

Histología 6: Sistema Vascular

- Tejidos vasculares: xilema y floema

Subunidad A: Xilema

- Xilema : tipos celulares
- Diferenciación de los elementos traqueales primarios
- Procambium
- Xilema secundario
- Sistema axial y radial de células
- tipos celulares
- Vasos leñosos
- Especialización filogenética

Subunidad C: Cámbium vascular

- Tipos celulares. Organización espacial y actividad cambial. Posición en tallos y raíces.

Organización interna de las plantas superiores

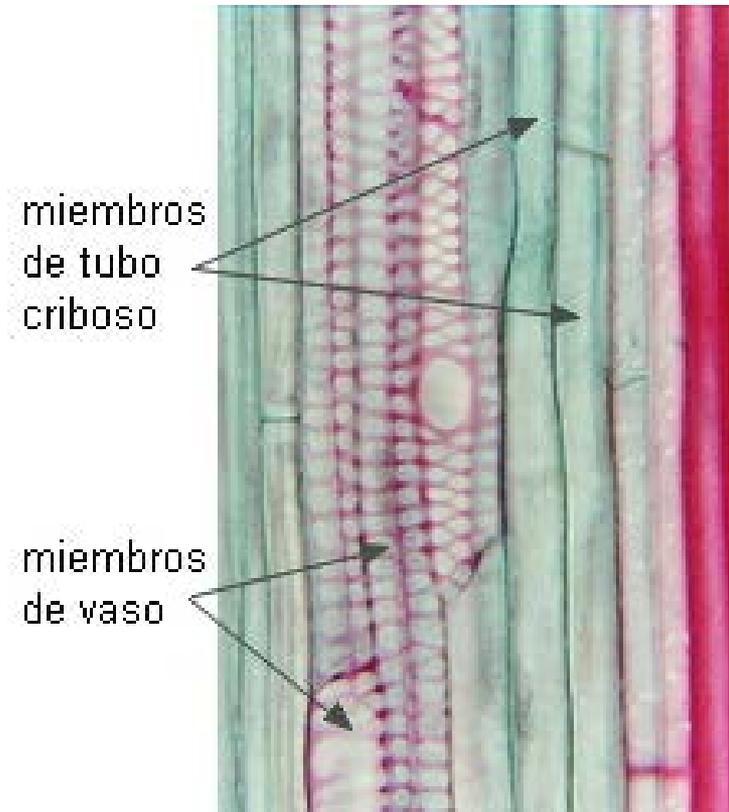
Sistema hístico	Tejido	Función	Características	Tipo celular
	Meristema	crecimiento por división celular	Tejidos indiferenciados	
Dérmico	Epidermis	protección de partes verdes	Tejidos diferenciados	
	Peridermis	protección del cuerpo secundario		
Vascular	Xilema	transporte de agua y sales		
	Floema	transporte de productos fotosintéticos		
Fundamental	Parénquima	procesos del metabolismo: fotosíntesis, respiración, almacenaje y conducción a corta distancia, etc.		
	Colénquima	sostén en órganos en crecimiento		
	Esclerénquima	sostén		

Organización interna de las plantas superiores

Sistema hístico	Tejido	Función	Características	Tipo celular
	Meristema	crecimiento por división celular	paredes 1º, núcleo grande	células meristemáticas
Dérmico	Epidermis	protección de partes verdes	pared 1º, la externa con cutina.	células epidérmicas propiamente dichas, cél. especializadas: tricomas, estomas, etc.
	Peridermis	protección del cuerpo secundario	diversos tipos celulares	formado por súber, felógeno y felodermis
Vascular	Xilema	transporte de agua y sales	tejido complejo	traqueidas, elementos de vasos, fibras y cél. parenquimáticas
	Floema	transporte de productos fotosintéticos	tejido complejo	Células cribosas, elementos de tubos cribosos, fibras, y cél. parenquimáticas
Fundamental	Parénquima	procesos del metabolismo: fotosíntesis, respiración, almacenaje y conducción a corta distancia, etc.	Paredes 1º o 1º y 2º Células vivas a la madurez	Células parenquimáticas
	Colénquima	sostén en órganos en crecimiento	Pared 1º, desigualmente engrosada	Colénquima angular, lamelar y lagunar
	Esclerénquima	sostén	Pared 1º y 2º, generalmente lignificada	Fibras y esclereidas

Tejidos vasculares

- Forman un sistema continuo a lo largo de todas las partes de la planta
- Por su importancia fisiológica y filogenética ha sido utilizado para denominar un amplio grupo de plantas: las **Traqueófitas o Plantas vasculares** que comprenden las Pteridófitas y las Espermatófitas



Fuente: biologia.edu.ar/botanica

Traquéofitas o Plantas vasculares

Pteridófitas



Gimnospermas



Angiospermas



Dicotiledóneas

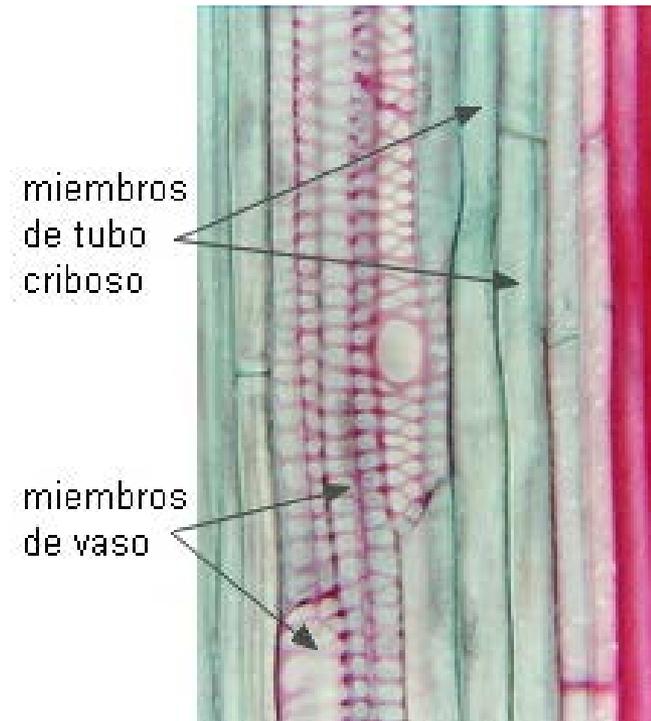


Monocotiledóneas

Tejidos vasculares

Formados por células muy especializadas:

- **forma generalmente alargada** en la dirección general del transporte.
- **paredes terminales generalmente oblicuas** para aumentar la superficie de contacto y facilitar el pasaje de sustancias.
- a menudo están fusionadas entre sí formando verdaderos tubos conductores.



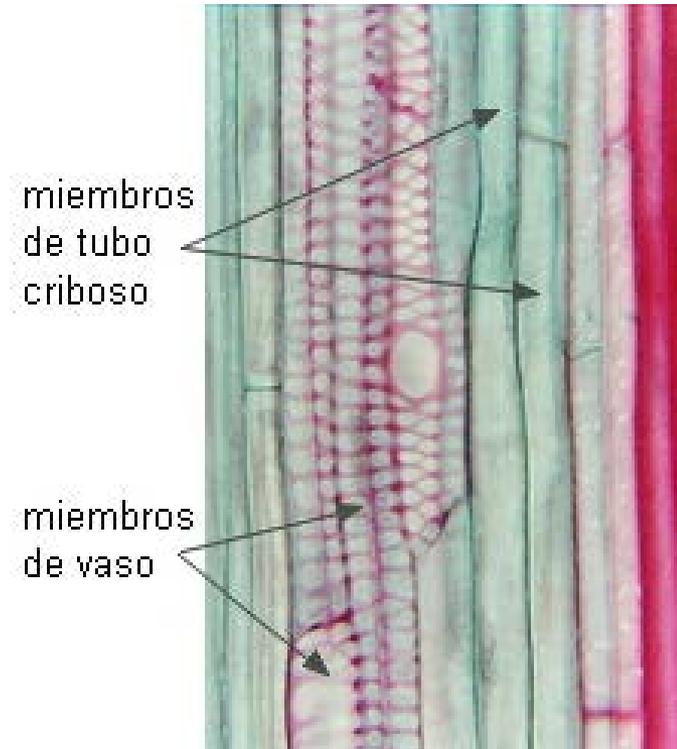
Fuente: biologia.edu.ar/botanica

Tejidos vasculares

Dos sistemas de transporte :

Xilema: transporta agua y minerales en la dirección de la corriente transpiratoria

Floema: transporta sustancias producto de la fotosíntesis en dirección acrópeta y basípeta



Fuente: biologia.edu.ar/botanica

Tejidos vasculares: origen

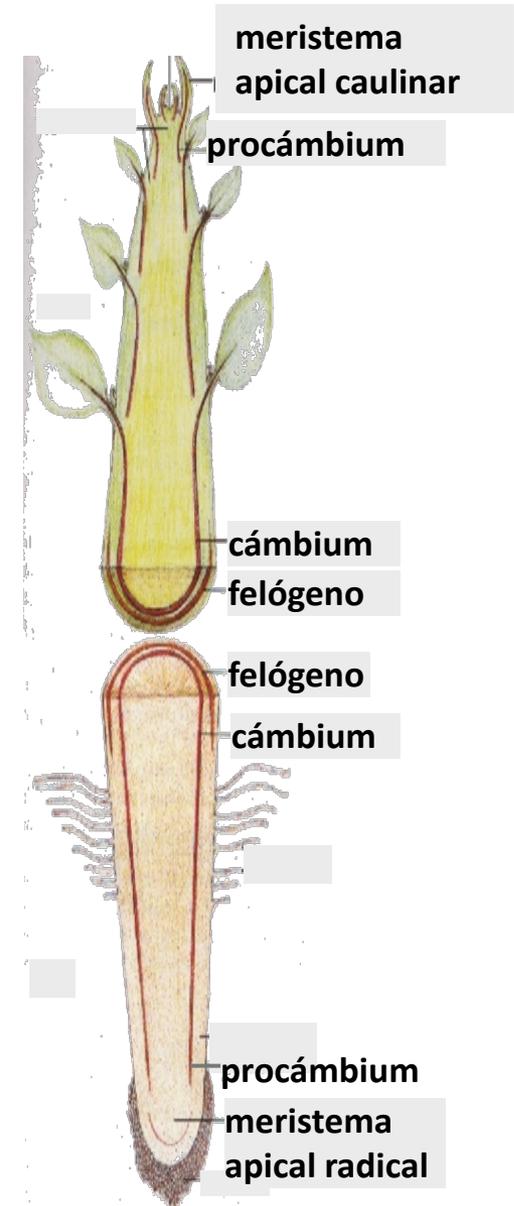
ORIGEN

En el cuerpo primario:

