

# **PRESERVACIÓN Y DETERIORO DE LA MADERA**

## Colaboran en la realización del curso:



**Tenera S.A.**

**Montana Química**



**Lonza**



# Características de la madera

- ▶ Material natural, renovable, anisotrópico, compuesto.
- ▶ Altamente higroscópico
- ▶ Combustible
- ▶ Dimensionalmente inestable (debajo del punto de saturación de la fibra).
- ▶ Es un producto natural que presenta gran variabilidad en apariencia, composición química y propiedades físicas.
- ▶ Biodegradable.

# QUÍMICA DE LA MADERA

# Madera

Compuestos  
bajo PM

EXTRACTIVOS  
(materia  
orgánica)

CENIZAS  
(materia  
inorgánica Na,  
Ca, P)

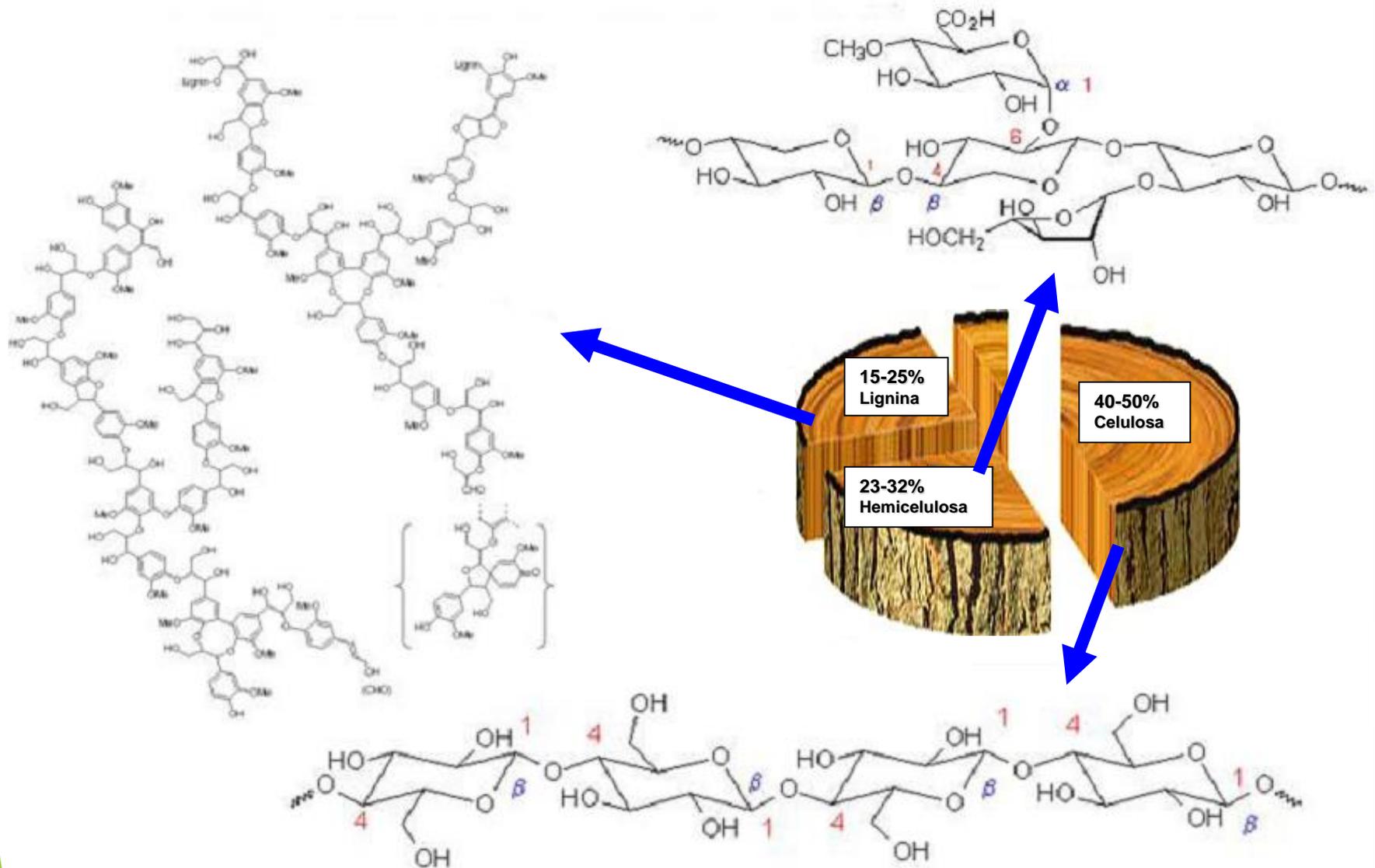
Compuestos  
alto PM

Celulosa

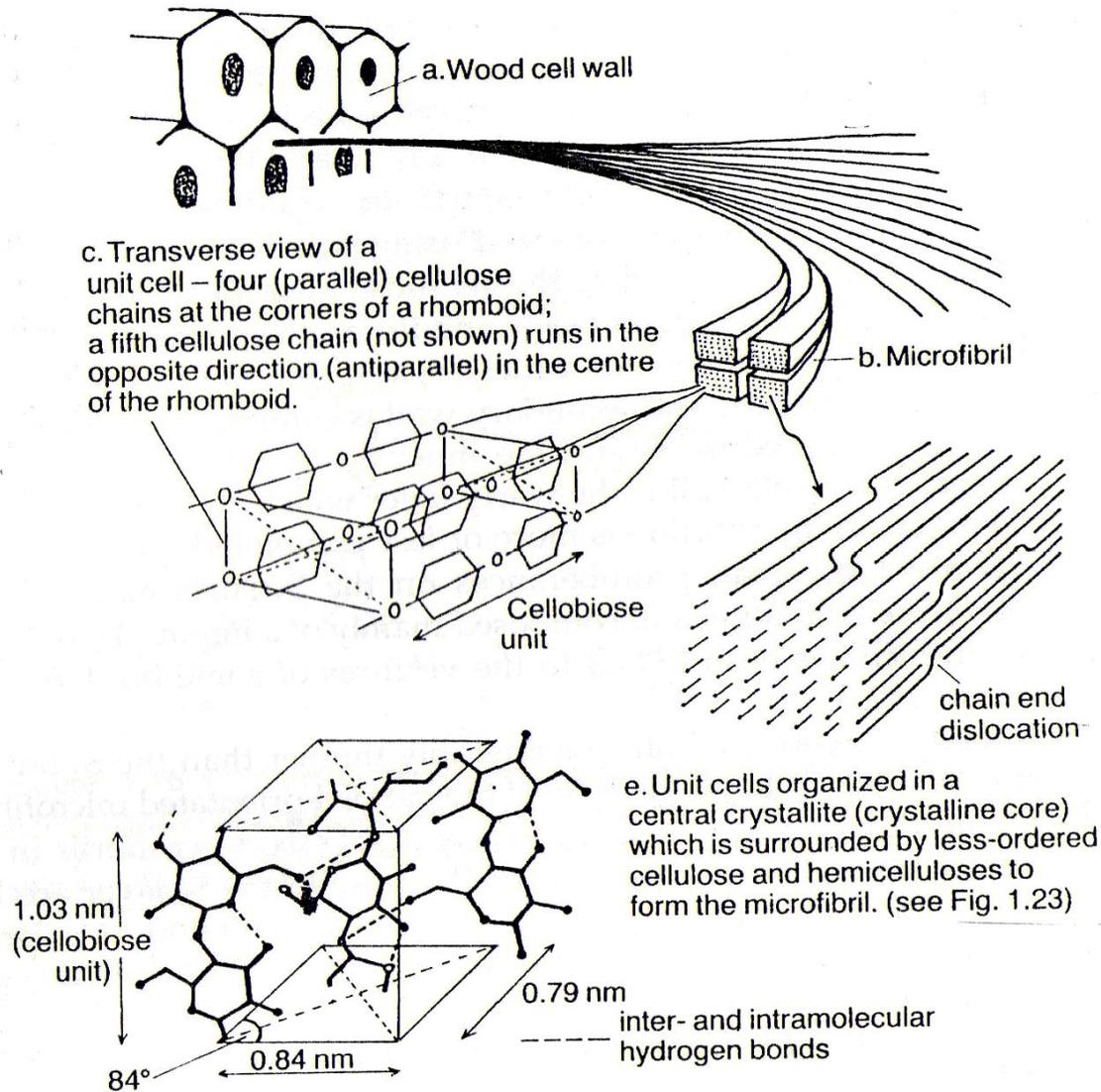
Hemicelulosa

Lignina

# COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA



# CELULOSA



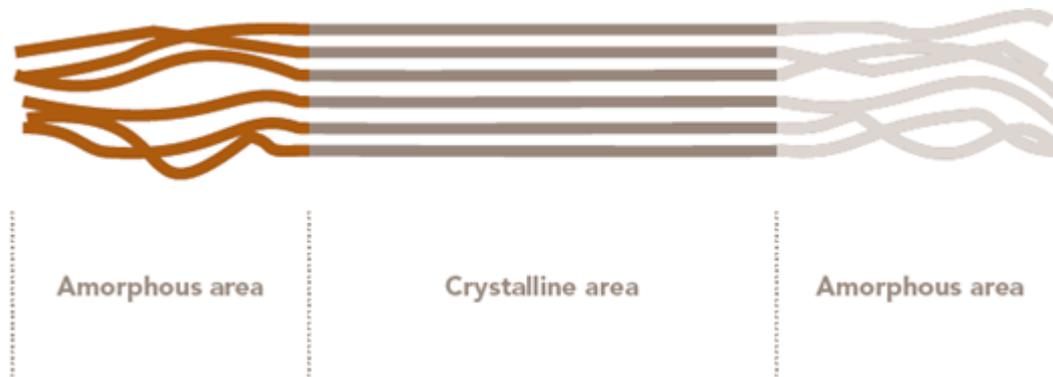
(Eaton y Hale, 1993)

Dra Marcela Ibañez, Udelar

# CELULOSA

En microfibrillas moléculas de celulosa, forman:

