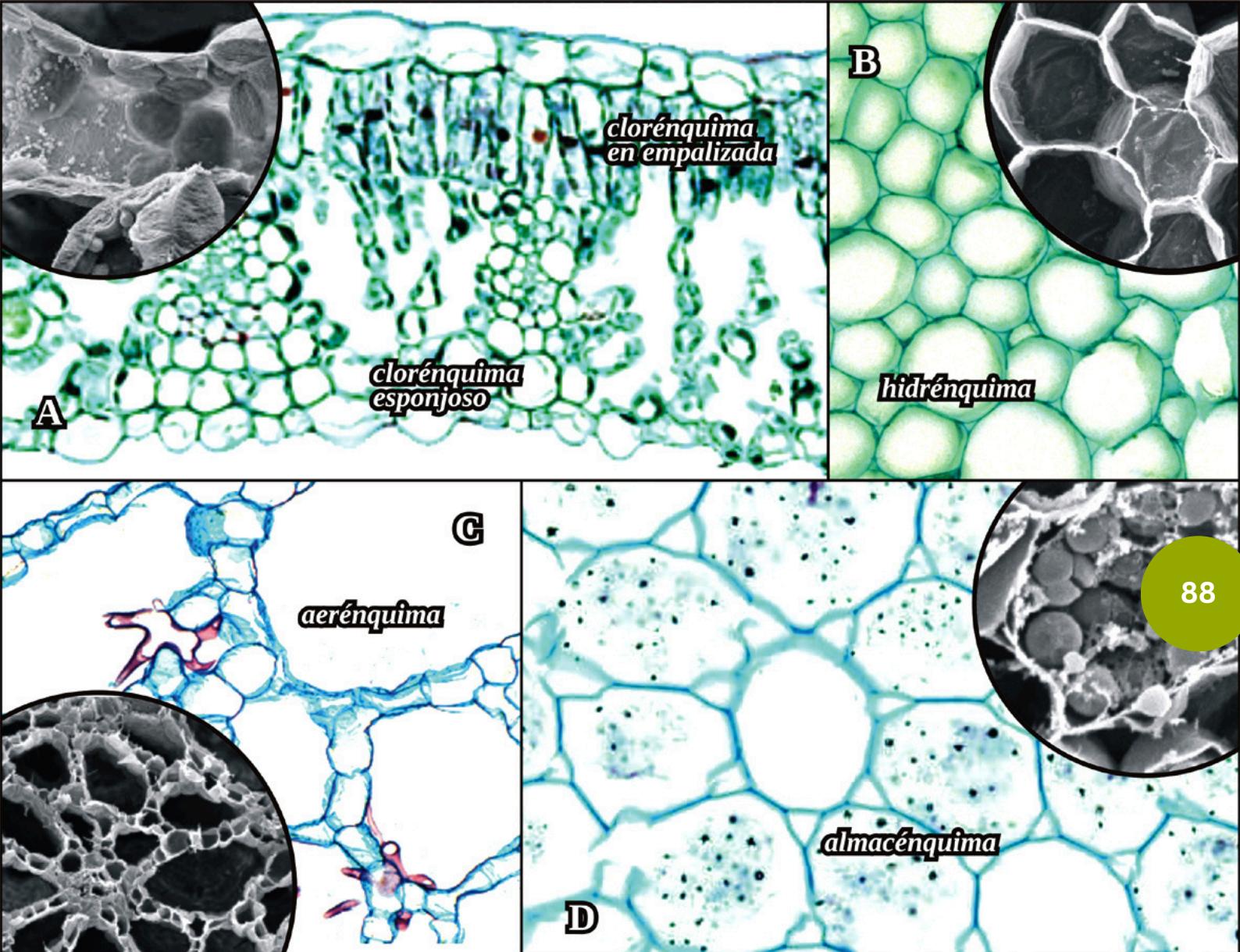
La fotosíntesis que ocurre en los cloroplastos, conlleva a la formación de diferentes metabolitos (fotosintatos), especialmente azúcares, que nutren a la planta y que son distribuidos, ya lo habíamos mencionado anteriormente, por el floema. En algunos órganos como las flores y los frutos existe un tipo de parénquima similar en el que también acontecen procesos que involucran la síntesis de energía lumínica, aunque el pigmento predominante no es la clorofila, sino los carotenos que son los responsables de captar otras longitudes de onda, aportando colores tan particulares y llamativos como el amarillo, el naranja o el rojo. Estos carotenos se localizan en otro tipo de plastidios: los cromoplastos. La transformación de cloroplastos en cromoplastos es un proceso habitual tanto en las flores como en los parénquimas de los frutos acompañando el proceso de su maduración.