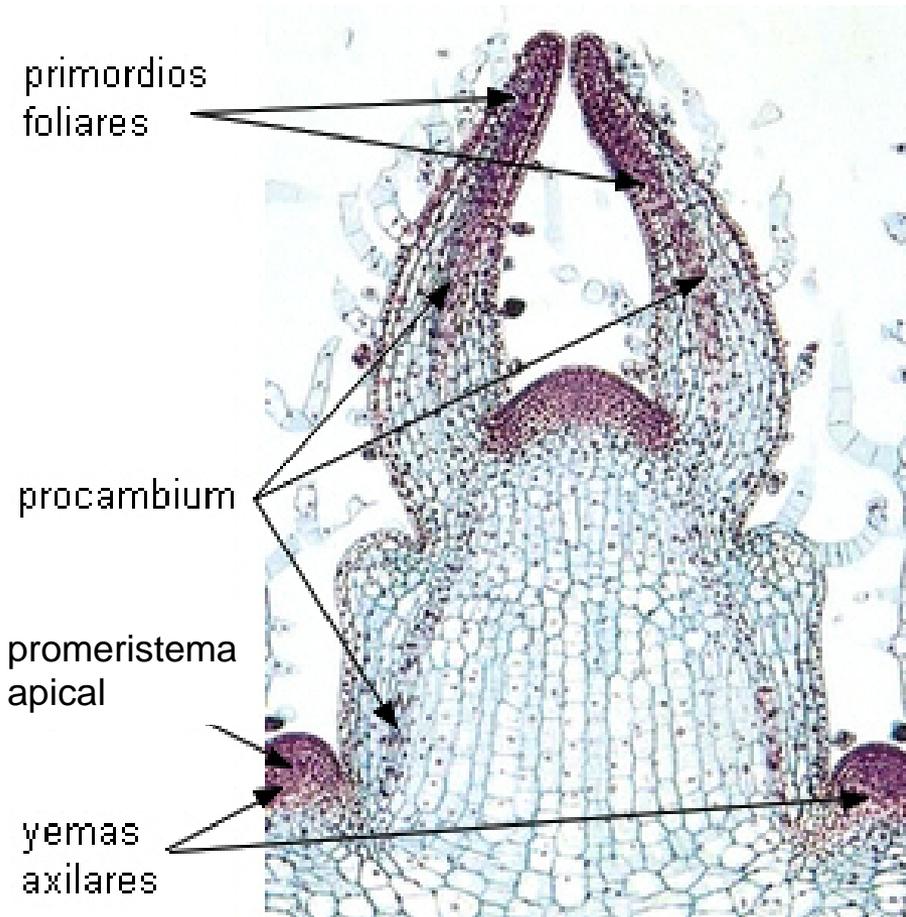
Procámbium → xilema y floema 1º

En el cuerpo secundario

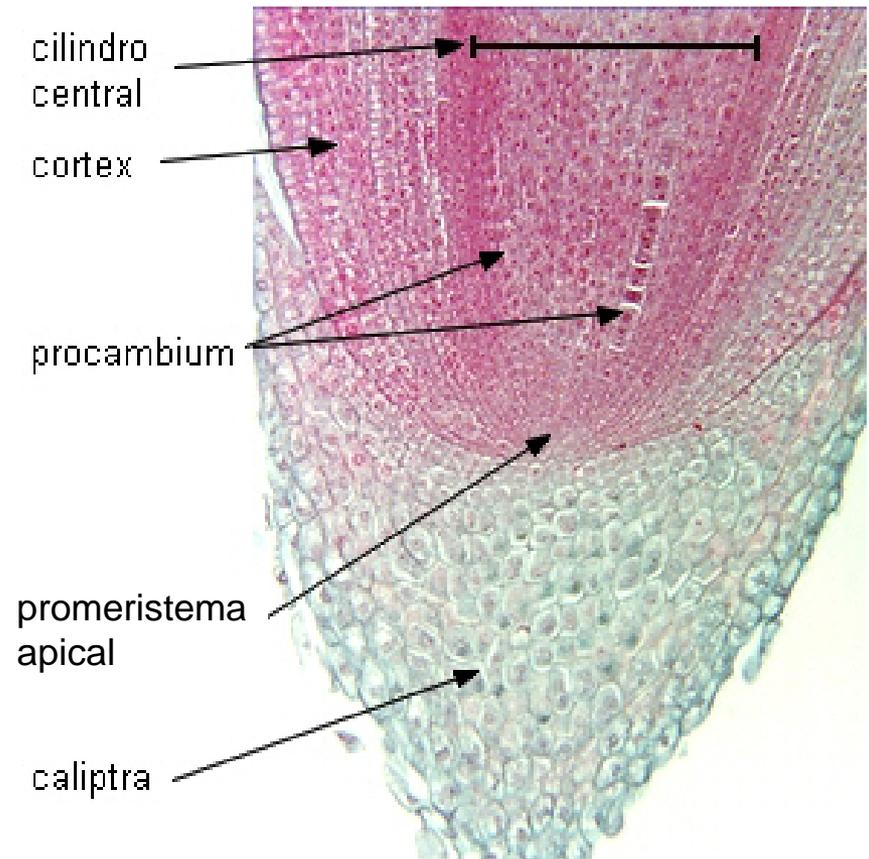
Cámbium → xilema y floema 2º



Tejidos vasculares: origen primarios



Meristema apical caulinar: *Coleus*

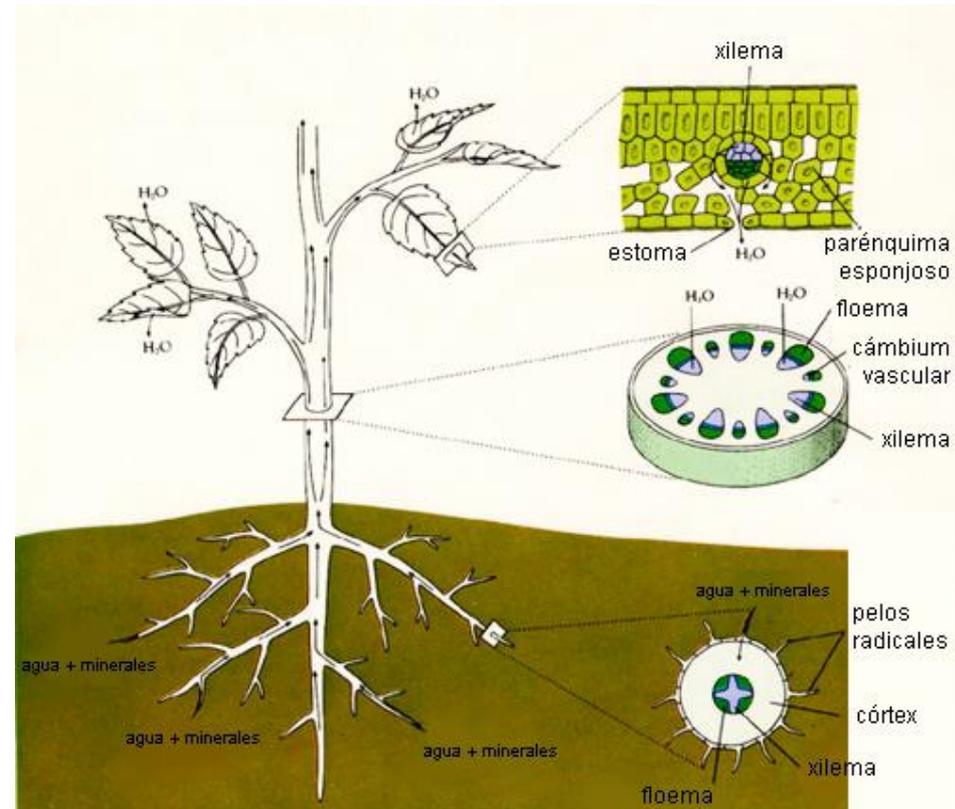


Meristema apical radical: *Zea mays*

Xilema

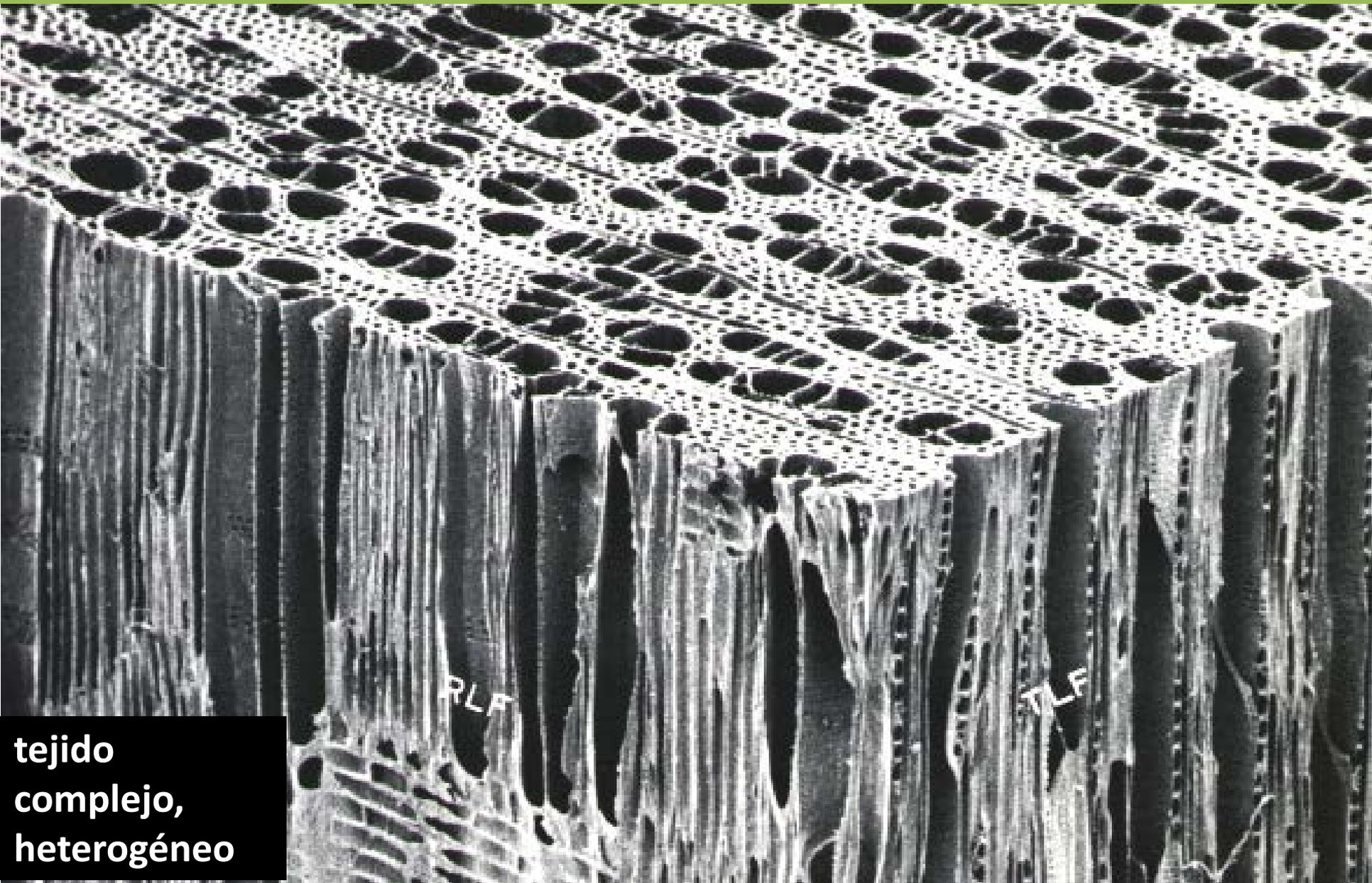
Xilema (del griego *xylon* = madera)

- **tejido conductor de agua y solutos** desde la región de absorción a la de transpiración.
- también **tiene funciones de sostén y de reserva nutrientes**
- **flujo unidireccional**
- generalmente está asociado con el floema (tejido conductor de sustancias elaboradas en la fotosíntesis)
- Tejido complejo



Fuente: biologia.edu.ar/botanica

Xilema



tejido
complejo,
heterogéneo

Xilema: tipos de células

Tipos de células		Función
Elementos traqueales	Traqueidas	Conducción, sostén
	Elementos de los vasos	
Fibras	Fibrotraqueidas	Sostén, almacenamiento
	Fibras libriformes	
	Fibras septadas	
	Fibras mucilaginosas	
Células parenquimáticas		Almacenamiento, traslado
Estructuras glandulares e idioblastos		Secreción, acumulación

Xilema: tipos de células

Tipos de células		Función
Elementos traqueales	Traqueidas	Conducción, sostén
	Elementos de los vasos	
Fibras	Fibrotraqueidas	Sostén, almacenamiento
	Fibras libriformes	
	Fibras septadas	
	Fibras mucilaginosas	
Células parenquimáticas		Almacenamiento, traslado
Estructuras glandulares e idioblastos		Secreción, acumulación

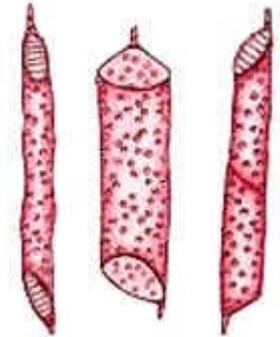
Xilema: elementos traqueales

- *Trachea*: semejante a las tráqueas de los insectos (Esau 1961)
- Células **conductoras** del xilema
- Dos tipos fundamentales:
 - Traqueidas
 - Elementos o miembros de los vasos
- Células alargadas que tienen **paredes secundarias lignificadas** y **no están vivas a la madurez**.
- **Comunicación por punteaduras**



TRAQUEIDAS

imperforadas



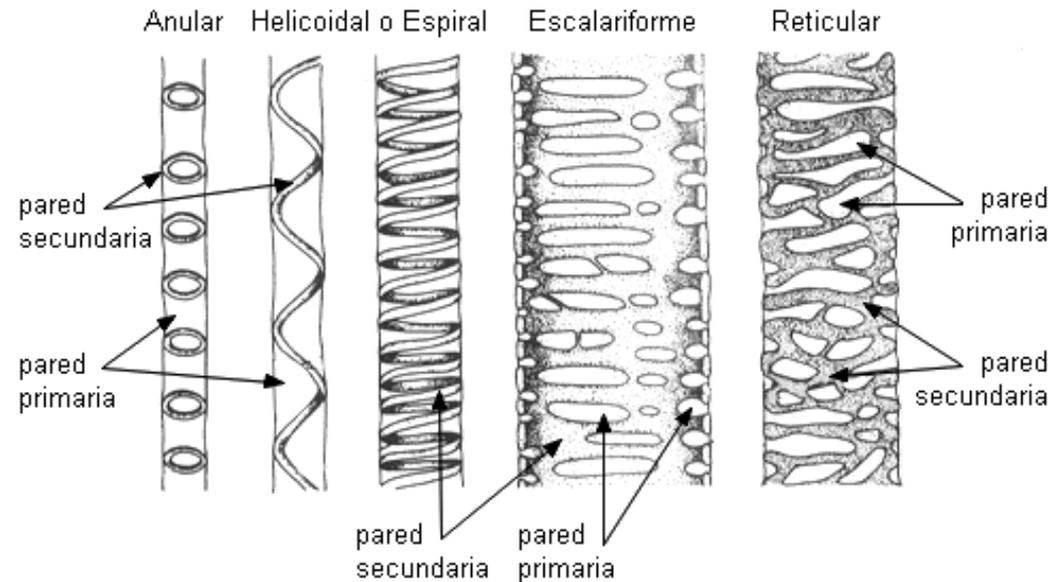
ELEMENTOS DE VASO

perforados

Xilema: elementos traqueales

Espesamientos de la pared secundaria:

- En los elementos del **xilema primario**, la **pared secundaria se deposita sobre regiones limitadas**,
- en cambio en los elementos del **xilema secundario se deposita sobre casi toda la superficie de la célula**.

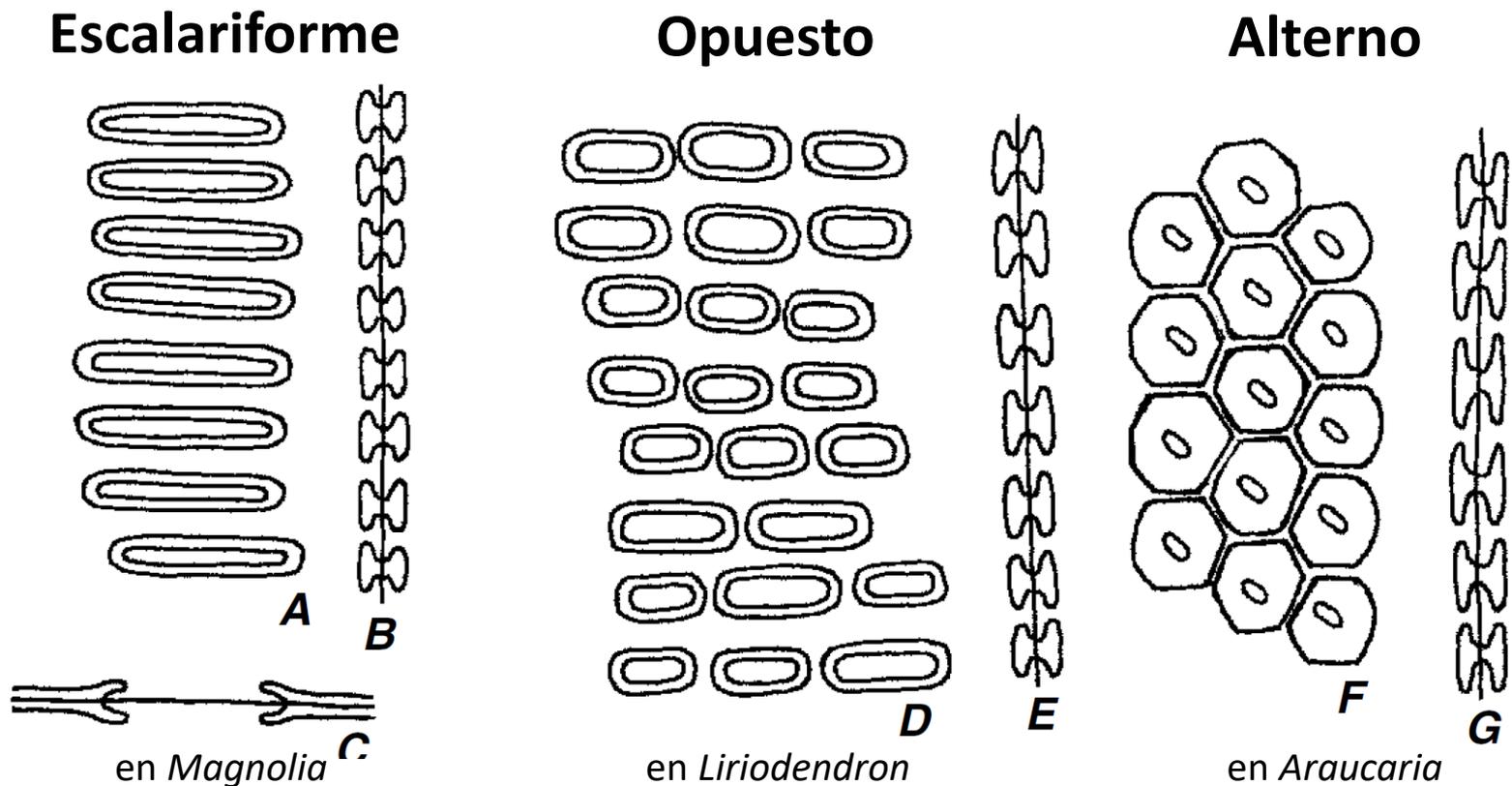


→
Aumento progresivo en la extensión de la superficie de pared primaria cubierta por material de pared secundaria

Xilema: elementos traqueales

Punteaduras:

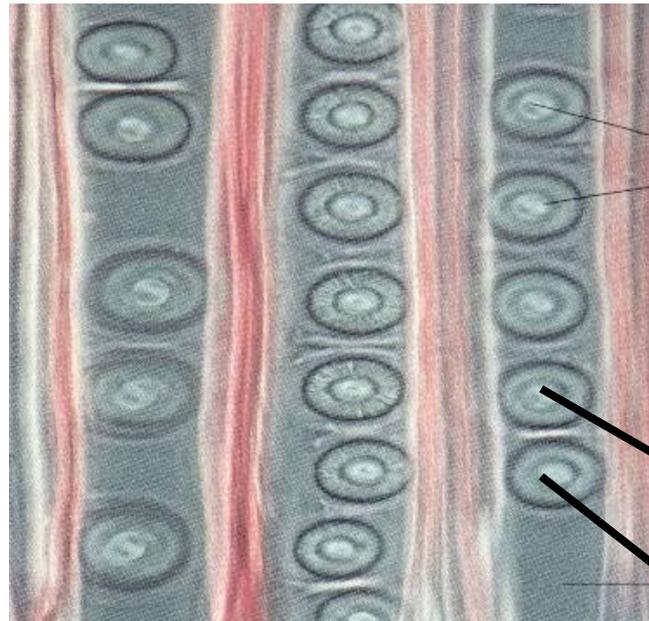
- pueden disponerse de manera diversa sobre la pared de los elementos traqueales



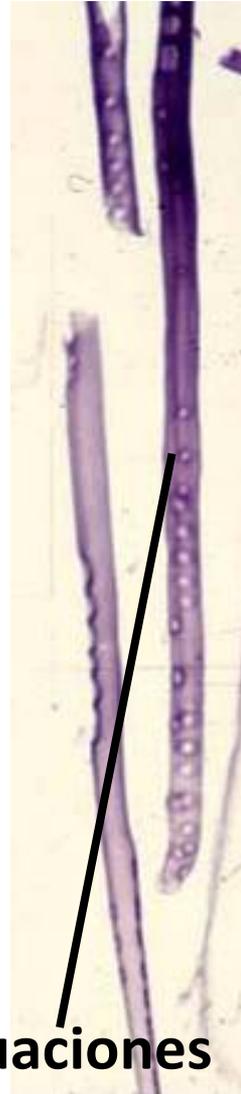
Xilema: elementos traqueales

TRAQUEIDAS

- células alargadas (prosenquimática)
- **elementos cerrados**
- muertas a la madurez
- paredes gruesas, lignificadas, distintos tipos engrosamientos pared 2º
- **punteaduras areoladas**
- **extremos romos**
- long.: 1- 8 mm
- ancho: 20-60 μm