**REGIONES CRISTALINAS**, muy ordenadas, alternadas con **REGIONES AMORFAS**, desordenadas.



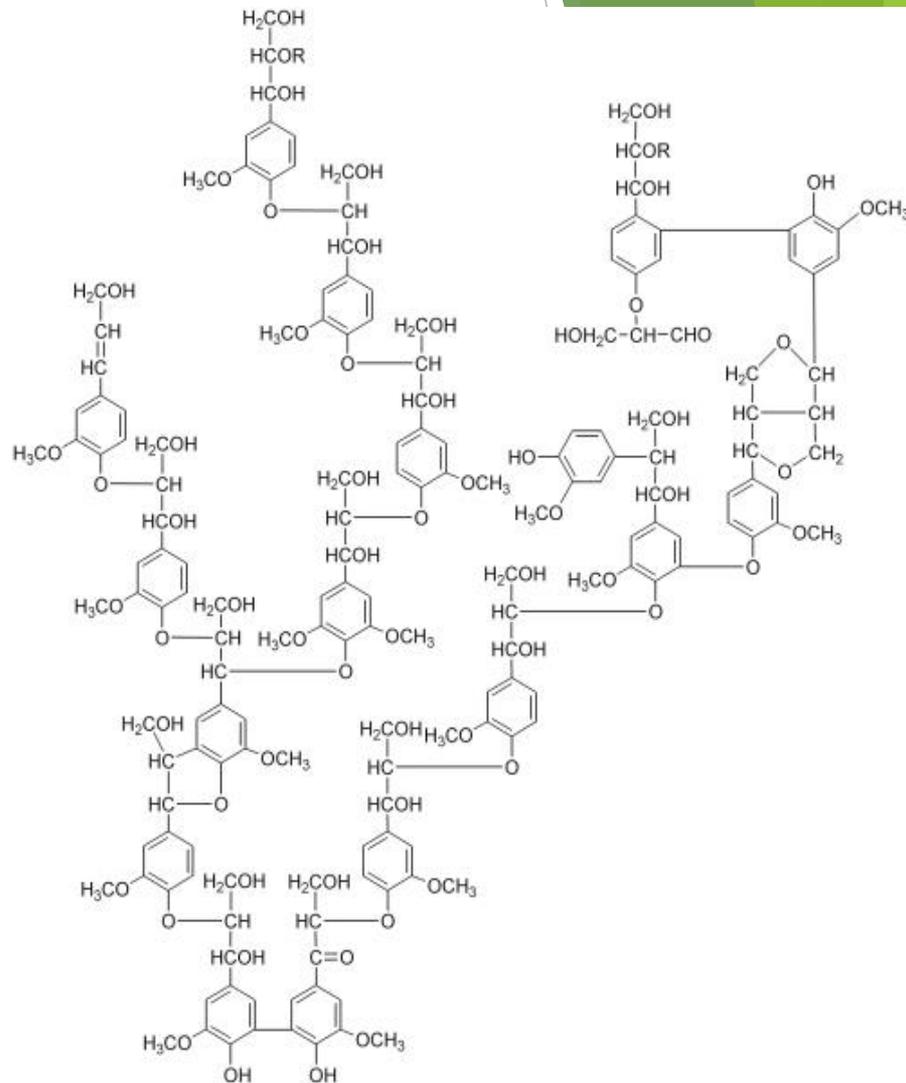
# LIGNINA

Polímero tridimensional,  
amorfo, irregular, aromático,  
hidrofóbico.

Copolímero de unidades  
fenilpropano.

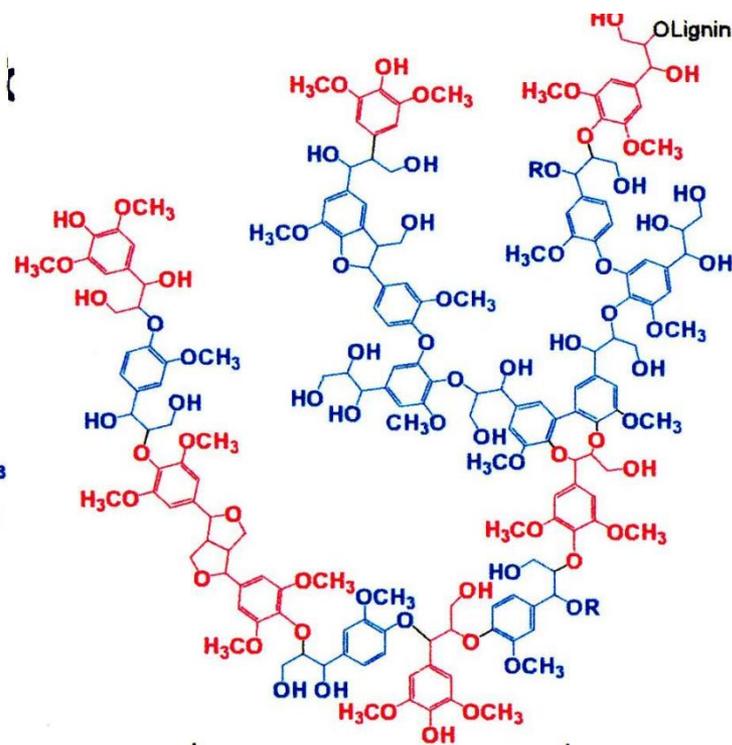
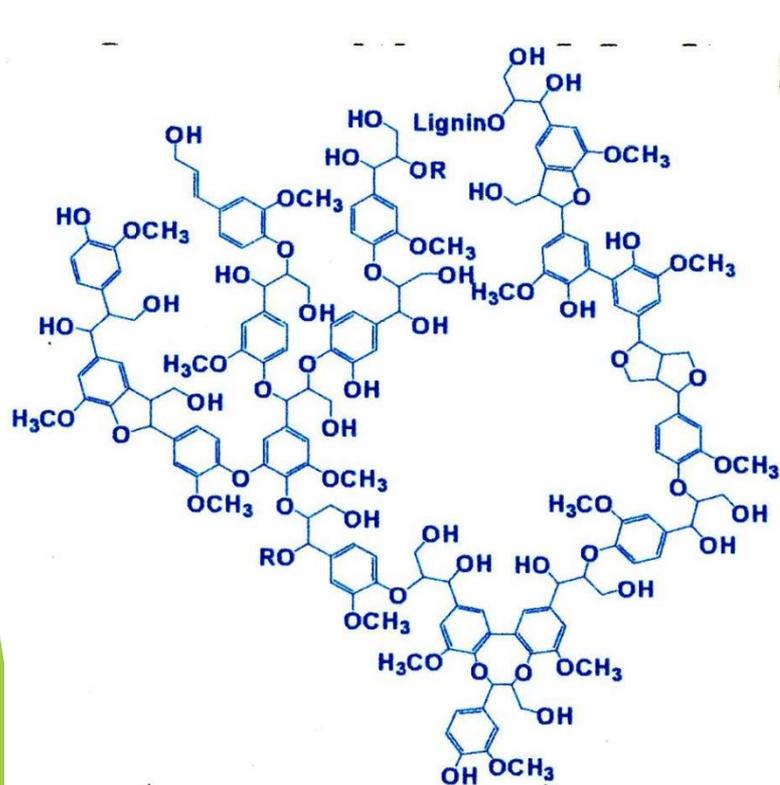
Actúa como  
“cementante” entre las  
fibras, en laminilla  
media.

Regula contenido de  
agua en la fibra.