Este tipo de transformación en la coloración de los órganos vegetales también podría involucrar a otras organelas de las células vegetales. Además de los cloroplastos y cromoplastos, en las vacuolas es posible encontrar pigmentos como las antocianinas, que son responsables de otorgar las coloraciones azules, violáceas y púrpuras. En algunas plantas suculentas como aquellas que

pertenecen al género *Echeveria*, muchas veces esa coloración depende de reacciones de los pigmentos a la intensidad de la iluminación, a las temperaturas o al pH. El color tan diverso de las flores en la corona de novia (*Spiraea cantoniensis*), es un ejemplo de esto último.

Las vacuolas son organelas básicas que están presentes en todos los tejidos. En algunos, sobre todo en los meristemáticos, existen numerosas y muy pequeñas, pero posteriormente estas convergen conformando una única organela cuya principal función es regular el equilibrio osmótico de la planta. Este equilibrio se da como resultado de la evapotranspiración o pérdida de agua en forma de vapor que ocurre a través de los estomas. En la medida en que la planta se deshidrata como resultado de este tipo de eventos, la vacuola se reduce equilibrando la presión en el interior de cada célula. Por el contrario, durante los períodos donde el agua es abundante a causa de las lluvias, estas la absorben restituyendo la turgencia del organismo. No obstante, en algunas especies este mecanismo tiene una significación especial e incluso representa una adaptación particular a algunos ambientes.

Muchas plantas originarias de lugares semi-desérticos, donde son frecuentes las altas temperaturas con escasas precipitaciones y una exposición prolongada a la radiación solar, entre las cuales se cuentan las suculentas y los cactus, por ejemplo, se desarrolla un tipo de parénquima conocido como parénquima acuífero o hidróenquima que presenta grandes vacuolas que ocupan casi la totalidad de la célula y en cuyo interior se reserva el agua en estado mucilaginoso. Esto les permite resistir y sobrevivir a las sequías prolongadas.



Especializaciones del parénquima. A, Clorénquima. B, Hidrénquima. C, Aerénquima. D, Parénquima reservante con leucoplastos. Fotografías: Carlos A. Zavarce Pérez.

Claro que en muchas de estas plantas aparecen otras novedades que maximizan la sintonía con su entorno. A menudo presentan raíces muy desarrolladas que les permiten absorber agua de las capas freáticas más profundas, una cutícula muy gruesa que protege su epidermis, estomas dentro de criptas protegidas por pelos que crean un microclima que mitiga la transpiración e incluso hojas transformadas en espinas. De esta manera, la idea de la adaptación constituye un todo que, por supuesto, se refleja en la estructura tisular. Las vacuolas, además de los pigmentos hidrosolubles, pueden acumular algunos desechos metabólicos y esto constituye toda una ingeniería ambiental.

De los ambientes xerófitos, casi desérticos, a aquellos en los que el agua no constituye una limitante como sucede en los humedales, las selvas y las lagunas, las condiciones cambian drásticamente. Muchas plantas en esos ecosistemas son palustres, es decir suelen estar arraigadas en lugares inundables como los manglares, las márgenes de las lagunas e incluso pueden ser libre flotadoras. Acá la evapotranspiración en exceso representa una ventaja ya que perder agua supone para la mayoría de las especies, evitar la ruptura de sus tejidos y por supuesto de sus vacuolas a causa del exceso de líquido.