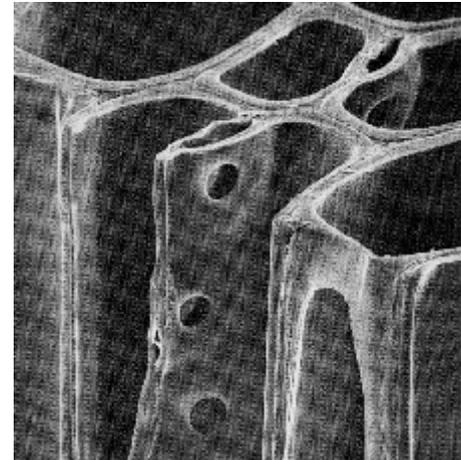
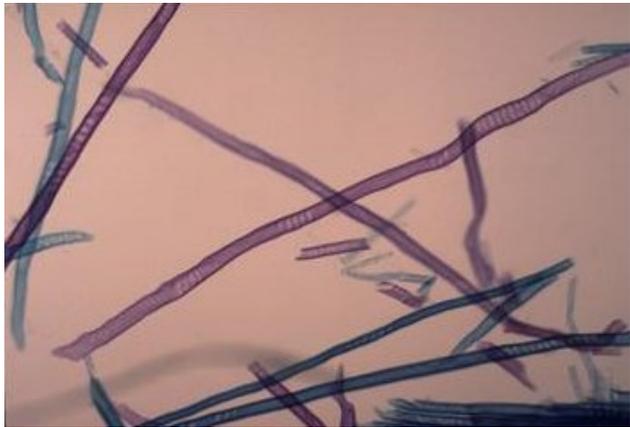
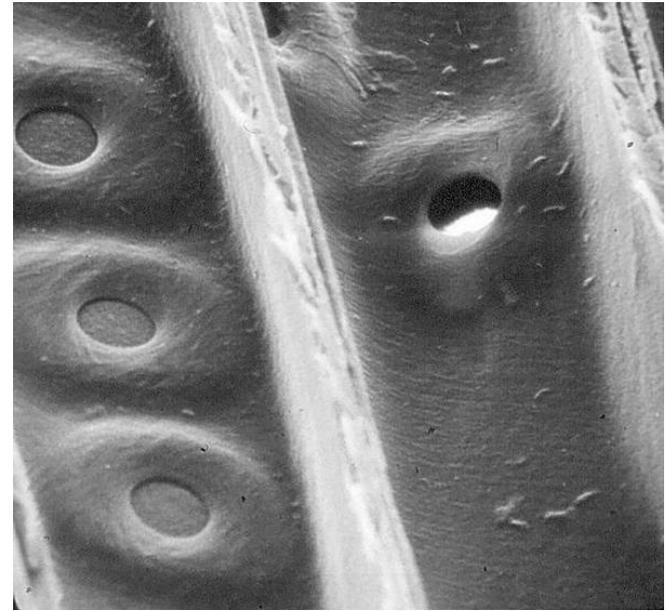
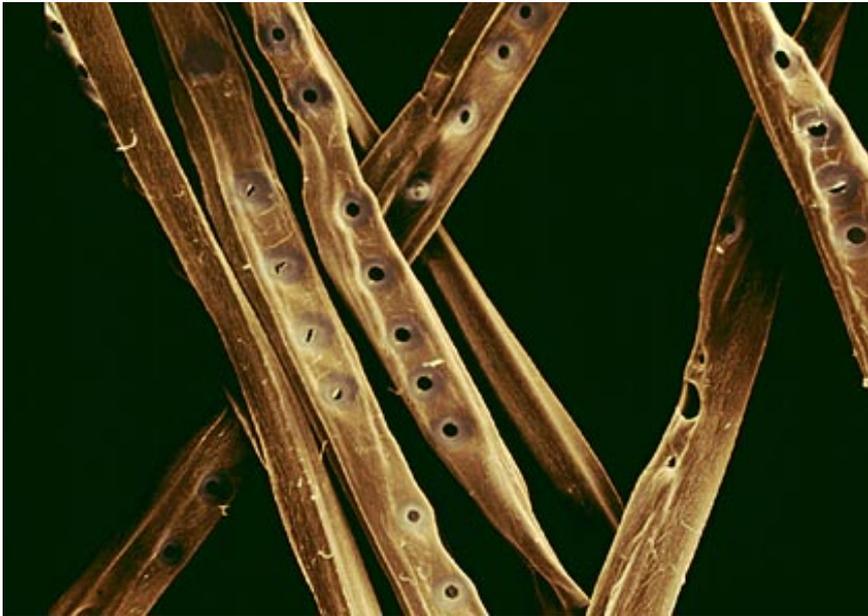


puntuaciones areoladas



Xilema: elementos traqueales

TRAQUEIDAS

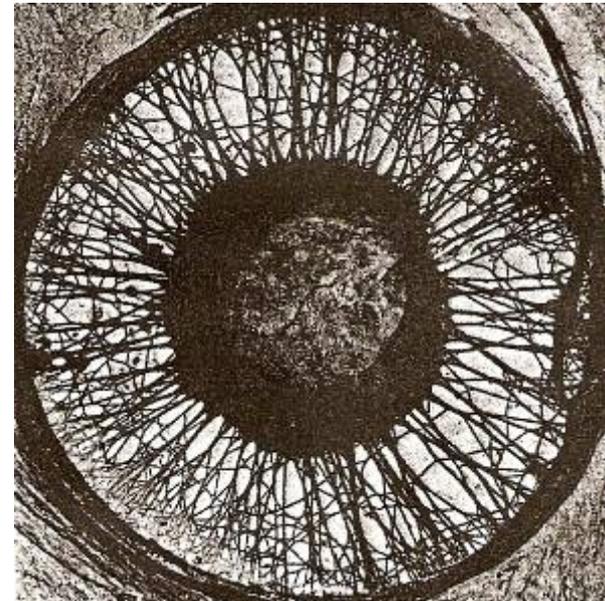
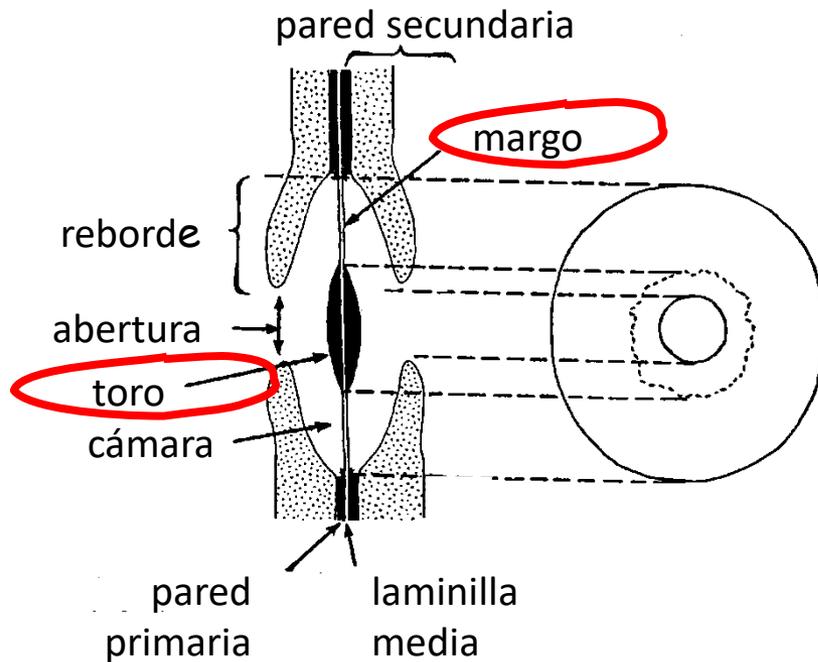


Xilema: elementos traqueales

TRAQUEIDAS

Punteaduras areoladas con torus

- Generalmente en paredes radiales

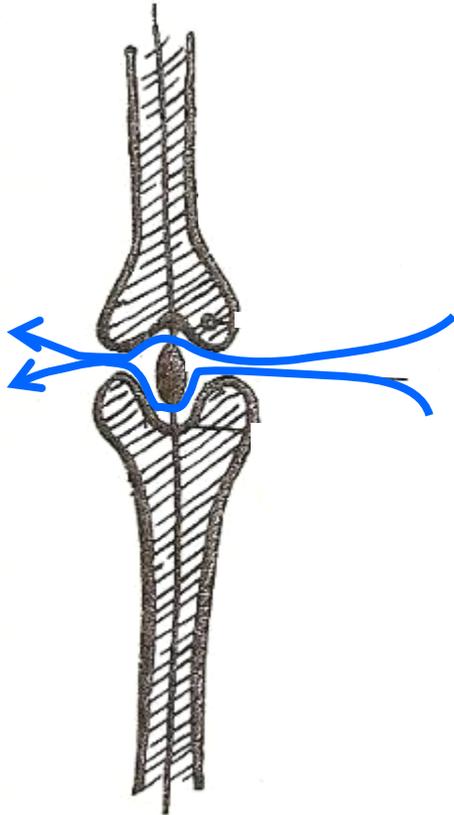


Xilema: elementos traqueales

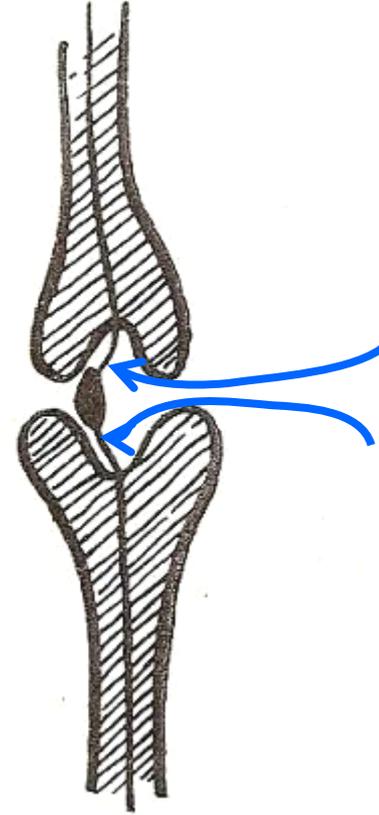
TRAQUEIDAS

Punteaduras areoladas con torus

Puntuación funcional



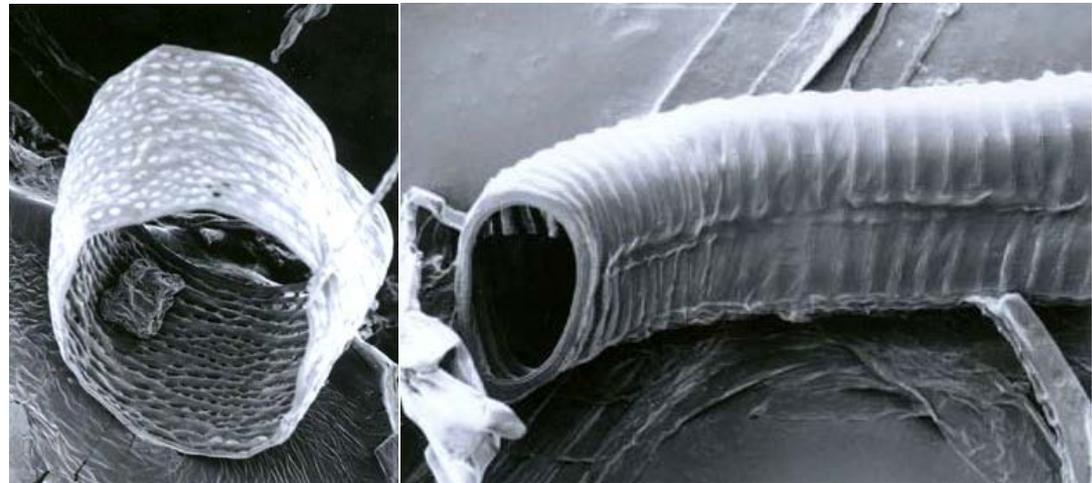
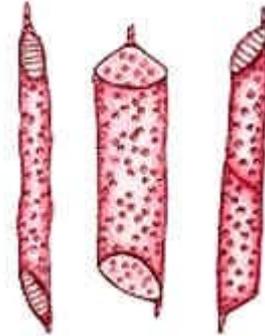
Puntuación aspirada



Xilema: elementos traqueales

ELEMENTOS DE VASOS

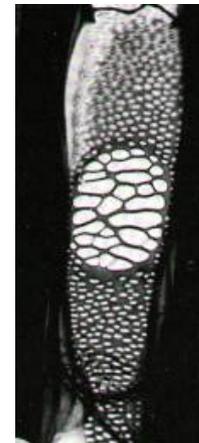
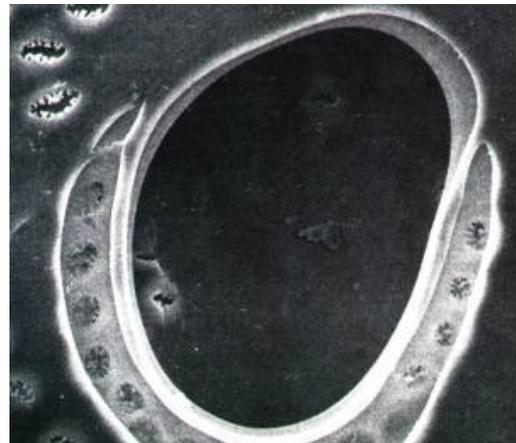
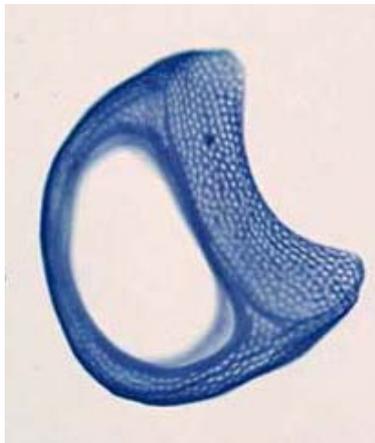
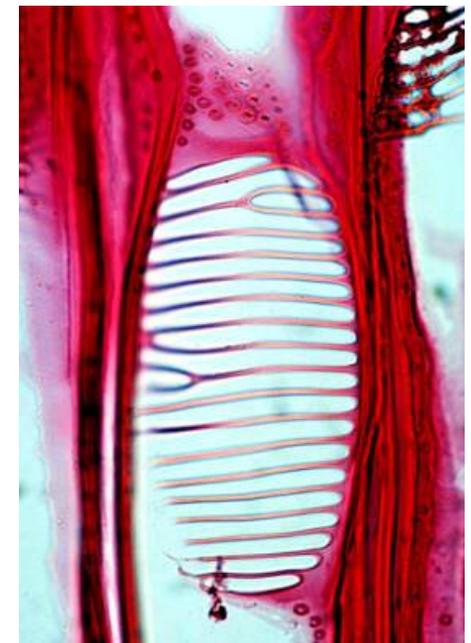
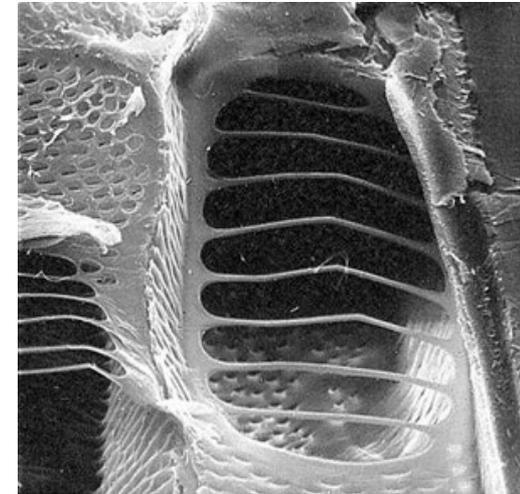
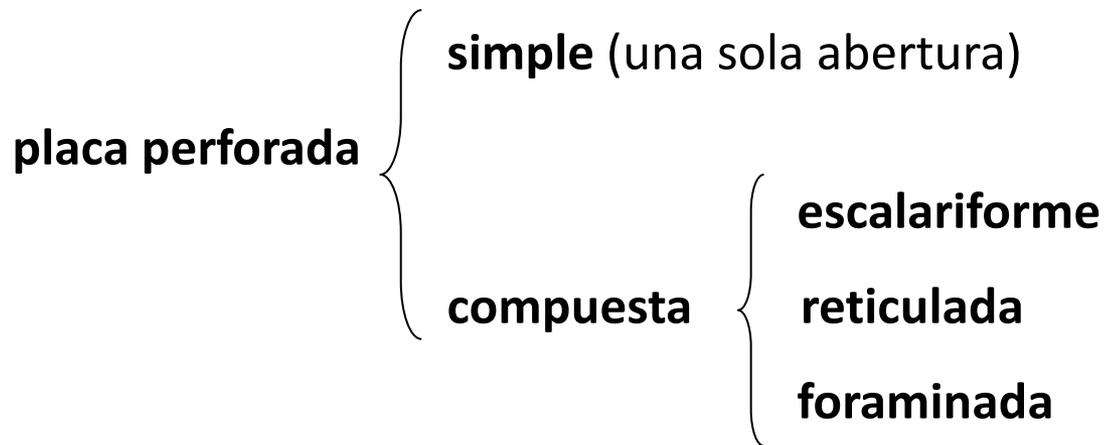
- células alargadas
- **perforadas en los extremos**
- muertas a la madurez
- paredes gruesas, lignificadas, distintos tipos engrosamientos pared 2º
- **punteaduras areoladas sin torus**
- **placas de perforación en los extremos**