# LIGNINA

Unidades lignina	Coníferas	Latifoliadas	Pastos
p-hidroxifenil	0,5-3,5 %	traza	10-25 %
guaiacil	90-95 %	25-50 %	25-50 %
siringil	0-1 %	25-50 %	25-50 %



# EXTRACTIVOS

Componentes extraños de la madera que pueden ser separados del material de la pared celular por solventes neutros.

Proporcionan olor, color, (sabor) en algunas especies.

Mayoría de componentes resinosos protegen la madera de daño microbiológico o de insectos.

Composición varía entre ampliamente especies y en las distintas partes de un mismo árbol tienen distinta cantidad.

Menos 10% peso seco

## Alifaticos & Aliciclicos

### Terpenos y Terpenoides

- Incluye Acidos Resinosos & esteroides
- Esters de acidos grasos
- Grasas & ceras
- Acidos grasos y alcoholes
- Alcanos

## Compuestos Fenolicos

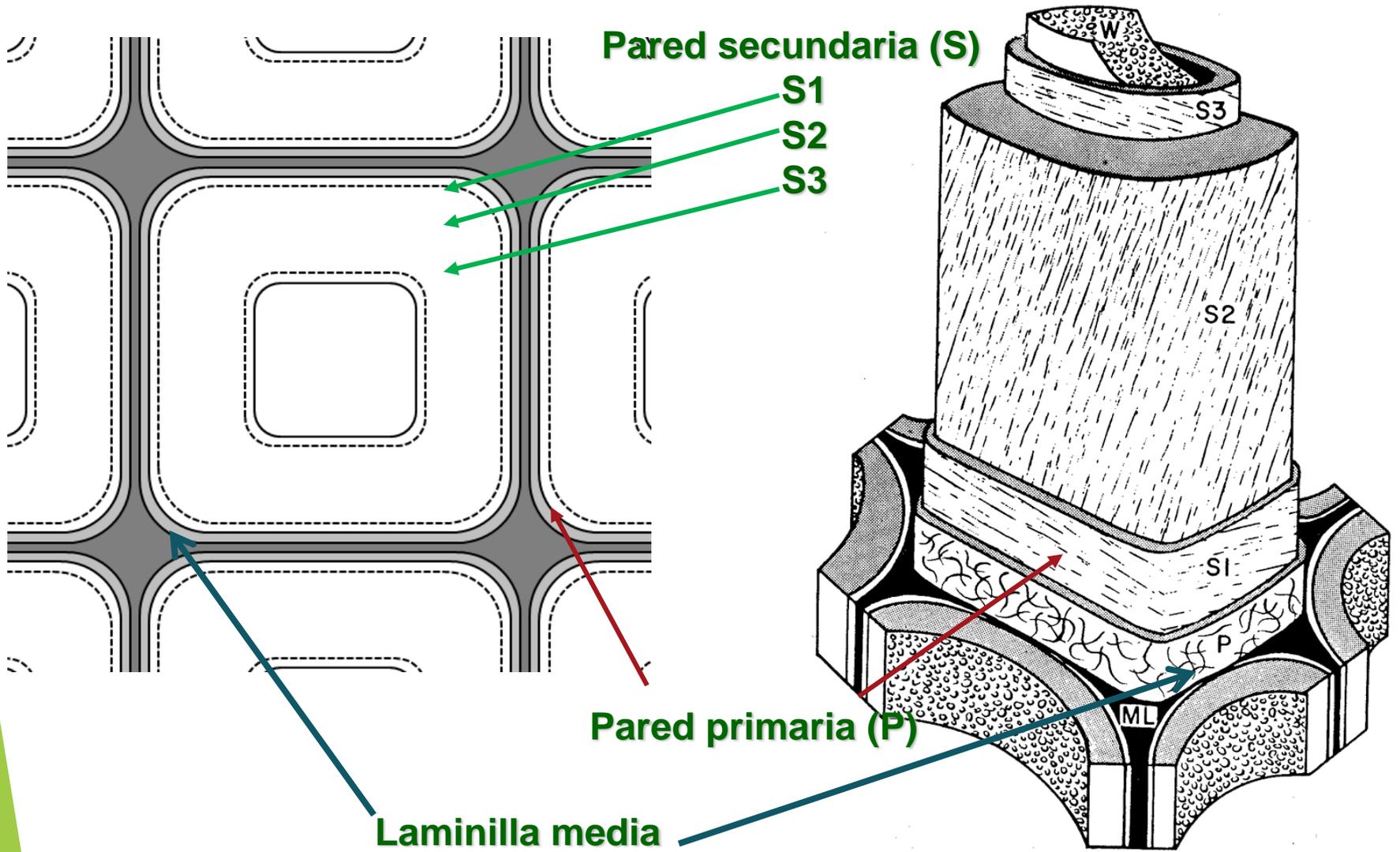
- Fenoles simples
- Estilbenos
- LignanOs
- Isoflavonoides
- Taninos
- Condensados
- Flavonoides
- Taninos Hidrolizables
- Coumarinos