Por otra parte, la sustentación en el agua de muchas de ellas se debe a la gran cantidad de aire que ocupa los espacios existentes entre sus células (espacios intercelulares). El parénquima especializado que lo garantiza es el aerénquima y está formado por células muy chicas unidas entre sí formando hileras que delimitan esos espacios que se forman por la ruptura de las células adyacentes y que le otorgan al tejido una apariencia esponjosa. La presión que ejerce el aire sobre las paredes de las células evita que esos espacios colapsen, aunque existen también células especializadas en el sostén que contribuyen a apuntalarlos.

En muchas de las plantas, más allá de los ambientes en los que se distribuyen, aparece otro tipo de especialización del parénquima en la cual intervienen los famosos plastidios, pero esta vez como reservorio de sustancias. Siendo que en estos casos no existen pigmentos en su interior se les denomina leucoplastos (leuco = blanco) en sentido general, aunque existe una denominación más específica relacionada con el tipo de sustancia que almacenan. Cuando los plastos acumulan sustancias oleaginosas como en el caso de algunas semillas; por ejemplo, el girasol (*Helianthus annuus*), se les denomina oleoplastos; cuando almacenan sustancias proteicas se les nombra como proteinoplastos; mientras que aquellos que reservan almidón o azúcares como es el caso de los tejidos de la papa (*Solanum tuberosum*), de la batata (*Ipomoea batatas*), la calabaza (*Cucurbita maxima*) o la remolacha (*Beta vulgaris*) entre otras especies, se les denomina amiloplastos. En todos los casos este tipo de tejidos se conocen como reservantes o almacénquimas.

Asimismo, es frecuente encontrar en la literatura botánica referencias a la existencia de tejidos de

sostén en hojas, tallos, y excepcionalmente en algunos tipos de raíces. La referencia al sostén para nombrar estos tejidos devela la mirada funcionalista que ha impregnado a la biología y en ella emerge un tinte adaptacionista (Barahona y Torrens, 2004), que ha sido criticado por las teorías evolutivas más recientes.

El colénquima es uno de estos tejidos de sostén, sus células suelen encontrarse en los tallos de las plantas herbáceas, especialmente en muchas angiospermas monocotiledóneas como las totoras (*Typha dominguensis*) que crecen al borde de lagunas y descampados. Las células del colénquima tienen paredes primarias engrosadas, pero vitales, que le otorgan flexibilidad a los cormos y que resultan especialmente ventajosas en lugares azotados por el viento, permitiendo a las plantas moverse al compás de las ráfagas sin quebrarse. Se han descrito diferentes tipos de colénquima según los modos en que se engrosan sus paredes. Cuando el engrosamiento ocurre solamente en el ángulo de la pared que conecta con las células adyacentes hablamos de un colénquima angular; en cambio, cuando ocurre en las paredes que delimitan los espacios intercelulares y conforman lagunas, se les denomina colénquima lacunar. Si, por el contrario, se engrosan únicamente las paredes tangenciales, estamos en presencia de un colénquima laminar y finalmente si esos engrosamientos aparecen en todo el perímetro de la pared de manera uniforme se le denomina anular por la forma de anillo que se observa en corte transversal. No obstante, esta suerte de clasificación en patrones no siempre, ni en todas las plantas, resultan unívocos, siendo que a veces los engrosamientos son menos marcados e incluso se pueden observar en un mismo tejido combinaciones de estos.

Una de las particularidades del colénquima es que sus células mantienen los rasgos de un parénquima e incluso, muchas de ellas, en determinados momentos de la vida de la planta, y ante ciertas circunstancias, puede desdiferenciarse tal como ocurre en la mayoría de las células parenquimáticas. Esta ductilidad llega al punto de permitir nuevos modos de especialización, incluyendo la posibilidad de retomar la capacidad meristemática.