Xilema: elementos traqueales

ELEMENTOS DE VASOS

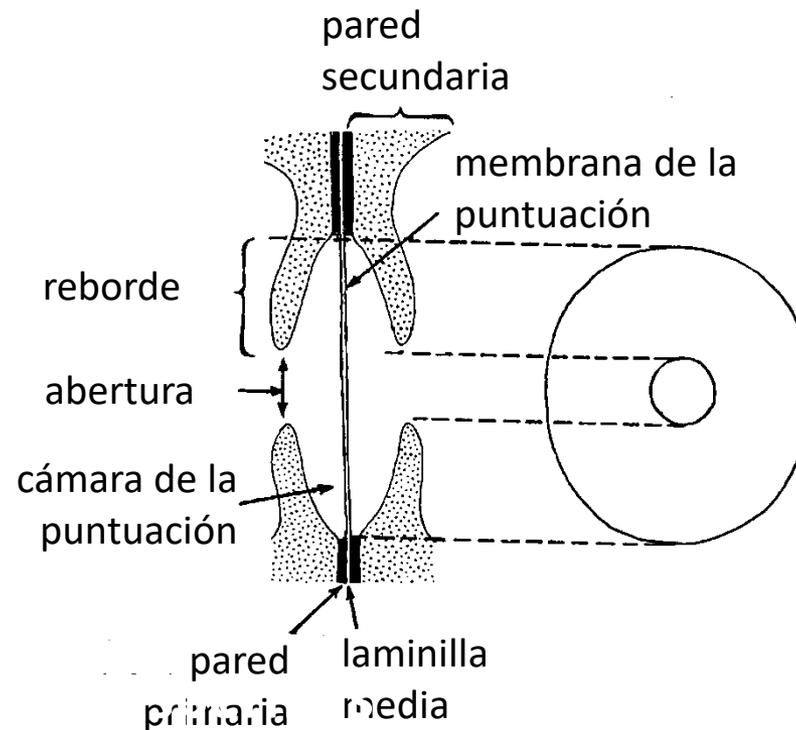
Tipos de perforaciones (long. radiales)



Xilema: elementos traqueales

ELEMENTOS DE VASOS

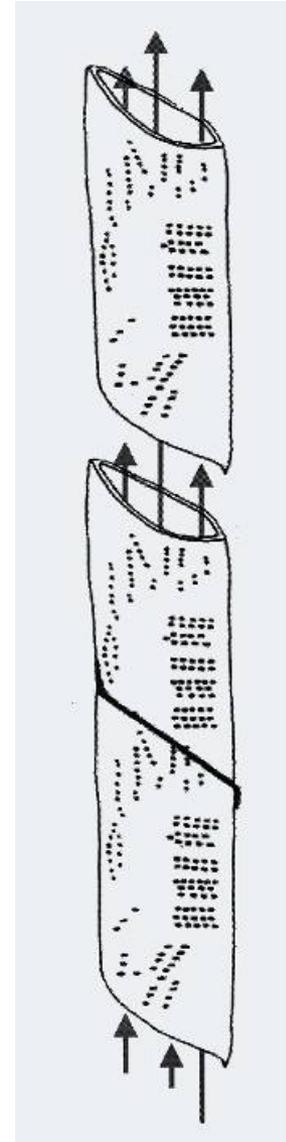
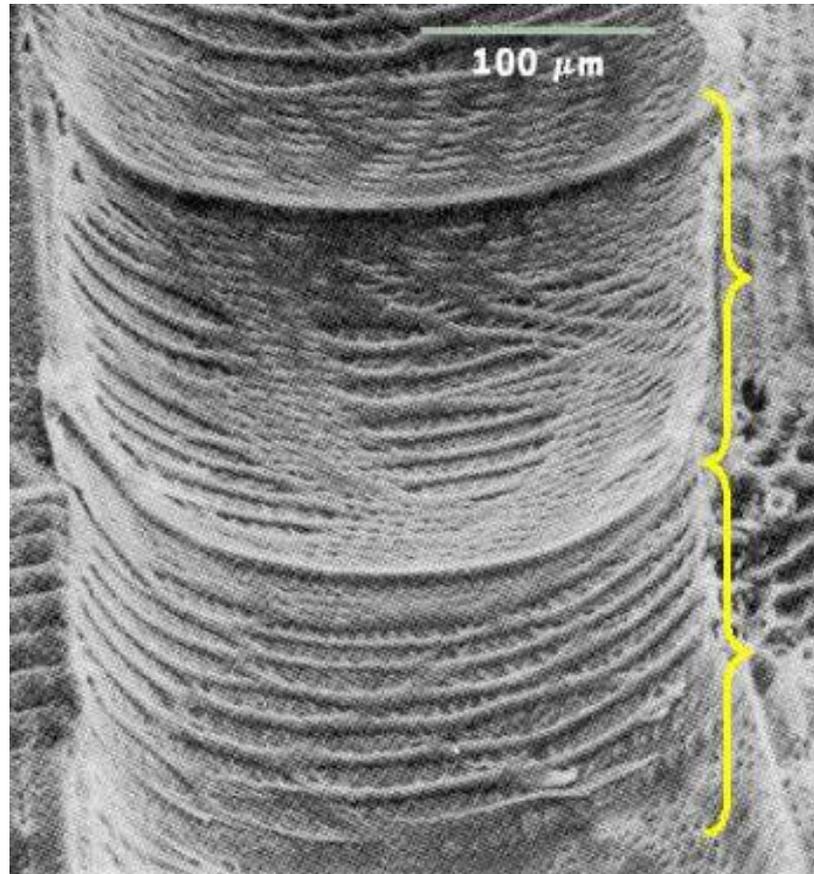
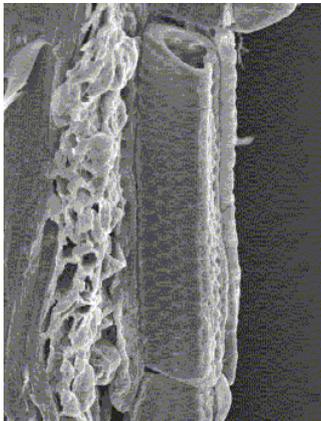
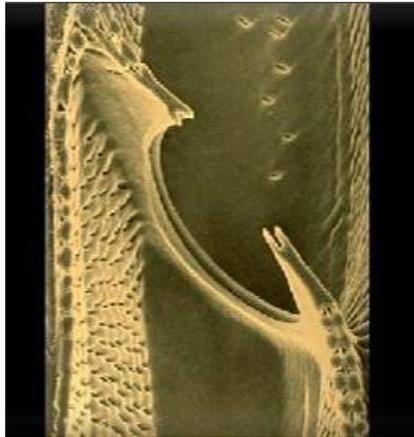
Punteaduras areoladas o semiareoladas (paredes long. radiales y tangenciales)



Xilema: elementos traqueales

VASOS o TRAQUEAS

- varios elementos de vaso unidos por sus placas de perforación



Xilema: elementos traqueales

Las paredes de traqueidas y vasos realizan 3 funciones importantes (Sperry & Hacke 2004):

1. Permiten el **flujo de H₂O entre los conductos adyacentes**
2. **Impiden la entrada de aire** desde los conductos llenos de gas (embolizados) a los conductos adyacentes llenos de agua
3. **Impiden la implosión** (desmoronamiento de la pared) ante presiones negativas de la corriente transpiratoria.

Estas funciones son realizadas por las paredes secundarias lignificadas que proporcionan sostén, y las punteaduras que permiten el flujo de H₂O entre los conductos.

Xilema: traqueidas vs vasos

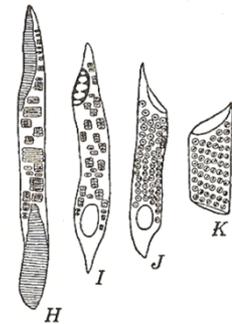
- **Elementos de vasos: más eficientes** conductos que las traqueidas ya que el agua puede fluir sin impedimentos a través de las placas de perforación ubicadas en las paredes terminales.
- Traqueidas: el agua tiene que pasar a través de las membranas de las punteaduras ubicadas en las paredes laterales.
- **Cuanto más ancho y largos sean los vasos, mayor es la conductividad hidráulica**
- A mayor diámetro de vaso, mayor eficiencia en la conducción pero menor seguridad (riesgo de cavitación)

Traqueidas



traqueidas

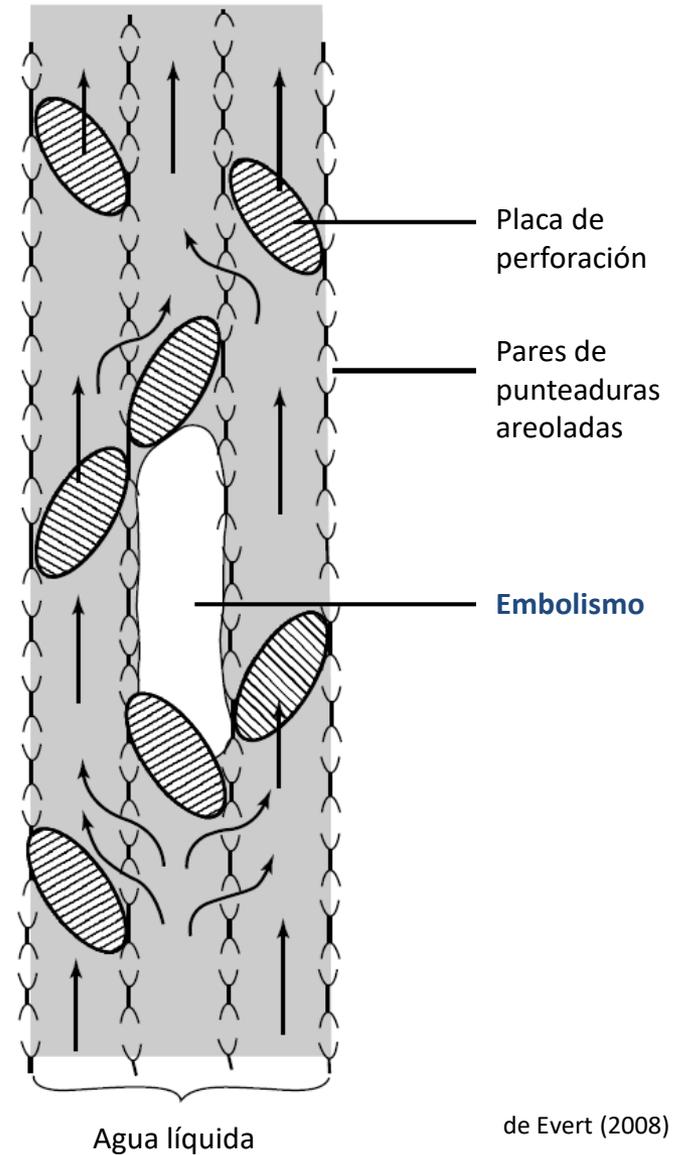
Elementos de vasos



miembros de los vasos

Xilema: riesgo de cavitación

- **Cavitación:** formación de cavidades dentro de los conductos lo que provoca la ruptura de las columnas de agua.
- La cavitación puede provocar un **embolismo o bloqueo del conducto con aire** (empieza por un elemento y todo el vaso puede llenarse con vapor de agua y aire – se vuelve disfuncional).
- Dado que los vasos anchos tienden a ser más largos que los vasos estrechos, sería más seguro para planta tener más vasos estrechos que anchos (Comstock y Sperry 2000).



Xilema: tipos de células

Tipos de células		Función
Elementos traqueales	Traqueidas	Conducción, sostén
	Elementos de los vasos	
Fibras	Fibrotraqueidas	Sostén, almacenamiento
	Fibras libriformes	
	Fibras septadas	
	Fibras mucilaginosas	
Células parenquimáticas		Almacenamiento, traslado
Estructuras glandulares e idioblastos		Secreción, acumulación

Xilema: fibras xilemáticas

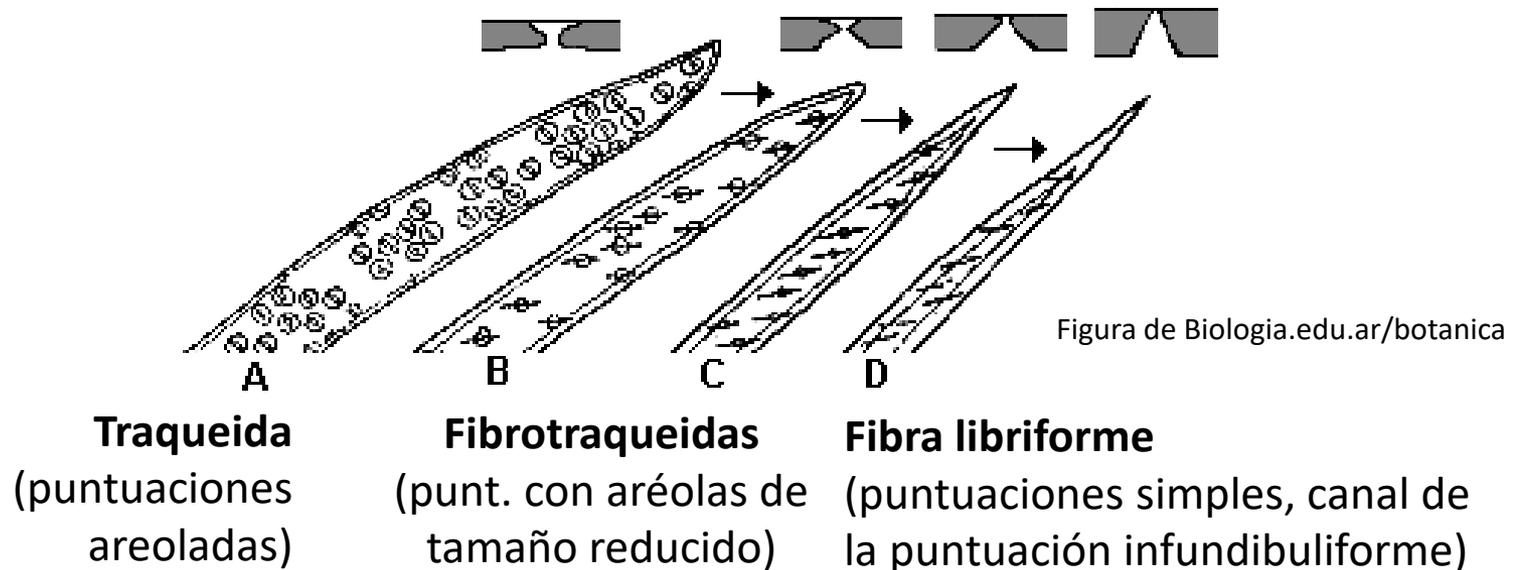
FIBRAS XILEMÁTICAS

- células **muy alargadas**
- muertas a la madurez
- **extremos terminados en puntas** (aguzados)
- paredes 2ria gruesas a muy gruesas, lignificadas
- **punteaduras simples**
- vistas en esclerénquima: fibrotraqueidas, fibras libriformes, fibras septadas, fibras mucilaginosas.
- filogenéticamente se originaron a partir de las traqueidas.
- las fibras libriformes **ausentes en Gimnospermas**
- constituyen el 50% del volumen de madera de las dicotiledóneas.



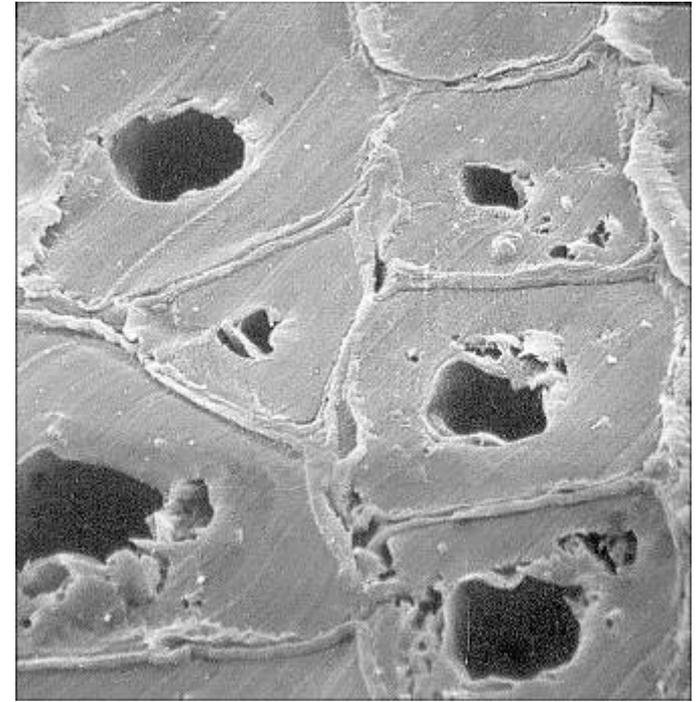
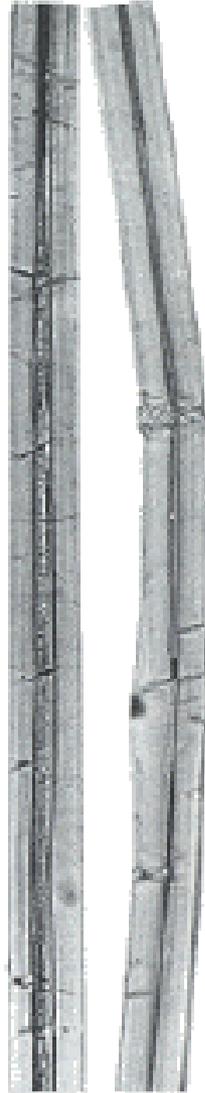
Xilema: fibras xilemáticas

- **Fibrotraqueidas:** poseen paredes más gruesas que las traqueidas y puntuaciones areoladas con cámaras muy pequeñas y canal de la puntuación desarrollado.
- **Fibras libriformes:** presentan paredes muy gruesas, puntuaciones simples con canal de la puntuación cilíndrico o infundibuliforme (en forma de embudo aplanado).