## Otros Compuestos

- Azucares
- Tropolones
- Amino Acidos
- Alcaloides
- Quinonas

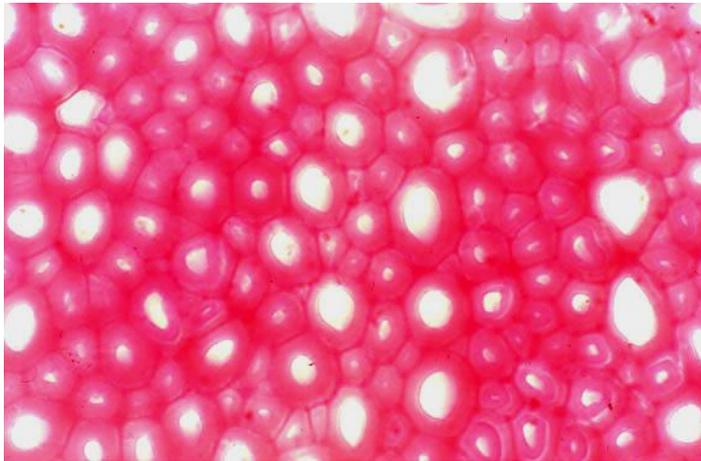


# ULTRAESTRUCTURA PARED

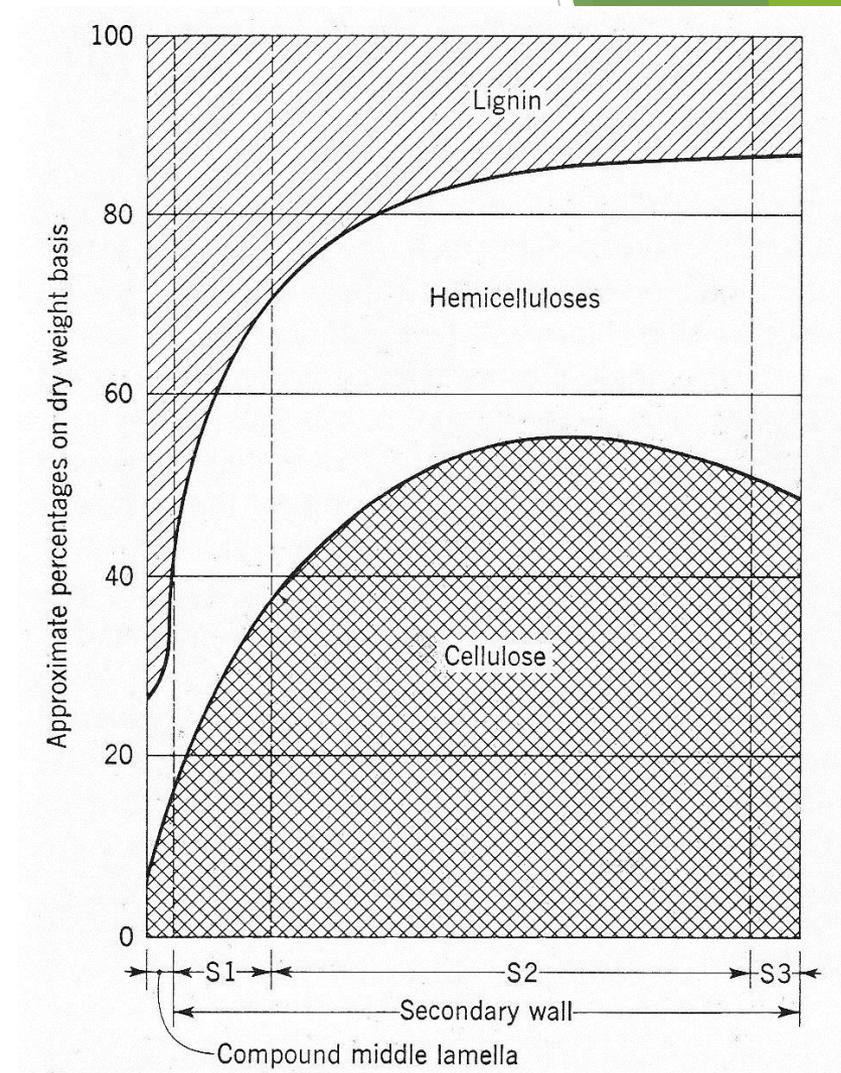


# ULTRAESTRUCTURA PARED

Distribución de principales componentes químicos dentro de pared celular



Distribución lignina en fibras Latifoliadas (más oscuro, más lignina).



# Deterioro de madera



## Agentes bióticos

**Bacterias**

**Hongos**

**Insectos**

**Perforadores marinos**

## Agentes abióticos

**Agua**

**Fuego**

**Radiación (UV, IR)**

**Química**

**Mecánica**

# PÉRDIDAS ECONÓMICAS

Por reposición de piezas que fallan en servicio

## PÉRDIDAS DE MADERA



# AGENTES ABIÓTICOS

## Mecánicos

Desgaste, erosión, sobrecarga

## Descomposición química

Agentes oxidantes, ácidos fuertes y bases fuertes.

## Calor

Combustión (encima de 275°C)

## Agentes atmosféricos

Sol (fotodegradación UV, IR); agua (lluvia o rocío); humedad ambiental



Tipo de madera	Organismos destructores de la madera				
	Insectos madera verde	Insectos madera seca	Mancha azul	Pudrición	Termitas
Rolas recién cortada	Horas	No ataque	Horas	Semanas	Días contacto suelo. Semanas en madera seca
Recién aserrada	Solo si corteza	No ataque	Horas	Semanas	Como arriba
Madera en servicio, o almacenada, secada	No ataque	Semanas a meses	No ataque	No ataque	Semanas a meses según condiciones locales
En servicio, húmeda	No ataque	Semanas a meses	Semanas	Meses a años	Como arriba
En servicio, contacto suelo	No ataque	Raramente atacada	No relevante	Semanas a meses	Días

Mora et al, 2008)

# Hongos

Sustancias de reserva : Mohos  
Hongos cromógenos

Paredes celulares (holocelulosa y lignina)

Hongos de pudrición :

Marrón o parda o cúbica,  
Blanca o fibrosa  
Blanda



# Hongos manchadores y mohos

## Estrategias de control

- Protección química (funguicidas cúpricos)
- Procesado y Secado rápido
- Almacenar bajo atmósfera de CO<sub>2</sub>
- Remover fuente de alimento
- Control biológico  
(*Ophiostoma albino*)



# Hongos de pudrición

Reciclan toda la madera

Producen pérdidas de propiedades mecánicas, por pérdida de densidad, de resistencia y cambio de color.

Aumentan contenido de humedad.