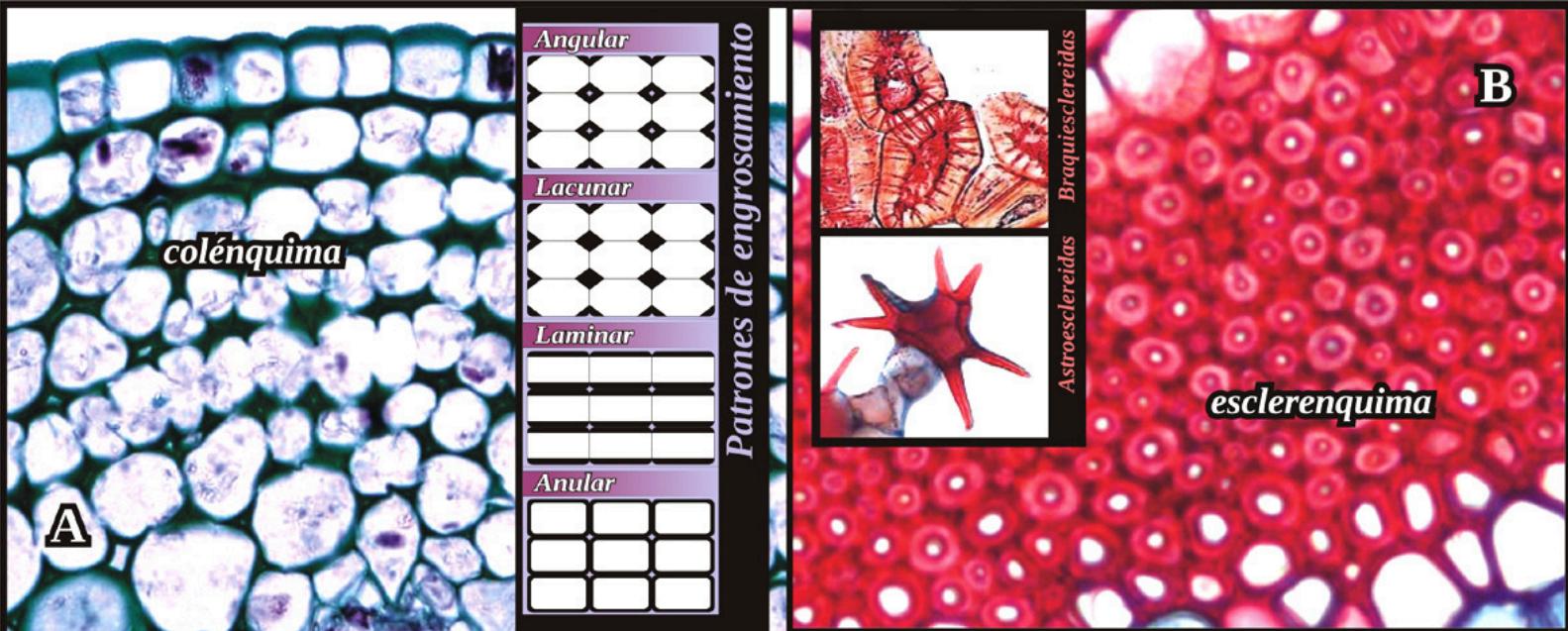
Esta ductilidad del colénquima y el hecho de originarse en el meristema fundamental, nos anima a deponer la idea funcionalista de pensarlo como un tejido diferente atendiendo únicamente a la función de sostén que desempeña en la planta para considerarlo como un tipo más de parénquima.

Y es que este tejido no deja de sorprendernos. En otro de los parénquimas que están especializados en el sostén y que están presentes en plantas epífitas como las orquídeas o el güembé (*Philodendron bipinnatifidum*), o en las raíces columnares que suelen formarse en las ramas de ciertos árboles muy robustos como las higueras (*Ficus carica*) y que crecen hasta penetrar en la tierra contribuyendo a su anclaje, las paredes se engrosan, pero lejos de ser como el colénquima, descrito anteriormente, acá se sintetiza y deposita lignina de la misma manera que ocurre en las células de conducción del xilema.

A diferencia del xilema, este tejido llamado esclerénquima se origina en el meristema fundamental como el resto de los parénquimas, pero el núcleo de sus células está “programado” para formar paredes secundarias que van engrosándose a lo largo de los años. En la medida

en que esta nueva pared crece hacia el interior de la célula, el diámetro interno (lumen celular) se va reduciendo, y esa reducción no solo le otorga rigidez, sino también termina por destruir a sus organelas y al citoplasma. Ahora bien, llamativamente, acá la muerte celular no es un problema, todo lo contrario. La deposición de lignina contribuye a otorgarle a las plantas soporte que, a diferencia del que provee el colénquima, no es flexible. En este caso, el esclerénquima suele conformar paquetes de células que reciben el nombre de fibras y recorren en sentido longitudinal gran parte del cormo.