Xilema: fibras xilemáticas

FIBRAS XILEMÁTICAS



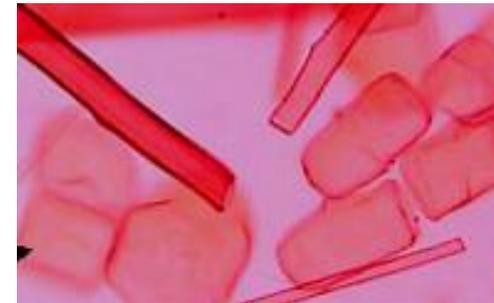
Xilema: tipos de células

Tipos de células		Función
Elementos traqueales	Traqueidas	Conducción, sostén
	Elementos de los vasos	
Fibras	Fibrotraqueidas	Sostén, almacenamiento
	Fibras libriformes	
	Fibras septadas	
	Fibras mucilaginosas	
Células parenquimáticas		Almacenamiento, traslado
Estructuras glandulares e idioblastos		Secreción, acumulación

Xilema: células parenquimáticas

CELULAS PARENQUIMÁTICAS

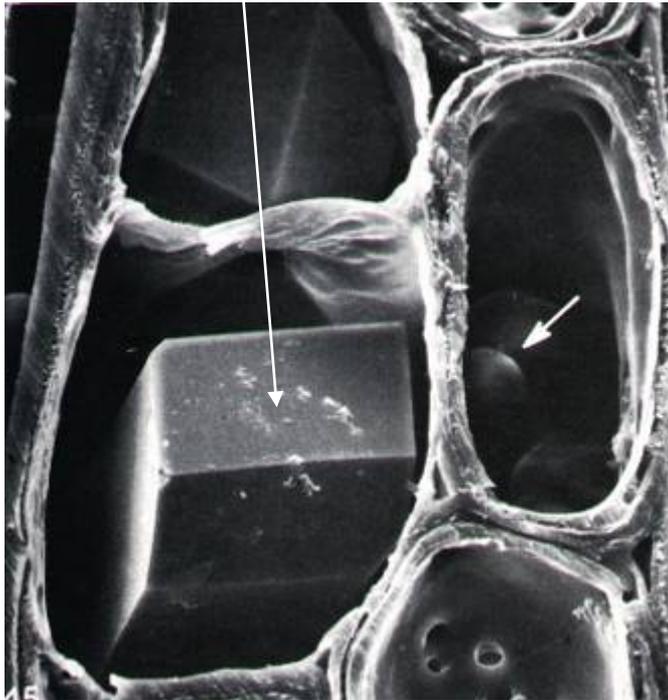
- células **isodiamétricas** o algo alargadas
- conservan el citoplasma vivo, y por lo tanto el núcleo.
- sus **paredes son secundarias lignificadas** (Evert 2006).
- los **pares de punteaduras** pueden ser **simples** (mayoritariamente) o semiareoladas con los elementos traqueales, o simples con otras células parenquimáticas.
- almacenan sustancias de reserva o de desecho
- participan en el transporte de metabolitos



Xilema: células parenquimáticas

CELULAS PARENQUIMÁTICAS

oxalato de calcio



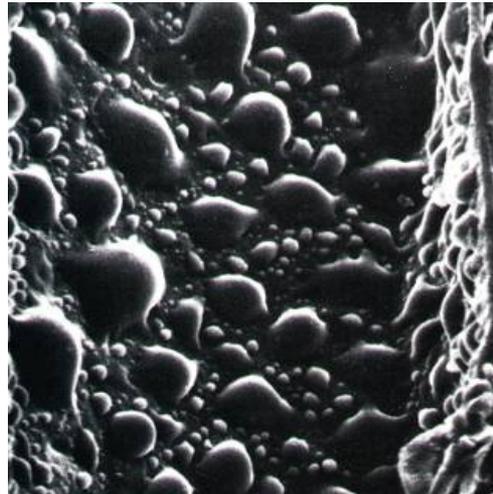
almidón



resinas



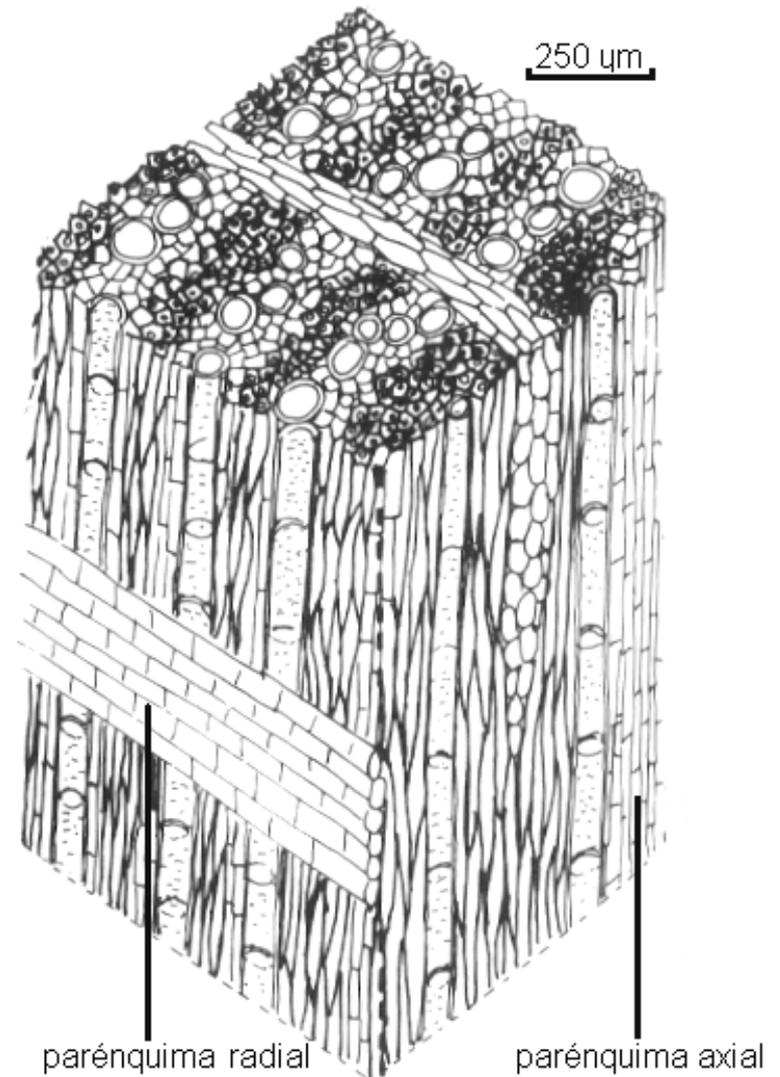
gomas



Xilema: células parenquimáticas

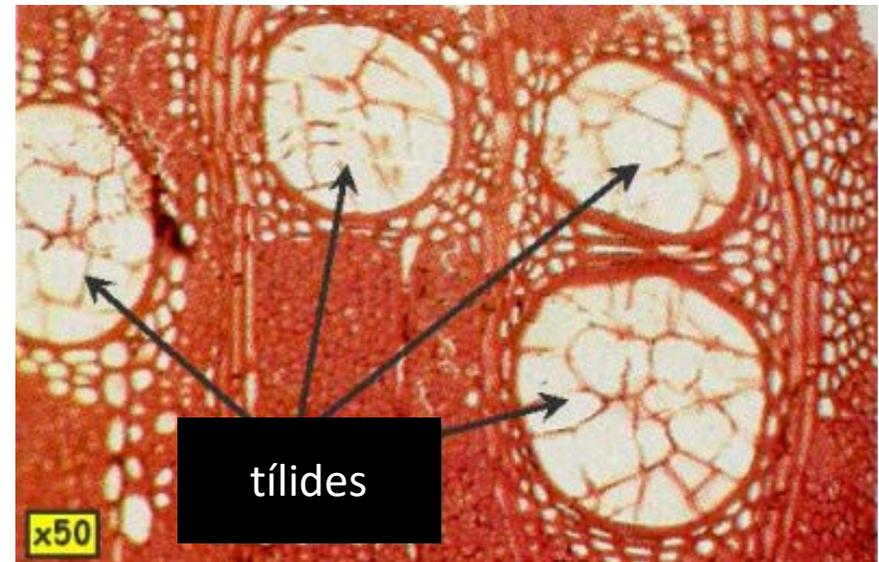
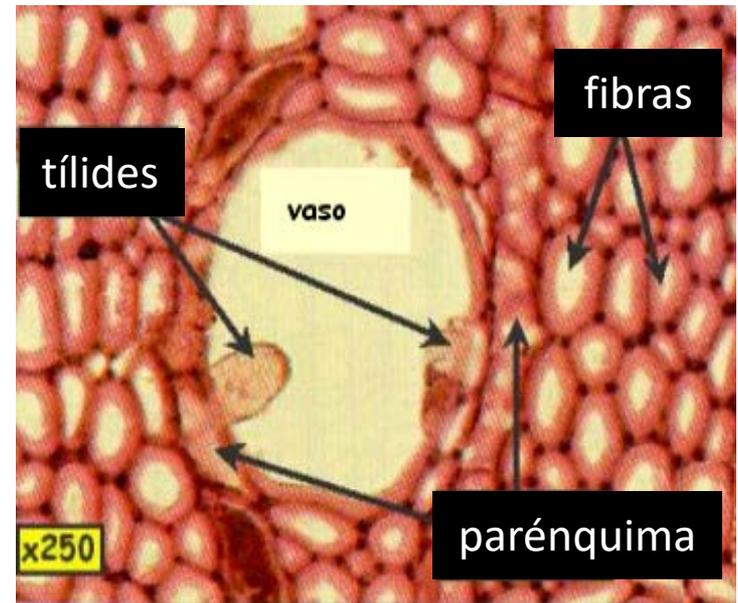
CELULAS PARENQUIMÁTICAS

- El parénquima del xilema secundario puede ser axial (vertical) o radial (horizontal).



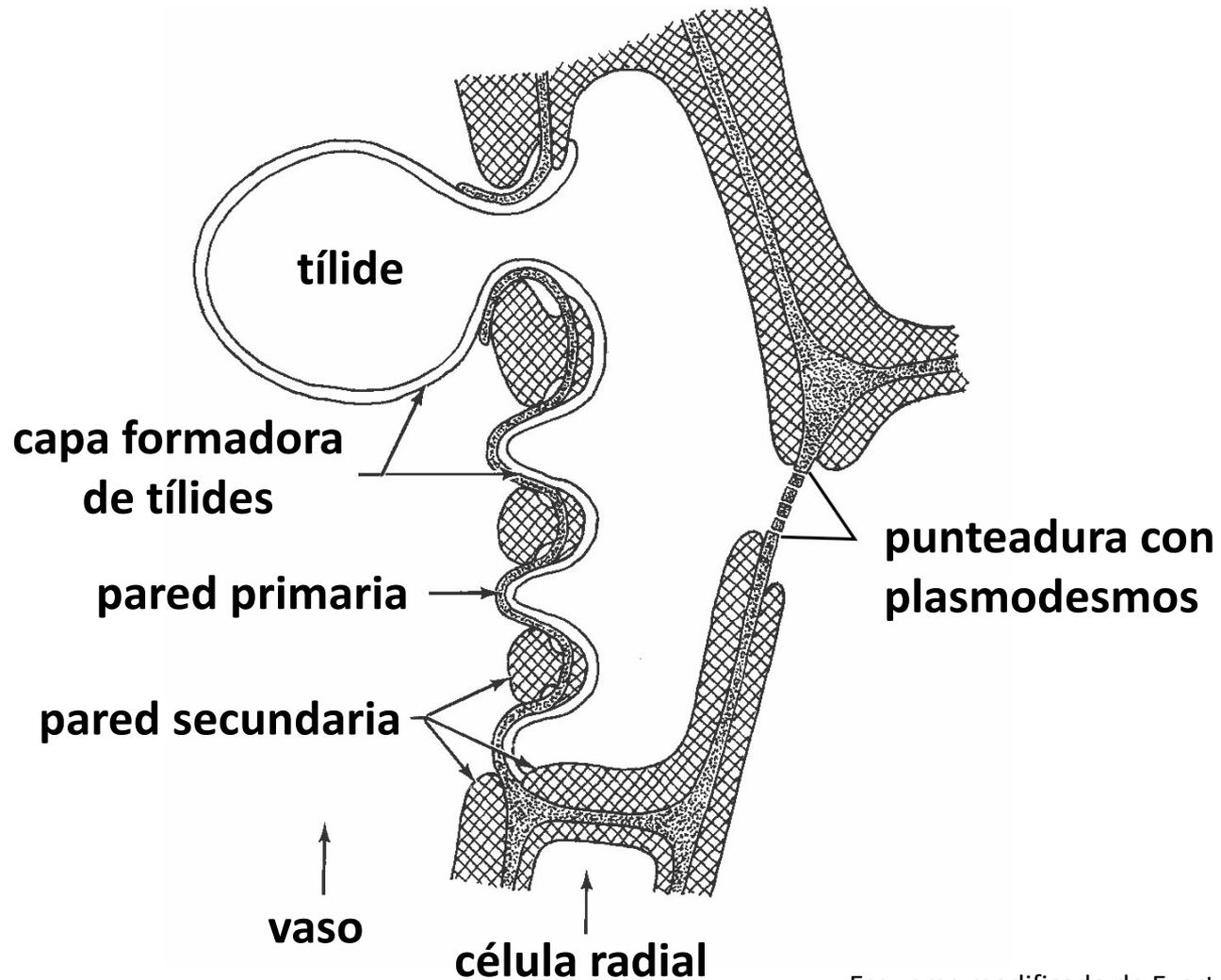
Xilema: células parenquimáticas

- en algunos casos, las **paredes de las células parenquimáticas, tanto radiales como axiales, penetran por las puntuaciones dentro del lumen de los elementos de vaso**
- el núcleo y parte del citoplasma parenquimático ocupan esta evaginación, originando la **tílida** y taponando el elemento de vaso que se torna inactivo
- la presencia de abundante de **tílides (tilosis)** confiere a la **madera durabilidad natural** especial frente a la degradación biológica.



Xilema: células parenquimáticas

TILOSIS

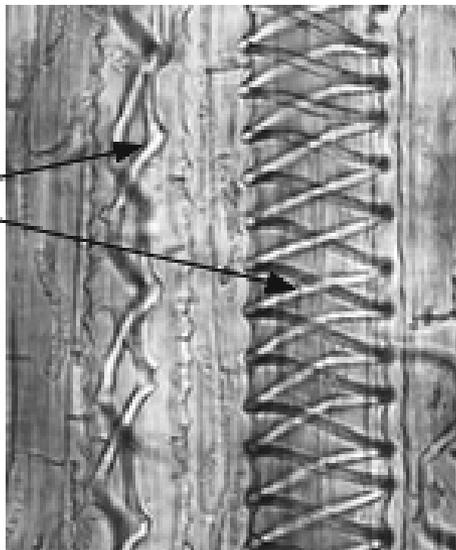


Xilema primario

- El xilema primario que se origina tempranamente es el **protoxilema** (del griego *protos*: antes), que se diferencia en las partes primarias del cuerpo de la planta que no han completado su desarrollo, y
- el **metaxilema** (del griego *meta*: después), que madura luego que se ha completado el alargamiento del cuerpo primario.