# INSECTOS QUE DETERIORAN MADERA

- *Lyctus brunneus*  
(Coleoptera: Bostrychidae: Lyctinae)
- *Hylotrupes bajulus*  
(Coleoptera: Cerambycidae)
- *Anobium punctatum*(Coleoptera:Anobiidae)
- Termites
- Hormigas Carpinteras

# TERMITES

- Insectos sociales
- Reina/trabajadores/soldados
- Usan celulosa como alimento
- Termites más simples tienen protozoa simbiontes para digerir celulosa.

# TERMITES



Fuente: CETEMAS 2011

# TERMITAS SUBTERRANEAS

Requieren contacto con suelo

Grandes colonias (1 a 5 millones)

Producen galerías con barro



# HORMIGAS CARPINTERAS

Insecto social

(Reina/trabajadores)

Usan madera como protección

Forrajea afuera de nido para alimentarse

Ataca maderas blandas

Colonias <100,000 trabajadores

# HORMIGAS CARPINTERAS



# *Hylotrupes bajulus* (Cerambeídeos)

**Tipo de madera** coníferas

**Zona de la madera** albura

**Condición** en proceso de secado y seca, CH 10.30%

**Tipo de aserrín** granular fino a largas fibras

**Forma de los orificios de emergencia** oval

**Tamaño de los orificios de emergencia** 6 a 10 mm

**Reinfestación** si



# PERFORADORES MARINOS



Fuente: CETEMAS 2011

# PERFORADORES MARINOS

La destrucción causada por estos organismos varía con la especie de madera, las condiciones ambientales, las especies involucradas y el tratamiento preservante utilizado.

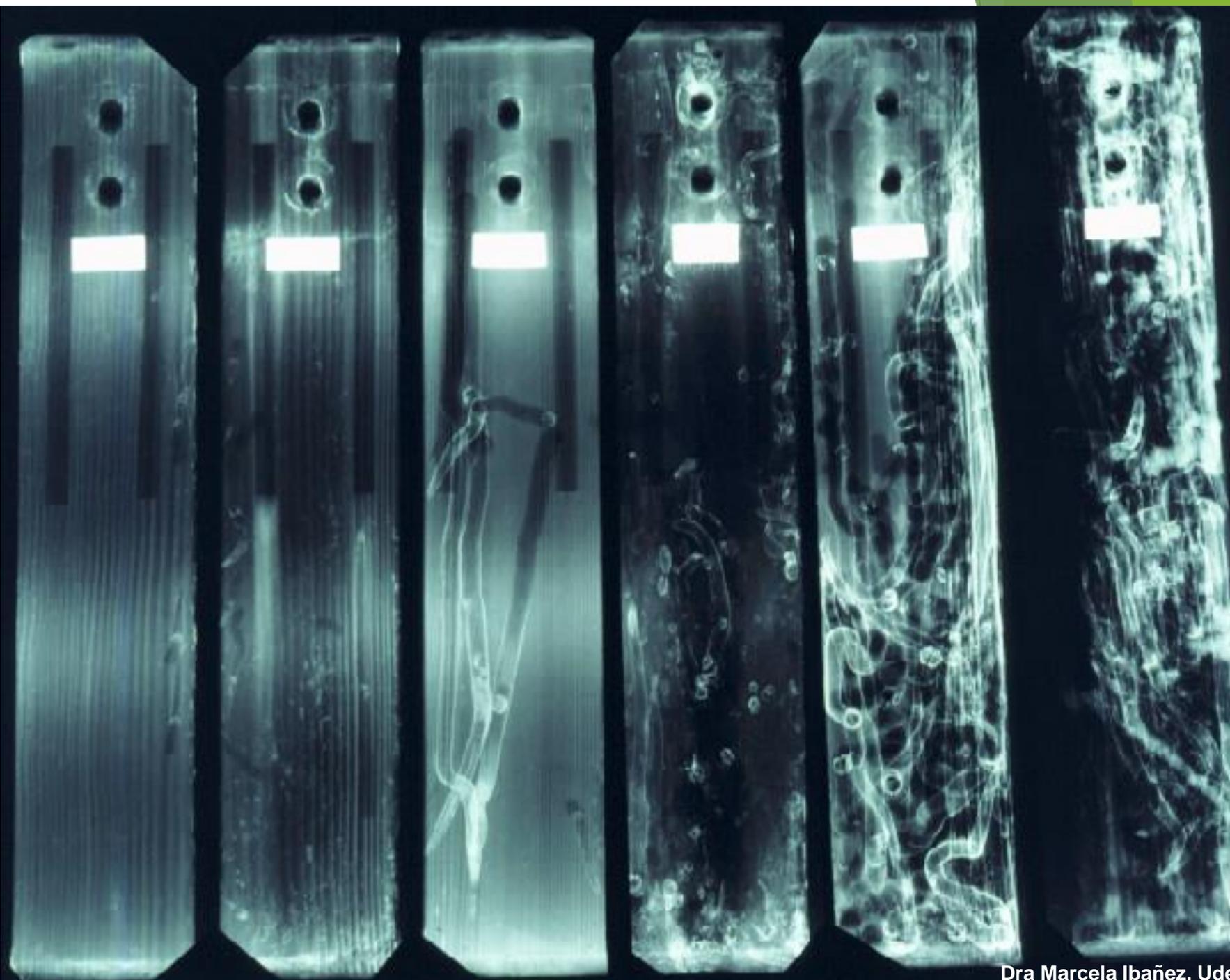
Requieren de agua salada.

## **Tipos:**

Moluscos (Teredo/Bankia)

Crustáceos (*Limnoria*)

Folánidos



# Durabilidad natural de la madera

# Durabilidad natural

Resistencia natural que presentan algunas especies madereras a la degradación.

Solo para duramen.

Varía con edad del árbol y con la altura.

En segundo crecimiento puede haber disminución de resistencia.