Las fibras además de ser ventajosas para los vegetales resultan importantes para los seres humanos. Muchos pueblos las extraen y utilizan para construir los techos de sus viviendas, diferentes tipos de calzados, sogas y cuerdas e incluso con ellas confeccionan papel (por ejemplo, el papiro que utilizaban los egipcios) e indumentarias. Esa diversidad de usos da cuenta de cómo las diferentes culturas han ido moldeando sus saberes y costumbres, construyendo un vínculo histórico con la naturaleza.



Patrones de engrosamiento de las paredes celulares asociados al sostén.

A) Colénquima, B) Esclerénquima. Fotografías: Carlos A. Zavarce Pérez.

91

Además de los paquetes de fibras, otros tipos celulares son evidencia de la especialización del esclerénquima. Algunas células aisladas que se obstruyen prácticamente en su totalidad (por la deposición de lignina) llamadas braquiesclereidas, se encuentran en muchos frutos, a tal punto que estos pueden ser reconocidos al paladar por la textura terrosa que le otorgan. El membrillo (*Cydonia oblonga*), la manzana roja (*Malus domestica*) o la guayaba (*Psidium guajava*) son algunos de ellos. Este conocimiento es fundamental en la certificación de calidad, ya que al mirar bajo el microscopio una muestra de la mermelada se puede confirmar si esta es de origen vegetal o si, por el contrario, es un producto sintético o adulterado. Otras variantes del esclerénquima son las llamadas astroescclereidas, unas células con forma más o menos estrelladas que se insertan entre los espacios intercelulares del aerénquima de las plantas acuáticas y que contribuyen, tal como adelantamos, a “apuntalar” ese tejido otorgándole rigidez y evitando que colapse.

Si de vestimenta se trata

Existe un tejido, por último, que no solo protege a la planta de los agentes externos evitando que

se exponga a la desecación, al frío extremo, a la fricción o incluso a patógenos, sino que interviene en diferentes procesos metabólicos. La epidermis, tal es el tejido al que me refiero, se encuentra tapizando el cuerpo de la planta, aunque con algunas variantes. En las raíces, donde recibe el nombre de rizodermis, es posible reconocerlo por la presencia de pelos absorbentes que son aquellas estructuras por las que penetra el agua y los nutrientes disueltos en ella. Además, suele evitar la erosión de los tejidos internos como resultado de la fricción que ejerce, en el crecimiento de este órgano, el contacto con el sustrato.

Por su parte, la epidermis de los órganos aéreos de la planta suele tener diferentes tipos de tricomas, es decir, estructuras como pelos (ya sean simples o ramificados), escamas e incluso glándulas que exudan metabolitos, algunos de aroma agradable, otros con olores pútridos e incluso sustancias urticantes. También esa epidermis, que carece de espacios intercelulares, suele estar recubierta por una exudación de cera que forma una película (cutícula) cuyo grosor muchas veces está relacionado con el clima en que se encuentran, siendo llamativamente más gruesa en ecosistemas desérticos.

Este tejido, además está interrumpido por estomas, estructuras que como se mencionó anteriormente, contribuyen a regular el intercambio de gases con el exterior. La forma de los estomas, su distribución y cantidad, así como la particularidad de encontrarse expuestos o embebidos en criptas permiten clasificar a las plantas o asociarlas a cierto tipo de ambientes.

Los tejidos en el cormo

Tal como podemos imaginar, la diversidad de tejidos y el modo en que se distribuyen en el cormo de los vegetales es clave para distinguir a los diferentes grupos de plantas y comprender la historia que los conecta. Una de las grandes contribuciones de la anatomía comparada (Esau *et al.*, 1985) ha sido la descripción de los diferentes patrones que conforman la estructura de los órganos macizos (raíces y tallos), especialmente la del cilindro central (estela) y, por supuesto, el reconocimiento de los tejidos (llamados meristemas) que los originan.