Ricinus: xilema primario

elementos del xilema primario con espesamientos helicoidales



Aristolochia: xilema primario

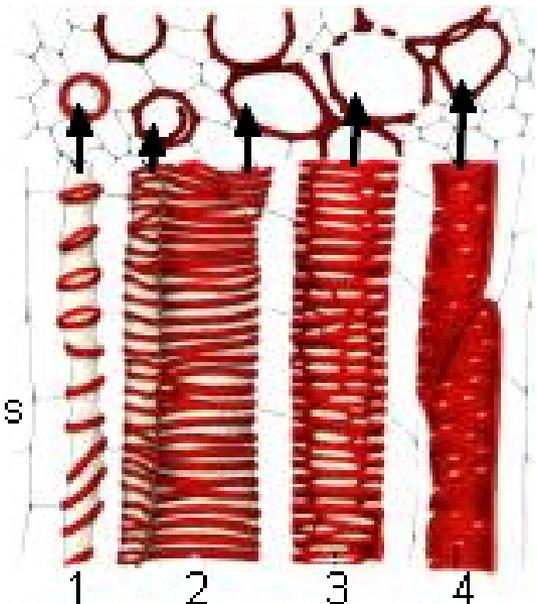
elementos con espesamientos:

1- anulares

2- helicoidales

3- escalariformes

4- elemento punteado



Esquema modificado de Esau

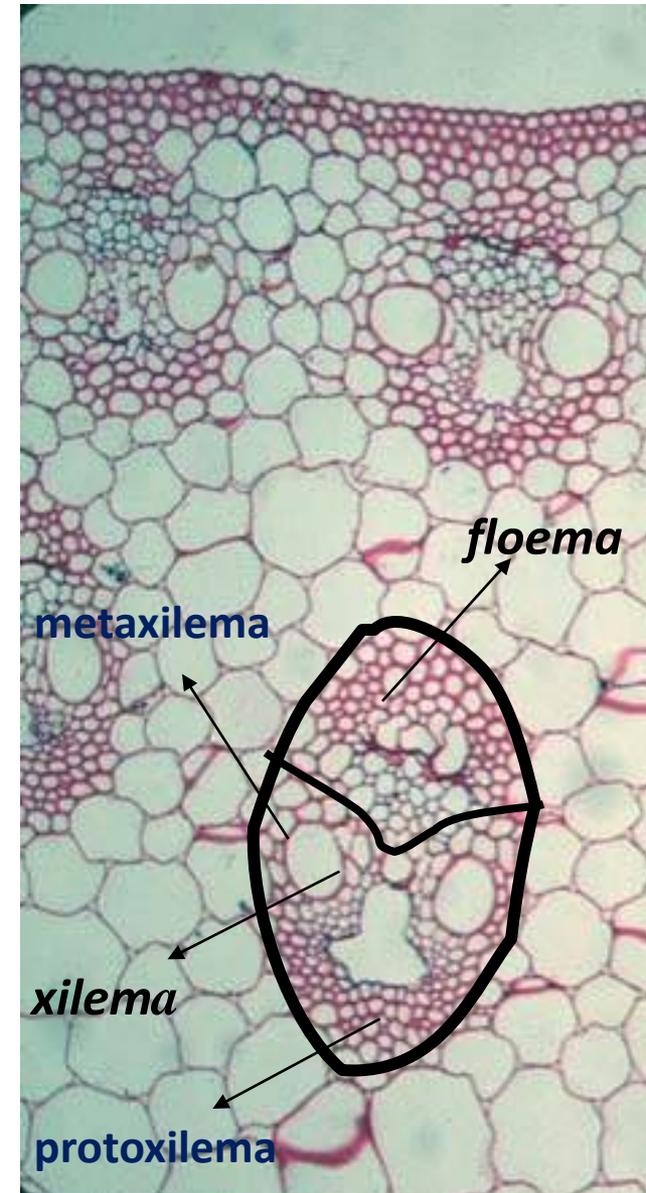
Xilema primario

- Disposición axial (no hay sistema radial)
- Asociado al floema en los haces vasculares

Tipos citológicos:

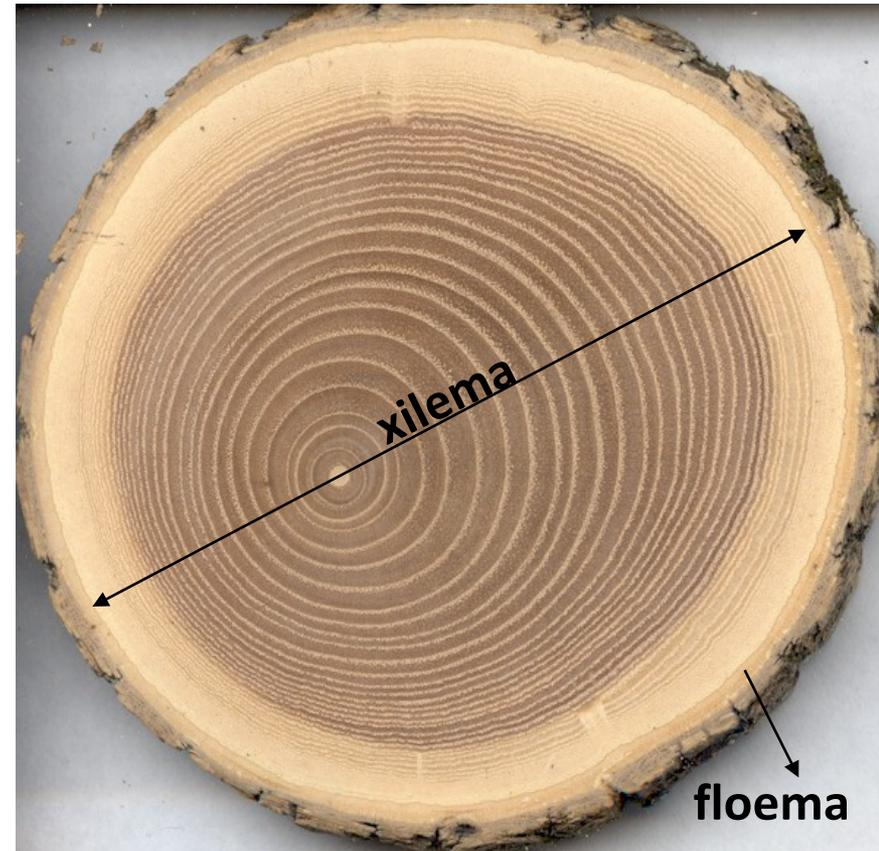
Protoxilema → elementos traqueales (anulares helicados)
células parenquimáticas

Metaxilema → elementos traqueales (helicados, escalariformes, reticulados, punteados)
células parenquimáticas
fibras



Xilema secundario

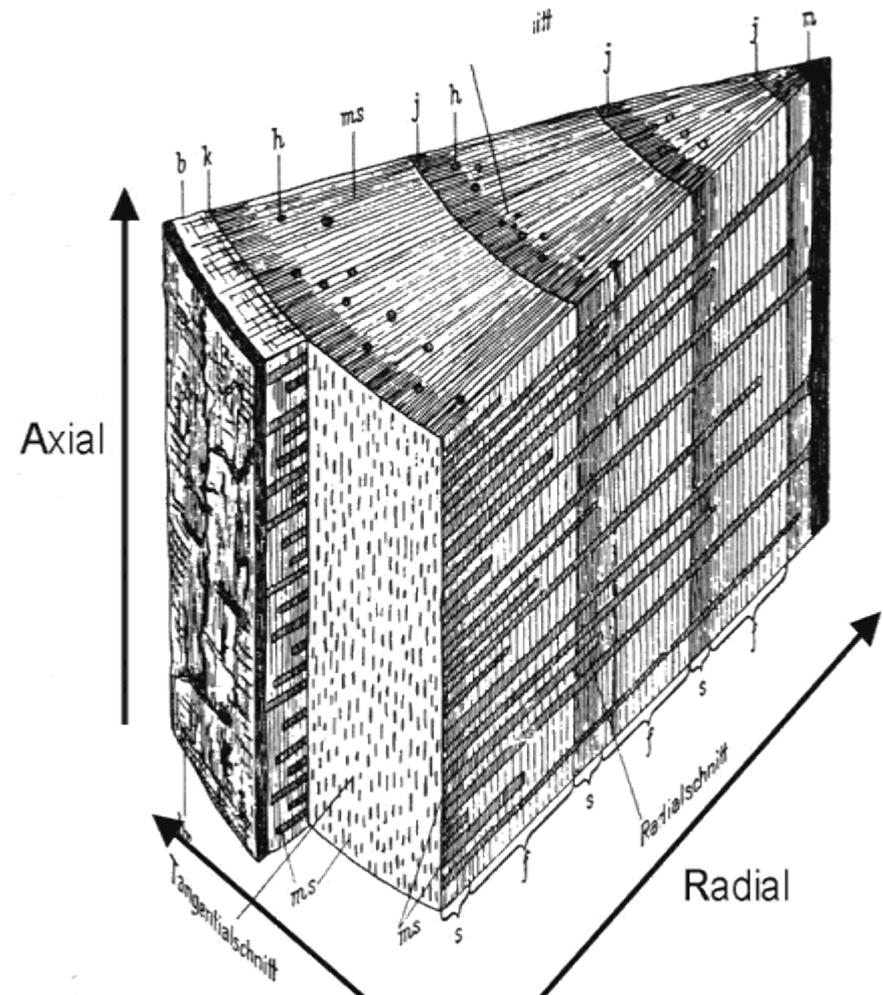
- En las plantas leñosas, después de producido el crecimiento primario, se desarrollan tejidos secundarios en tallos y raíces.
- El **xilema secundario** se desarrolla a partir del **cámbium vascular**
- **constituye la madera o leño**
- macroscópicamente **más visible que el floema.**
- Es un tejido complejo.
- Organizado en **dos sistemas: axial y radial**



Xilema secundario

Dos sistemas:

- **Axial:**
constituido por células con sus ejes mayores orientados verticalmente (paralelos al eje axial del vástago o raíz)
- **Radial:**
conformado por células cuyos ejes mayores se orientan horizontalmente o perpendicularmente al eje del vástago o raíz.

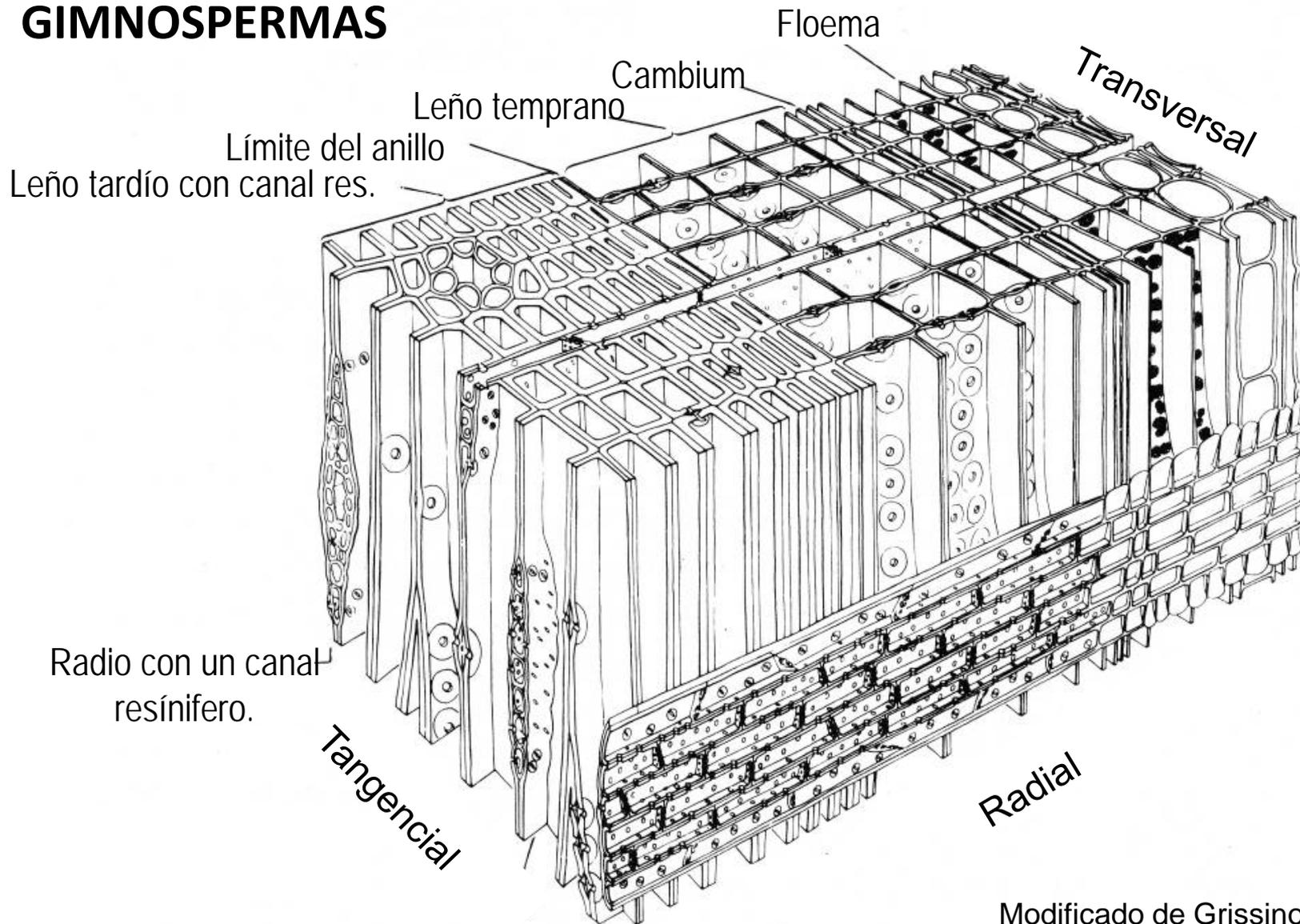


Xilema: diferencia de tipos celulares por grupos

División	Sistema Axial	Sistema Radial
Gimnospermas	traqueidas canales resiníferos	traqueidas células parenquimáticas canales resiníferos
Angiospermas	elementos de vaso traqueidas fibras células parenquimáticas	células parenquimáticas

Xilema: diferencia de tipos celulares por grupos

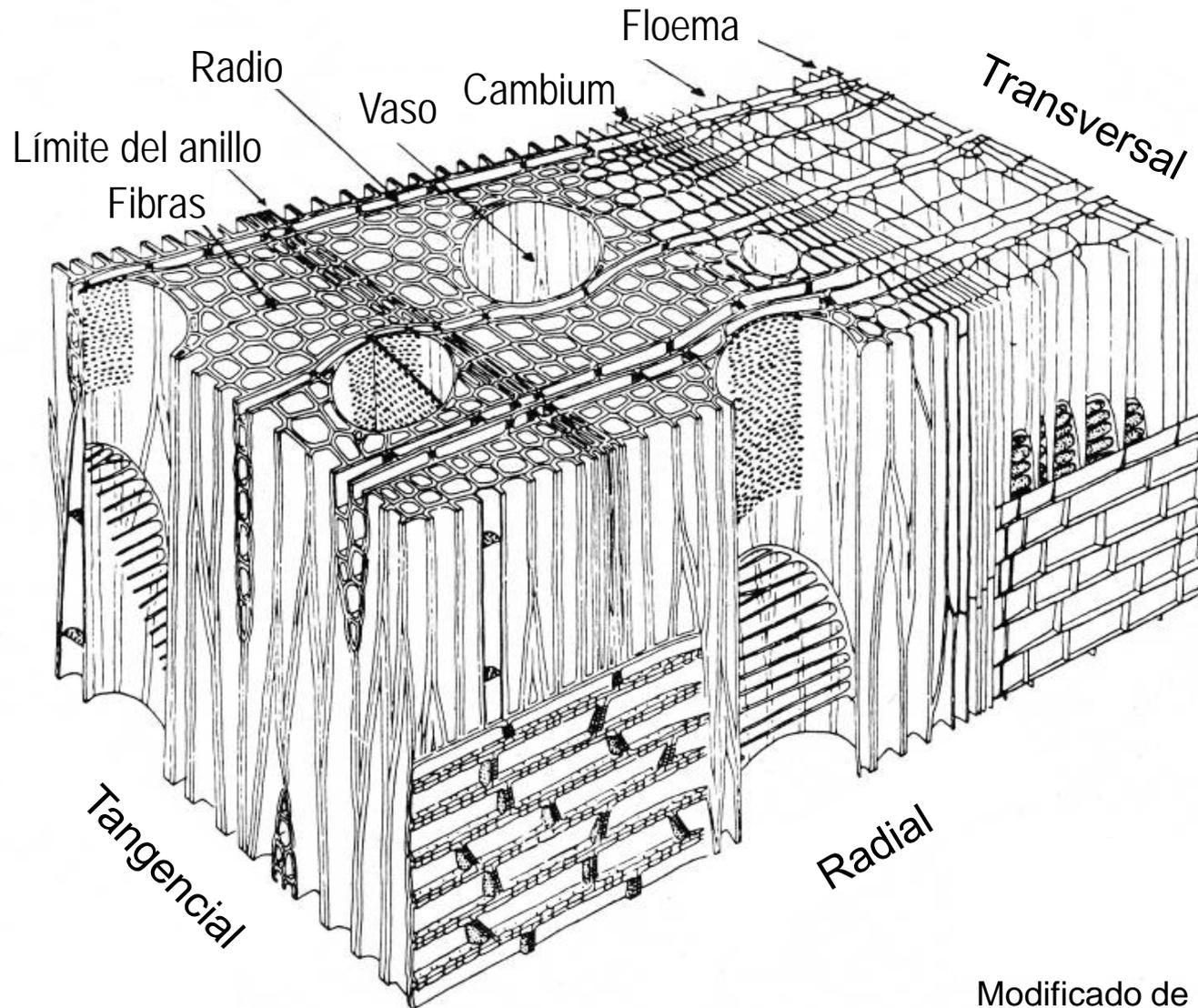
GIMNOSPERMAS



Modificado de Grissino Mayer

Xilema: diferencia de tipos celulares por grupos

ANGIOSPERMAS



Xilema: especialización filogenética

- El **xilema** ocupa una posición única entre los tejidos vegetales porque el estudio de su anatomía ha llegado a desempeñar un **papel importante en la taxonomía y filogenia**.
- La traqueida
 - es un elemento más primitivo que el elemento de los vasos.
 - única clase de elemento traqueal que se encuentra en las espermatófitas fósiles
- Especialización de los elementos traqueales coincidió con la **división de las funciones de conducción y el sostén durante la evolución de las plantas vasculares** (Bailey 1953):
 - Traqueida (conducción y sostén)
 - Vasos (conducción)
 - Fibras (sostén)