# Durabilidad natural

Depende de:

- Composición química de la madera
- Relación albura/durámen
- Contenido de extractivos
- Uso final de la madera
- Tipo de microorganismo
- Contenido de humedad
- Densidad de la madera

## Extractivos:

- Terpenoides
- Lignanos, taninos (hidrolizables y condensables) flavonoides estilbenos.

# Durabilidad natural

Se evalúa a través de:

pruebas de laboratorio

pruebas de campo

Resultado original clasificación de Durabilidad en clases:

Vulnerable

No durable

Moderadamente durable

Durable

Muy durable

- **Mantener la madera seca**
  - Evitar contacto con suelo
  - Quitar vegetación próxima
  - Ventilación
- **Usar recubrimientos**
  - Barreras
  - Envenenar madera
  - Modificación madera

# Métodos de control

Eliminan o minimizan el deterioro de la madera por acción de los organismos que la destruyen, incluyen:

- ❑ **control por aplicación de productos químicos,**
- ❑ control de humedad,
- ❑ control térmico,
- ❑ control biológico,
- ❑ alteración de la estructura química de la madera.

# Métodos de control

Cuatro generaciones de sistemas preservantes :

- 1<sup>ra</sup> - incluye creosota, pentaclorofenol y CCA (cobre - cromo – arsénico);
- 2<sup>da</sup> - constituida por todos aquellos preservantes ricos en cobre;
- 3<sup>era</sup> - sistemas totalmente orgánicos;
- 4<sup>ta</sup> - abandono de uso de productos químicos, protección no – biocida de la madera (tratamiento térmico, ó transformación química).

# ¿Cómo se elije el preservante?

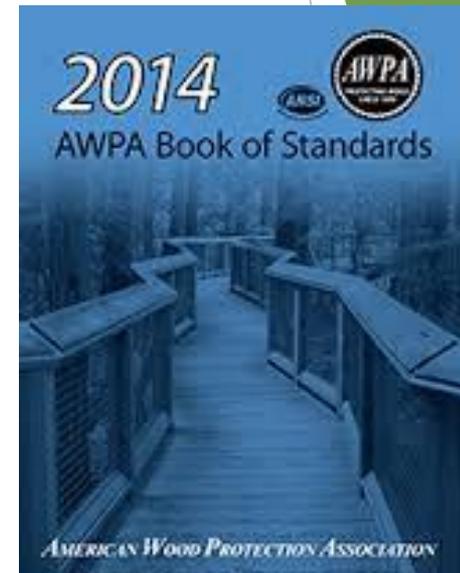
- Uso final de la madera tratada; guía es Norma UNE-EN 335 (riesgo biológico- tipo de producto-método de aplicación).
  - Tiempo en que madera debe estar protegida.
  - Costos.
  - Características de la madera:
    - Debe ser impregnable (de una clase de penetrabilidad adecuada).
- Con contenido adecuado de humedad para sistema y tipo de preservante a utilizar.

Clasificación	Uso/Agentes de deterioración
Grupo 1 (R1)	Maderas usadas en interior, ambientes secos, con riesgo de ataque de insectos solamente, incluida la termita subterránea.
Grupo 2 (R2)	Maderas usadas en interior, con posibilidad de adquirir humedad, ambientes mal ventilados. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 3 (R3)	Maderas usadas en exteriores, sin contacto con el suelo, expuesta las condiciones climáticas. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 4 (R4)	Maderas enterradas o apoyadas en el terreno, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 5 (R5)	Maderas enterradas en el suelo, componentes estructurales críticos, en contacto con aguas dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.
Grupo 6 (R6)	Maderas expuestas a la acción de aguas marinas y para torres de enfriamiento. Riesgo de ataque de perforadores marinos.

## Normas europeas

# Normas para tratamientos

- ▶ *American Wood Protection Association*
- ▶ Use Category/Hazard Class (1-bajo riesgo/5 riesgo severo)
- ▶ Normas consensuadas
- ▶ Resultados orientados



Use Category	Brief description of uses
UC1	Interior dry
UC2	Interior damp
UC3A	Exterior above ground, coated with rapid water runoff
UC3B	Exterior above ground, uncoated or poor water runoff
UC4A	Ground contact, general use
UC4B	Ground contact, heavy duty
UC4C	Ground contact, extreme duty
UC5A	Marine use, northern waters (salt or brackish water)
UC5B	Marine use, central waters (salt or brackish water)
UC5C	Marine use, southern waters (salt or brackish water)

# Clasificación tradicional

## 1) Preservantes oleosolubles

pentaclorofenol

## 2) Preservantes oleosos

Creosota, naftenato de cobre, naftenato de zinc, oxinato de cobre

Ambos grupos: resistentes a lixiviación y penetran fácilmente en la madera por disminuir la tensión superficial.

## 3) Preservantes hidrosolubles

En general: no requieren solventes.  
dejan la superficie de la madera limpia y pintable.

# Clasificación tradicional

## 3) Preservantes hidrosolubles

- CCA

Formulación: trióxido de cromo  
óxido de cobre  
pentóxido de arsénico

Cobre – funguicida

Cromo – afín a complejar compuestos de la madera, disminuye lixiviación ( $\text{Cr}^{6+}$  -  $\text{Cr}^{3+}$  y reacciona con lignina y retiene Cu y As)

Arsénico – inhibidor competitivo del fósforo en síntesis de ATP; insecticida y funguicida.

# Clasificación tradicional

## CCA

### Fijación a la madera:

Reacción principal:



También reacciona con taninos.

Se puede usar la conversión del cromo para monitorear la fijación. Es una reacción lenta que se realiza durante tiempo de estacionamiento de madera tratada.

# Clasificación tradicional

## CCA

### Ventajas

Puede ser pintado

Cr otorga resistencia a fotodegradación

Cu puede provenir de material reciclado, As de fundiciones y Cr de industria de cromado.

### Desventajas

As no permitido para uso residencial

Es corrosivo

Cambia de color a la madera

# Clasificación tradicional

## Otros preservantes hidrosolubles

- ▶ ACQs (amonio cuaternario de cobre alcalino) Tipos C y D.