La diversidad de estelas existente no es casual, los patrones encontrados en los diferentes grupos de plantas y algunos hallados en grupos extintos, dan cuenta de un proceso de evolución que refuerza la idea del origen común de la diversidad de especies y de grupos taxonómicos, siendo en principio, todos ellos, derivados de cambios sucesivos acontecidos en una estela arcaica conocida como protostela. Estos cambios, adquiridos como novedades evolutivas, en tanto hayan sido seleccionados, terminan por heredarse en la diversidad de especies que derivan de esos ancestros y que conforman cada una de las líneas filogenéticas.

En los helechos y afines, que son de las plantas terrestres más antiguas, las raíces y tallos tienen estelas poco sofisticadas. Entre ellas, se destacan

las sifonostelas y las dictiostelas, que se caracterizan por presentar los tejidos vasculares embedidos en la corteza parenquimática. Las sifonostelas reciben este nombre por su parecido a un “sifón” con los tejidos vasculares dispuestos de manera concéntrica respecto de un cilindro parenquimático central que recibe el nombre de médula, mientras que en las dictiostelas los tejidos vasculares conforman haces fragmentados que se encuentran separados entre sí por lagunas foliares.

Por otra parte, al observar bajo el microscopio un corte transversal de raíz de gimnospermas o de angiospermas podemos encontrar, revistiéndola, a la rizodermis. El agua que penetra a través de sus pelos absorbentes suele atravesar las células que conforman la corteza parenquimática hasta llegar al cilindro central conformado por xilema y floema, acompañados (en ambos casos) de células parenquimatosas y de un tejido que lo delimita conocido como endodermis. En el cilindro central (estela) el xilema y el floema se disponen alternativamente dando la apariencia de una estrella (actinostela). La manera en que se ubican las células del xilema y del floema en la estela, y las particularidades de la endodermis, permite distinguir a las gimnospermas y las angiospermas dicotiledóneas con estelas (y arcos) de hasta cinco puntas de las monocotiledóneas que tienen estelas poliarcas. En algunas raíces como las de la zanahoria (*Daucus carota*), por ejemplo, es frecuente, además, la presencia de tejidos reservantes.

En el caso de los tallos también es posible diferenciar a las monocotiledóneas de las dicotiledóneas y gimnospermas porque las monocotiledóneas presentan un patrón denominado atactostela. Bajo la epidermis, que es originada en la protodermis, el meristema más externo, se encuentra una corteza parenquimática

Xilema
Floema
Parénquima
Procambium / Cambium
Peridermis
Felógeno

En las sifonostelas aparece una médula parenquimática.

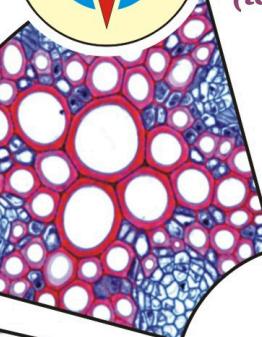
Sifonostela

Protostela

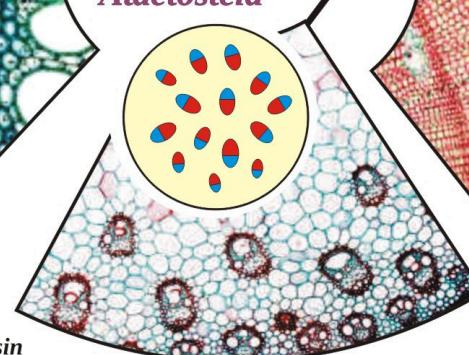
Las protostelas y las actinostelas carecen de parénquima medular.

En las actinostelas el xilema se dispone centralmente y entre sus arcos se encuentran las células floemáticas que conforman el cilindro central delimitado por el periciclo y la endodermis.

Actinostela (tetrarca)



Atactostela



Actinostela (poliarca)

En las atactostelas la médula se encuentra interrumpida por haces vasculares cerrados -sin procambium-, que están dispuestos de manera desordenada.