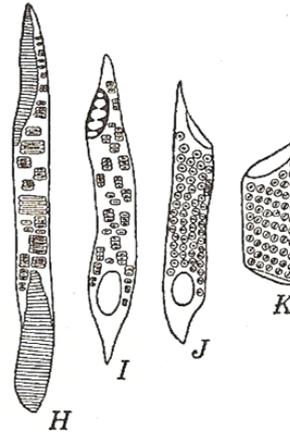
Xilema: especialización filogenética y por grupo

GIMNOSPERMAS



traqueidas
(conducción y sostén)

ANGIOSPERMAS



elementos de vasos
(conducción)

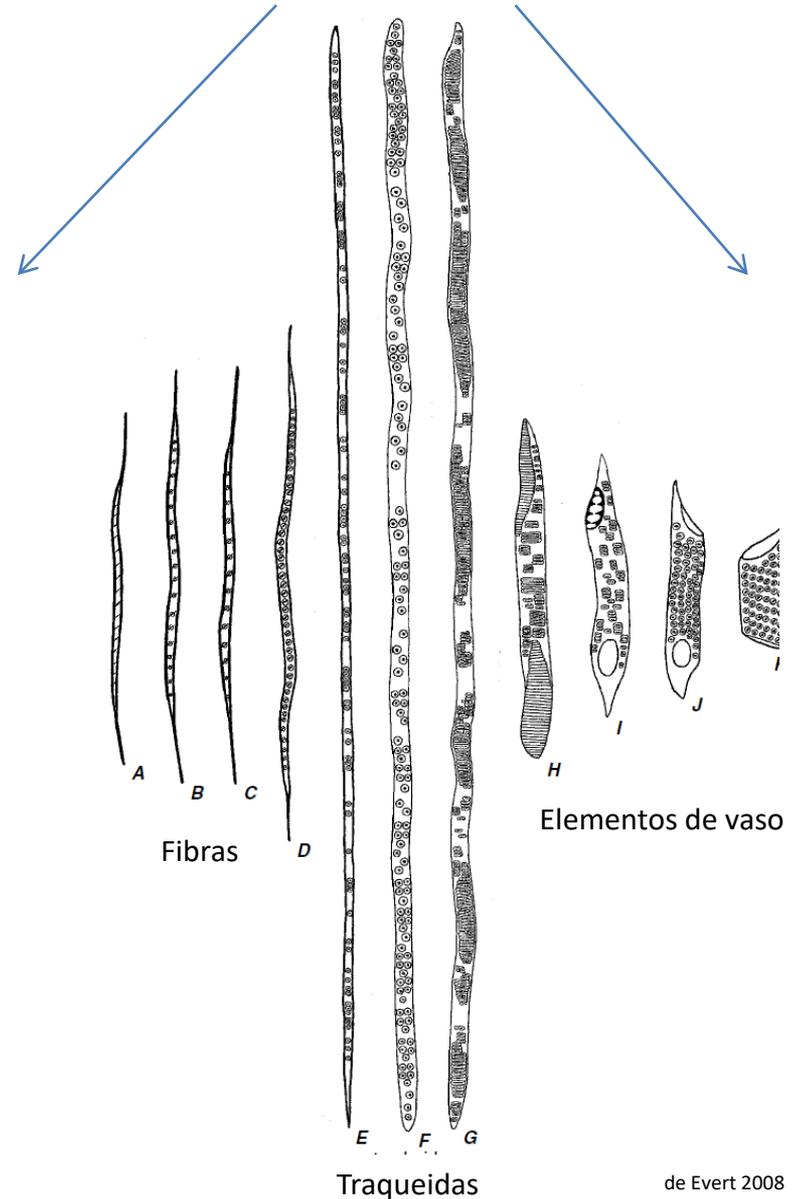


fibras
(sostén)

Xilema: especialización filogenética

Principales tendencias en la evolución del elemento de vaso

1. **Disminución de la longitud:** elementos más largos en los grupos más primitivos mientras que los más cortos aparecen en grupos más especializados
2. **Paredes terminales de inclinadas a transversales**
3. **Placas de perforación escalariforme a simples**
4. **Punteaduras areoladas escalariforme a areoladas alternas**
5. **Contorno de vasos de sección anguloso a redondeado**



Organización interna de las plantas superiores

Sistema hístico	Tejido	Función	Características	Tipo celular
	Meristema	crecimiento por división celular	paredes 1º, núcleo grande	células meristemáticas
Dérmico	Epidermis	protección de partes verdes	pared 1º, la externa con cutina.	células epidérmicas propiamente dichas, cél. especializadas: tricomas, estomas, etc.
	Peridermis	protección del cuerpo secundario	diversos tipos celulares	formado por súber, felógeno y felodermis
Vascular	Xilema	transporte de agua y sales	tejido complejo	traqueidas, elementos de vasos, fibras y cél. parenquimáticas
	Floema	transporte de productos fotosintéticos	tejido complejo	Células cribosas, elementos de tubos cribosos, fibras, y cél. parenquimáticas
Fundamental	Parénquima	procesos del metabolismo: fotosíntesis, respiración, almacenaje y conducción a corta distancia, etc.	Paredes 1º o 1º y 2º Células vivas a la madurez	Células parenquimáticas
	Colénquima	sostén en órganos en crecimiento	Pared 1º, desigualmente engrosada	Colénquima angular, lamelar y lagunar
	Esclerénquima	sostén	Pared 1º y 2º, generalmente lignificada	Fibras y esclereidas

Meristemas: clasificación

En función de su **localización** en el cuerpo de la planta en:

- apicales
- laterales (cambium y felógeno)
- intercalares.

Teniendo en cuenta además el **tiempo de aparición** del meristema, se los clasifica en:

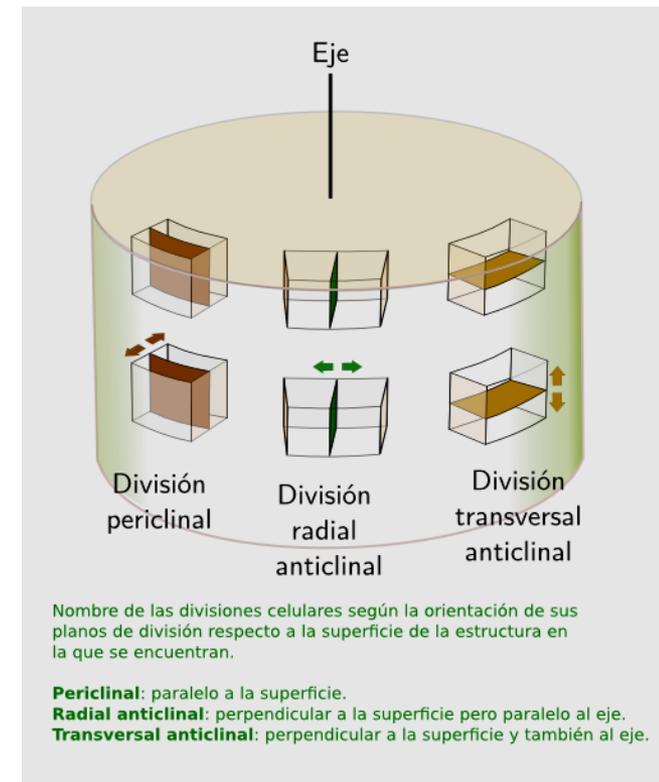
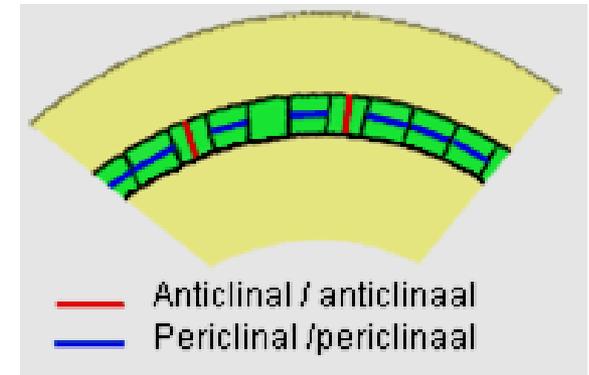
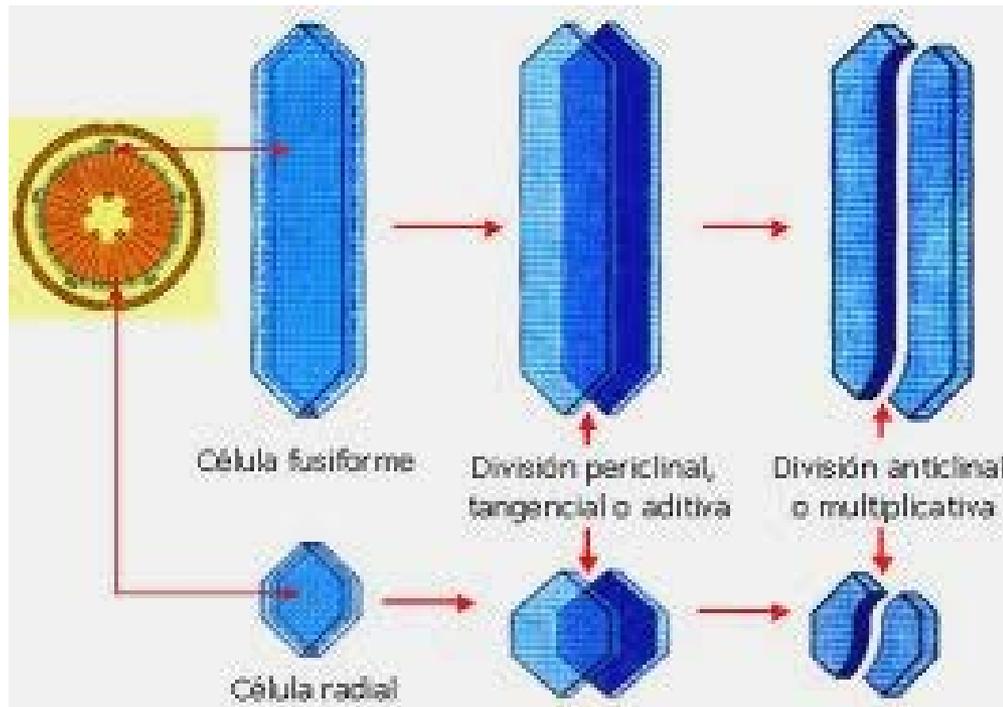
- primarios y
- secundarios.

los **meristemas apicales** son **primarios**

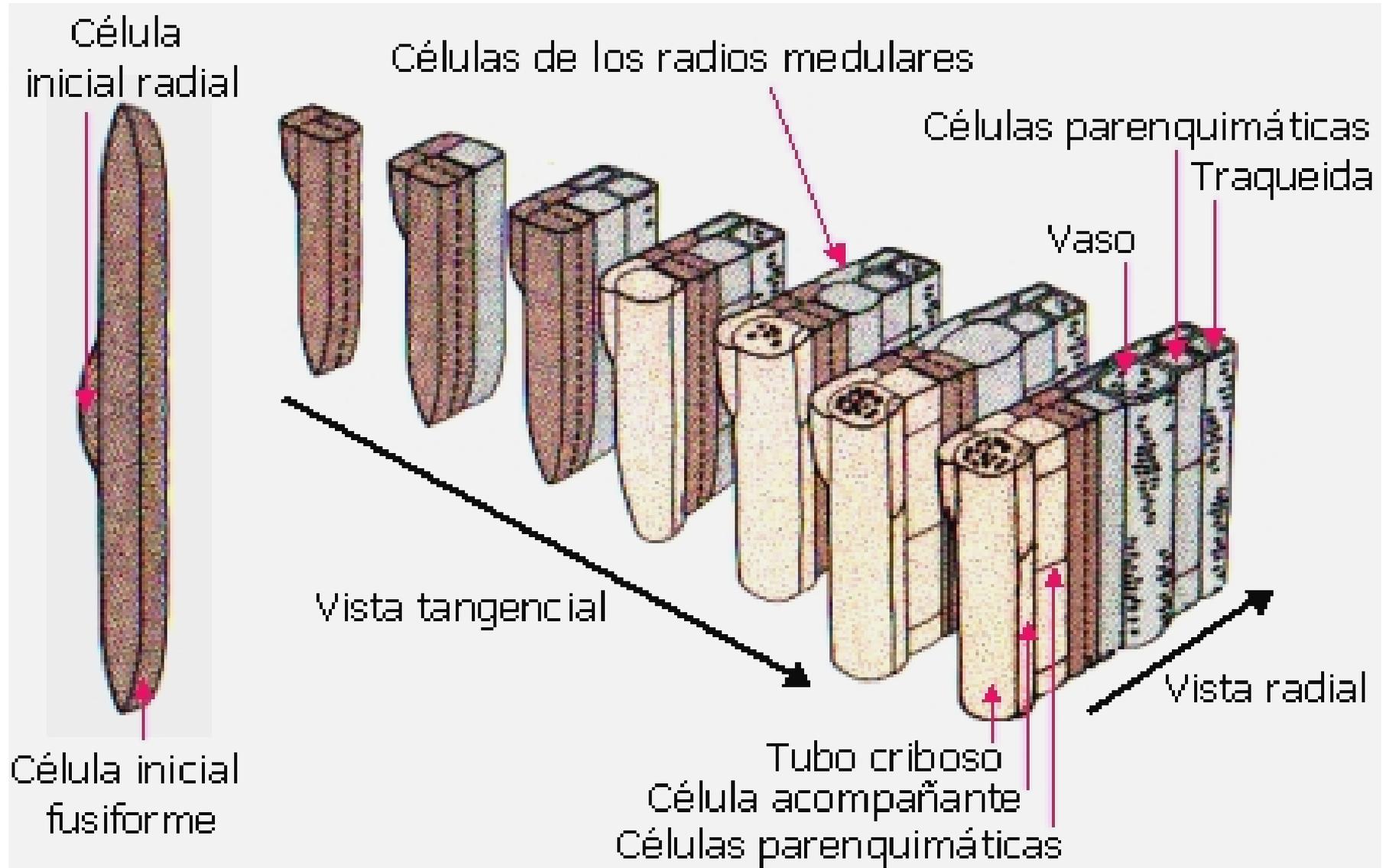
los **meristemas laterales** (cambium y felógeno) son **secundarios**.