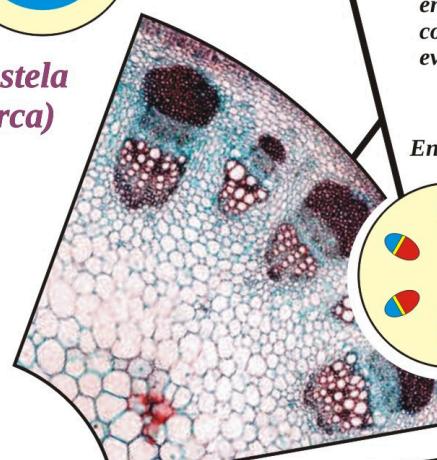
En las sifonostelas aparece una médula parenquimática.

Sifonostela

La médula aparece interrumpida en los primeros helechos, esto es considerado como una novedad evolutiva.

Eustela 1ria

En las eustelas también aparece una médula de células parenquimáticas, mientras que el xilema y floema conforma haces con procambium



La actividad del procambium conforma un anillo que regula la actividad meristemática y la formación de anillos de xilema de manera estacional. También forma floema y una peridermis regulada por el felógeno.

Eustela 2ria



Diferentes patrones de estelas en raíces y tallos de plantas vasculares.

Nexos anatómicos. Ilustración: Carlos A. Závaro Pérez.

que es interrumpida por haces vasculares cerrados, que carecen de tejido meristemático, y que se disponen de manera aleatoria y muchas veces rodeados por vainas de esclerénquima. En muchas de estas especies, bajo esa epidermis, suele encontrarse, también, varias capas de colénquima que contribuyen con el sostén. En los tallos de las gimnospermas y de las angiospermas dicotiledóneas, por el contrario, el patrón es diferente. En las plantas herbáceas o en los primeros años de vida de las arbustivas o las arbóreas, bajo la epidermis se encuentra una corteza parenquimática que en ocasiones está delimitada por un clorénquima periférico e inte-

rrumpida por haces vasculares abiertos con xilema y floema que están separados entre sí, a diferencia de las monocotiledóneas, por trazas de un tejido meristemático llamado procambium. Coronando esos haces vasculares hay casquetes de esclerénquima que contribuyen al sostén en esos primeros años de vida. A este tipo de estela se le denomina eustela, y en ellas el procambium resulta vital porque es el responsable de desencadenar un tipo de crecimiento en grosor, también llamado crecimiento secundario, que es el que origina el leño característico de los arbustos y árboles.

La actividad del procambium no solo forma xilema hacia el interior de la médula parenquimática y floema hacia la periferia, sino también estimula la desdiferenciación de las células del parénquima interfascicular (dispuestas entre los haces). Esto termina por formar un anillo de cambium con una actividad meristemática estacional (es estimulada en primavera y atentada en el invierno) que produce los anillos de crecimiento anuales. El número de anillos permite estimar la edad de los árboles, al menos en aquellos de países con estaciones climáticas bien marcadas. Los anillos de xilema, además, contribuyen notoriamente, gracias al depósito de lignina en las paredes de sus células, al sostén de la planta, muchas de ellas capaces de alcanzar más de 50 metros de altura.

La estimulación de ese crecimiento en grosor ejerce una presión sobre la epidermis que termina por desgarrarla, aunque esta es sustituida paulatinamente por un nuevo tejido sumamente complejo que se origina a partir de un nuevo meristema, el felógeno. Este meristema formado de igual manera por desdiferenciación de células parenquimáticas periféricas que terminan por dividirse sistemáticamente ante el estímulo del anillo de cambium, conforman una peridermis que está compuesta por capas de células perimetrales que reciben el nombre de felodermis, ubicadas hacia la cara interna del felógeno y células suberosas que conforman el famoso “corcho” que reviste los troncos de los árboles y cuya morfología resulta sumamente variable, a tal punto que es posible reconocer muchas especies arbóreas por sus particularidades. Este corcho, por su parte, es interrumpido por espacios que contribuyen al intercambio gaseoso, las lenticelas.

Además, en algunas plantas monocotiledóneas, como las palmeras, que llegan a alcanzar varios

metros de altura y casi medio metro de diámetro en varias especies, existe un tipo particular de crecimiento en grosor. Siendo que los haces vasculares son cerrados y carecen de procambium, este crecimiento se produce de manera anómala por la desdiferenciación de las células del parénquima ubicadas en la periferia de la atactostela, generando haces vasculares concéntricos, que, si bien no conforman anillos como en las angiospermas, y por lo tanto no forman leño o madera, si contribuyen a otorgarle rigidez y a facilitar la circulación del agua y los nutrientes.

Existen, además, múltiples variantes especializadas de tallos. Los rizomas son tallos rastreros o suberectos, casi siempre subterráneos, típicos de la mayoría de los helechos; los estolones, también rastreros, aparecen, por ejemplo, en plantas como la fresa (*Fragaria chiloensis*) o el lazo de amor (*Chlorophytum comosum*); los estípites, son típicos de muchas palmeras, en tanto otros tallos como los tubérculos de la papa, se caracterizan por presentar una gran cantidad de amiloplastos cuyas sustancias de reserva resultan más que importantes en nuestra alimentación.

Muchas de estas sustancias de reserva son utilizadas por las plantas en rutas metabólicas que garantizan procesos vitales como el crecimiento secundario, la floración o la fructificación y que mayoritariamente se originan como fotosintatos en el clorénquima de las hojas.

A modo de síntesis

¿Es posible encontrar, entonces, un nexo entre la estructura anatómica del cormo de las plantas, la función que desempeña cada uno de sus tejidos, el ambiente en que viven y el contexto histórico en que han evolucionado cada uno de los grupos?

Por supuesto que sí, toda la evidencia existente con relación a la diversidad de funciones que desempeñan los tejidos vegetales y los patrones anatómicos y morfológicos que estos conforman, dan cuenta de varias ideas que conviene reforzar a modo de conclusión, y que han sido parte de las principales discusiones teóricas sobre las adaptaciones (Gould y Lewontin, 2015; León Fiallos y Morales Ramos, 2024) en los últimos tiempos en la biología evolutiva.

Por una parte, la función es resultante de la especialización de las células, aunque no constituyen respuestas directas al ambiente, sino configuraciones estructurales derivadas de procesos azarosos. Este tipo de “arreglos” conforman patrones que han demostrado ser exitosos y han terminado por constituir novedades que fueron seleccionadas, y heredadas, por aquellas especies que hoy conforman cada una de las líneas filogenéticas. Los patrones, de esta manera, son evidencia de que la diversidad de grupos taxonómicos existentes tiene un mismo antecesor y en consecuencia comparten una misma historia que es producto de la combinación entre el azar y la selección natural, entre otros mecanismos de la evolución.

Agradecimientos

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos al Sr. Lucas Conte, de la División de Plantas Vasculares del Museo de La Plata y al Dr. Pablo Stampella, por sus valiosos aportes y sugerencias en la revisión del manuscrito.

Referencias

- Barahona, A., & Torrens, E. (2004). El telos aristotélico y su influencia en la biología moderna. *Ludus Vitalis*, 12(21), 161-178.
- Esau, K., Evert, R. F., & Fortes-Fortes, M. (1985). *Anatomía Vegetal*. Omega
- Gould, S. J., & Lewontin, R. C. (2015). Las enjutas de San Marcos y el paradigma panglossiano: una crítica del programa adaptacionista. *Investigación Ambiental, Ciencia y Política Pública*, 7(1), 81-95.
- León Fiallos, K. Z., & Morales Ramos, G. S. (2024). Biología celular evolutiva: integrando células y evolución. *Polo del Conocimiento*, 9(9), 2334-2351.
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la Botánica*. Pearson Educación S.A.
- Zavaro Pérez, C., & Maniago, F. (2023). ¿Por qué tienen espinas los Cactus? Una aproximación desde la teoría evolutiva. *Herreriana*, 5(2), 25-31. <https://doi.org/10.29057/h.v5i2.9888>