Cámbium vascular

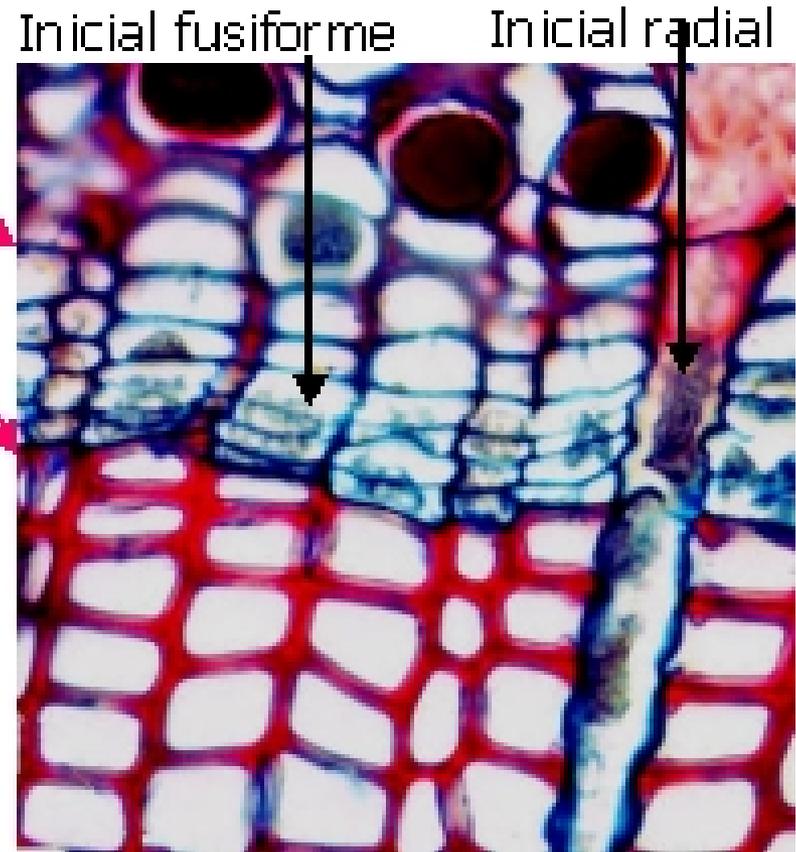
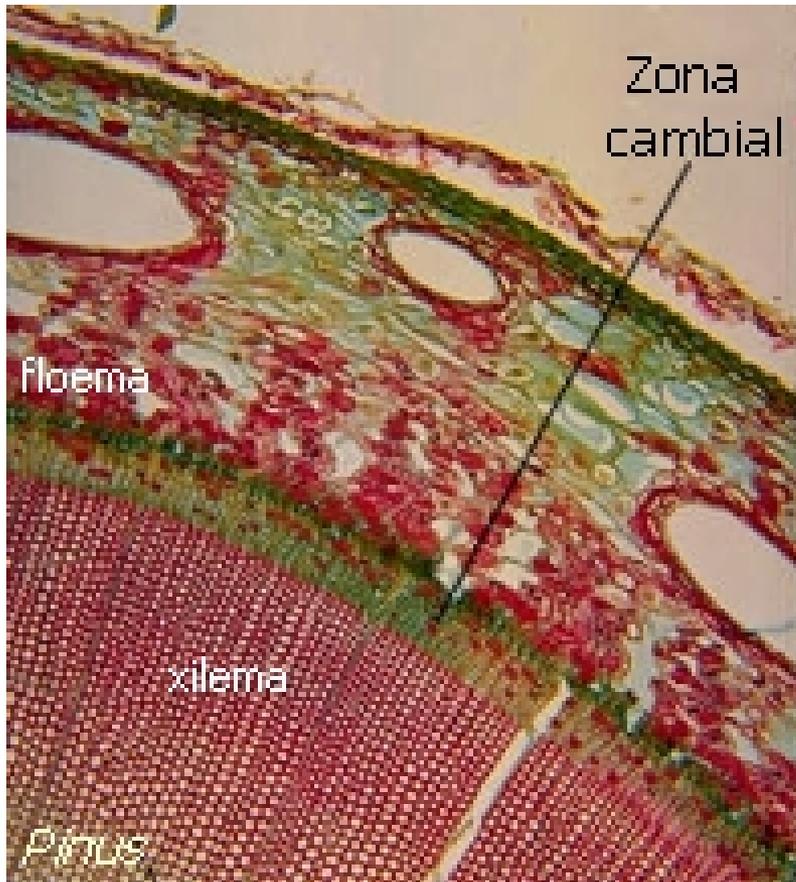
- 2 tipos de células:
 - Células iniciales fusiformes (sistema axial)
 - y radiales (sistema radial)
- División anticlinal = multiplicativa
- División periclinal = aditiva



Cámbium vascular: división celular



Cámbium vascular

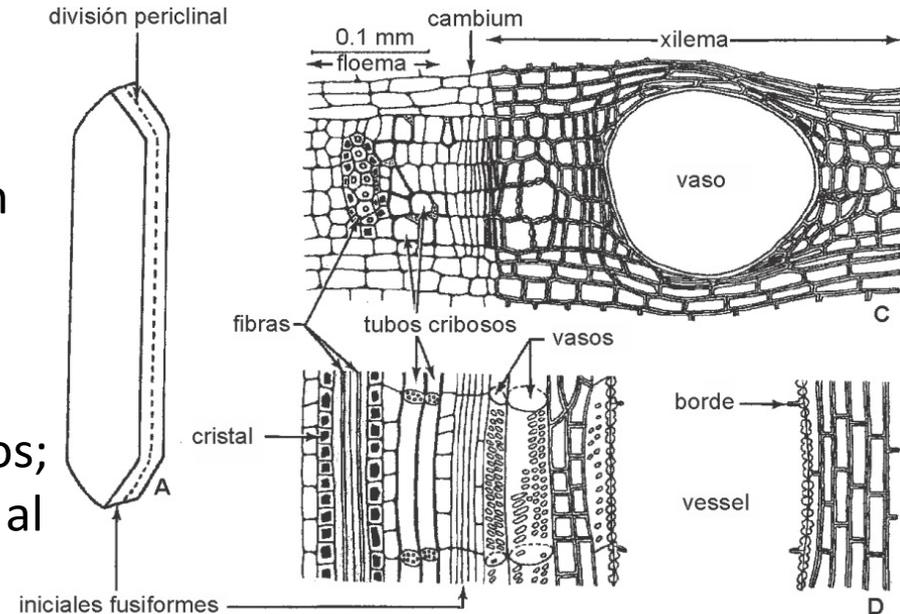


Ordenación de las células del cámbium en corte transversal del tallo de *Pinus*

Cámbium vascular

INICIALES FUSIFORMES

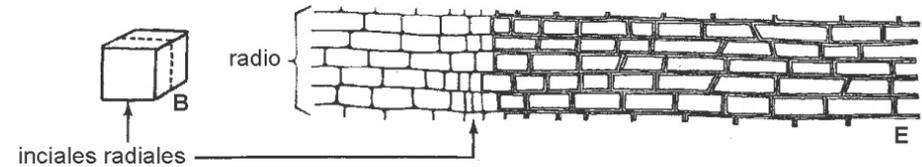
- alargadas, aplanadas tangencialmente, aproximadamente prismáticas en su parte media y en forma de cuña en los extremos.
- El extremo aguzado de la cuña se ve en sección tangencial, y el extremo truncado en sección radial.
- Originan todas las células del **sistema vertical o axial** del xilema y floema 2rios;
- su eje mayor se orienta paralelamente al eje mayor del órgano donde se encuentran.
- En el xilema originan: vasos, traqueidas, fibras y parénquima xilemático axial.
- En el floema forman: tubos cribosos, células cribosas, fibras y parénquima floemático axial.



Cámbium vascular

INICIALES RADIALES

- mucho más cortas, casi **isodiamétricas** y **relativamente pequeñas**.
- Originan las células parenquimáticas y traqueidas de **los radios medulares**, que componen el sistema radial del xilema y el floema.



Cámbium vascular

En sección tangencial las células iniciales muestran dos tipos fundamentales de ordenación:

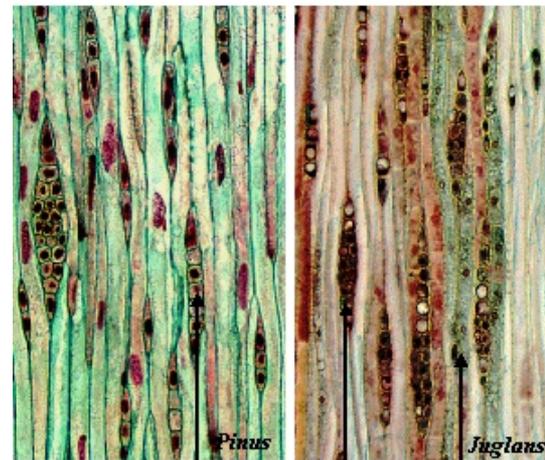
1) cámbium estratificado

- con células iniciales fusiformes cortas (140-150 μm), y dispuestas en filas horizontales, los extremos de las células de una fila aproximadamente al mismo nivel.
- Es poco frecuente, se lo considera más evolucionado.
- Ejs.: *Aeschynomene*, *Hoheria*, *Robinia*, *Scleroxylon*.

2) cámbium no estratificado

- con células iniciales fusiformes largas (320 μm , hasta 8,7 mm en *Pinus*), superpuestas por sus extremos.
- filogenéticamente se lo considera más primitivo

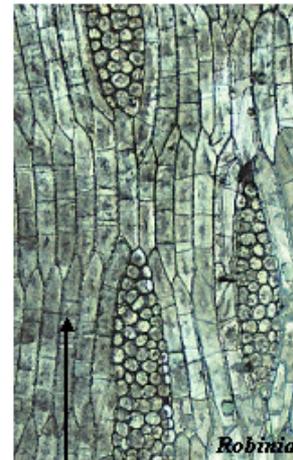
1. Cámbium no estratificado



Iniciales radiales

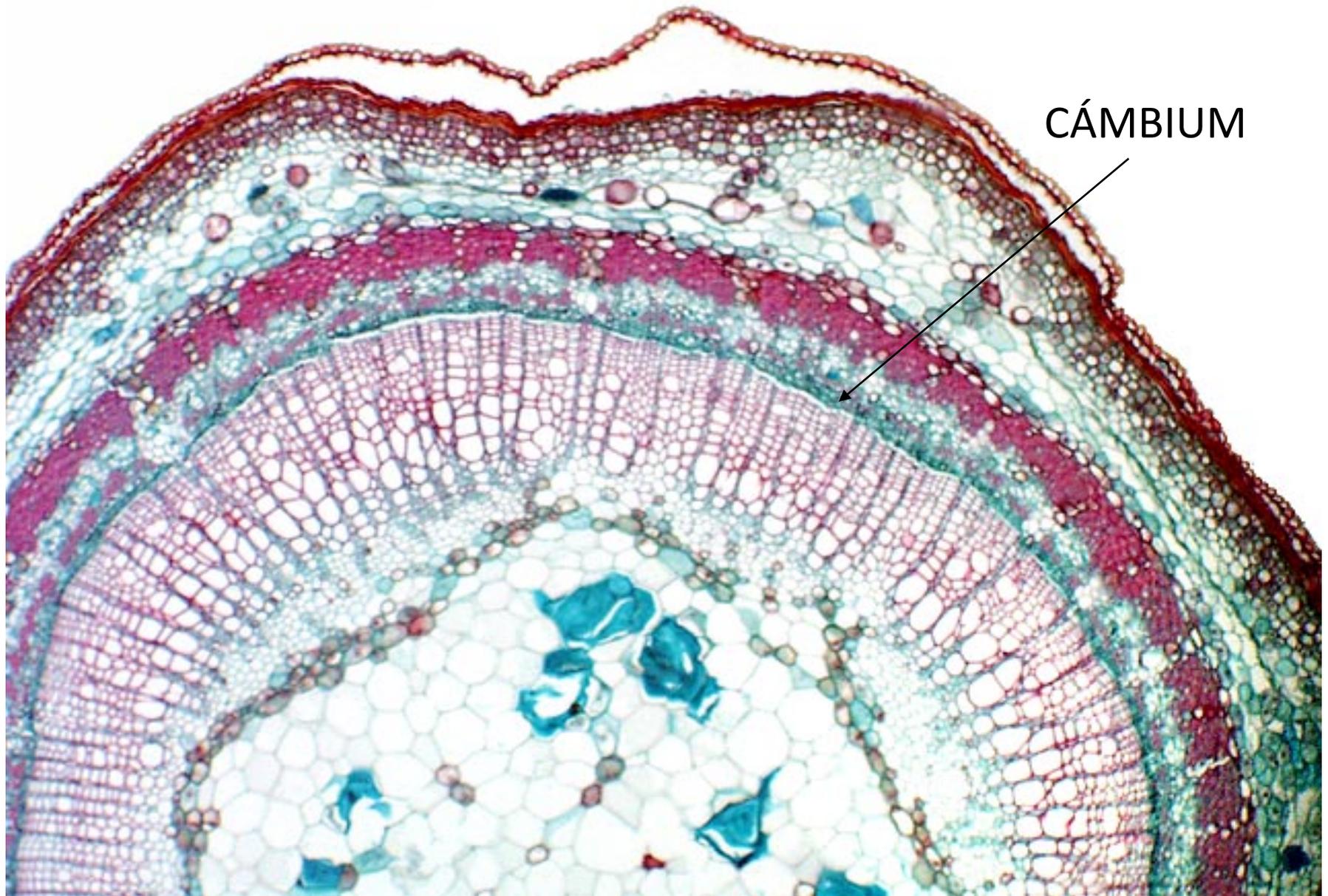
Iniciales fusiformes

2. Cámbium estratificado



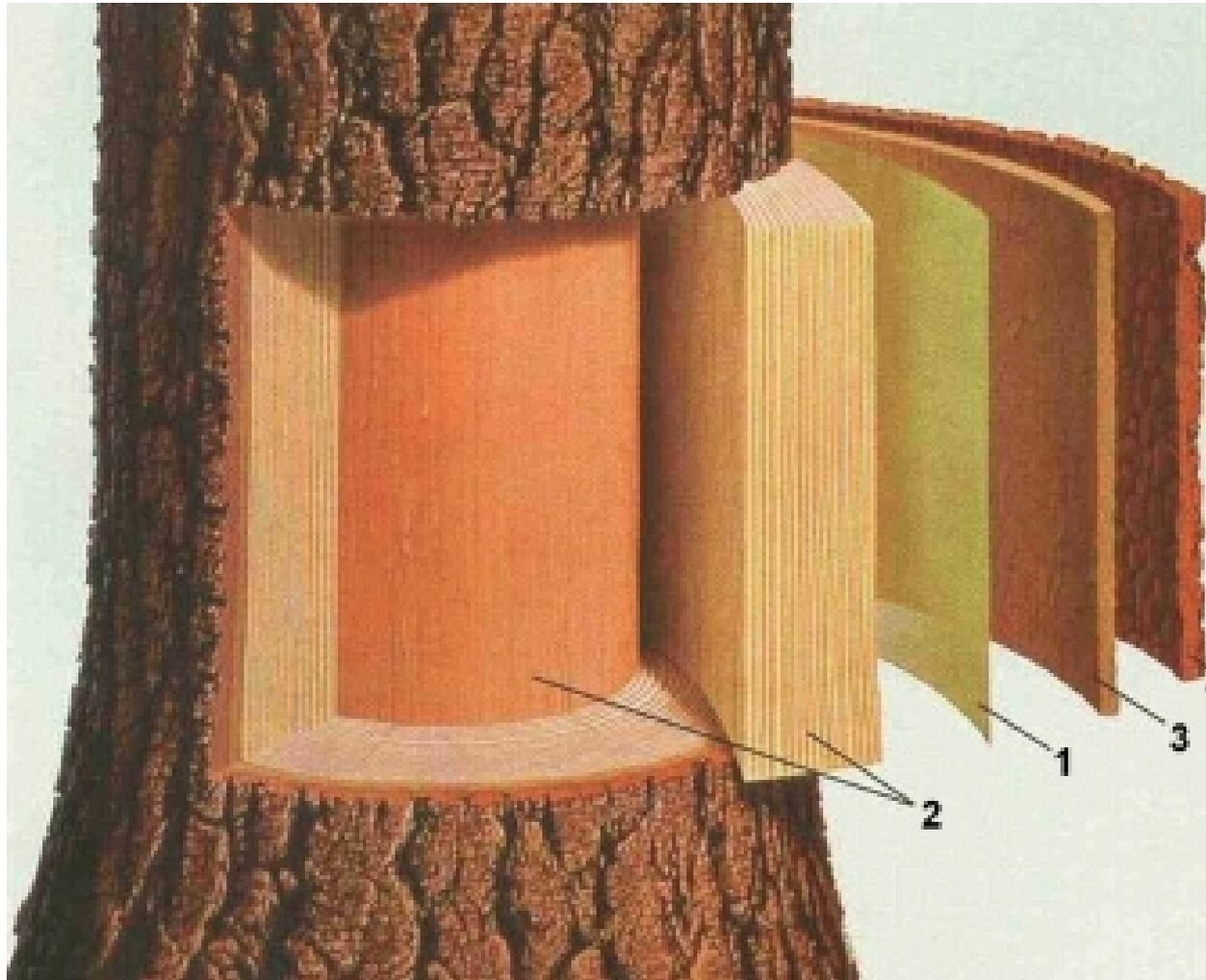
Robinia

Cámbium vascular



Cámbium vascular

Localización del cámbium y los tejidos vasculares en un tronco



1. Cámbium
2. Xilema
3. Floema
4. Peridermis

Histología 6: Sistema Vascular

- Tejidos vasculares: xilema y floema

Subunidad A: Xilema

- Xilema : tipos celulares
- Diferenciación de los elementos traqueales primarios
- Procambium
- Xilema secundario
- Sistema axial y radial de células
- tipos celulares
- Vasos leñosos
- Especialización filogenética

Subunidad C: Cámbium vascular

- Tipos celulares. Organización espacial y actividad cambial. Posición en tallos y raíces.