Permitido para uso residencial.

# Clasificación tradicional

## Otros preservantes hidrosolubles

- ▶ Azoles de cobre

Dos tipos:

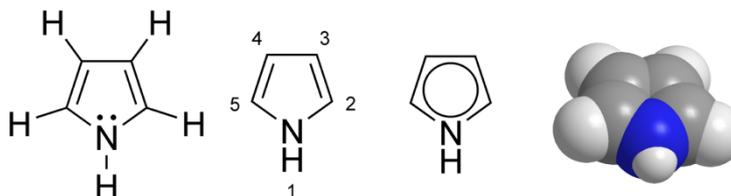
- ▶ CBA-A composición cobre (49%), ácido bórico (49%), triazol - tebuconazol (2%)

- ▶ CBA-B cobre 96%, tebuconazole (4%)

Relación de MeaH:CuO es 3.8:1

MeaH: monoethanolamina

Azol (pirrol)



# Clasificación tradicional

## Otros preservantes hidrosolubles

MCQ, cobre micronizado cuaternario

**Cobre 96%, tebuconazol 4%**

**Relación Cu a quat 2:1**

**Sin solventes aminas, usa carbonato de cobre micronizado.**

# Métodos de preservación de madera

# Métodos de preservación

- **Con presión**
  - Célula llena (Bethell)
  - Método de Rueping
  - Método de Lowry
  - Doble vacío
- **Sin presión**
  - Pincelado
  - Aspersión
  - Inmersión
  - Baño caliente – frío
  - Difusión simple
  - Doble difusión
- **Procesos especiales**
  - Método de Boucherie

➤ **Con presión**

madera seca ( $CH\% < 17\%$ )  
descortezada

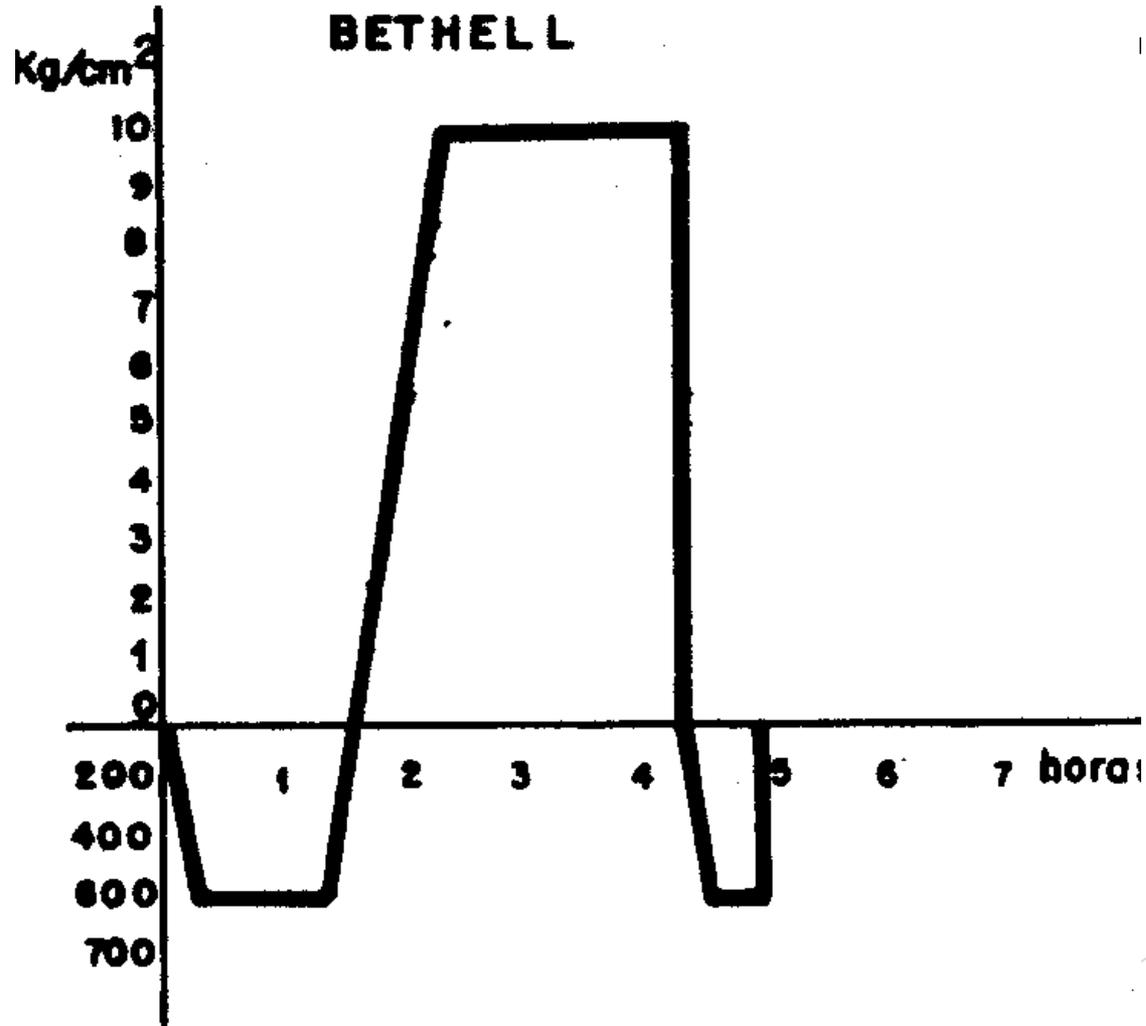
➤ **Sin presión**

madera húmeda ( $CH\% > 80\%$ ),  
en algunos casos, madera con no  
más de 24 horas de apeado el árbol.

➤ **Procesos especiales**

madera húmeda con no  
más de 24 horas de apeado el árbol.  
Con corteza

# Método Bethell (ó Célula llena)

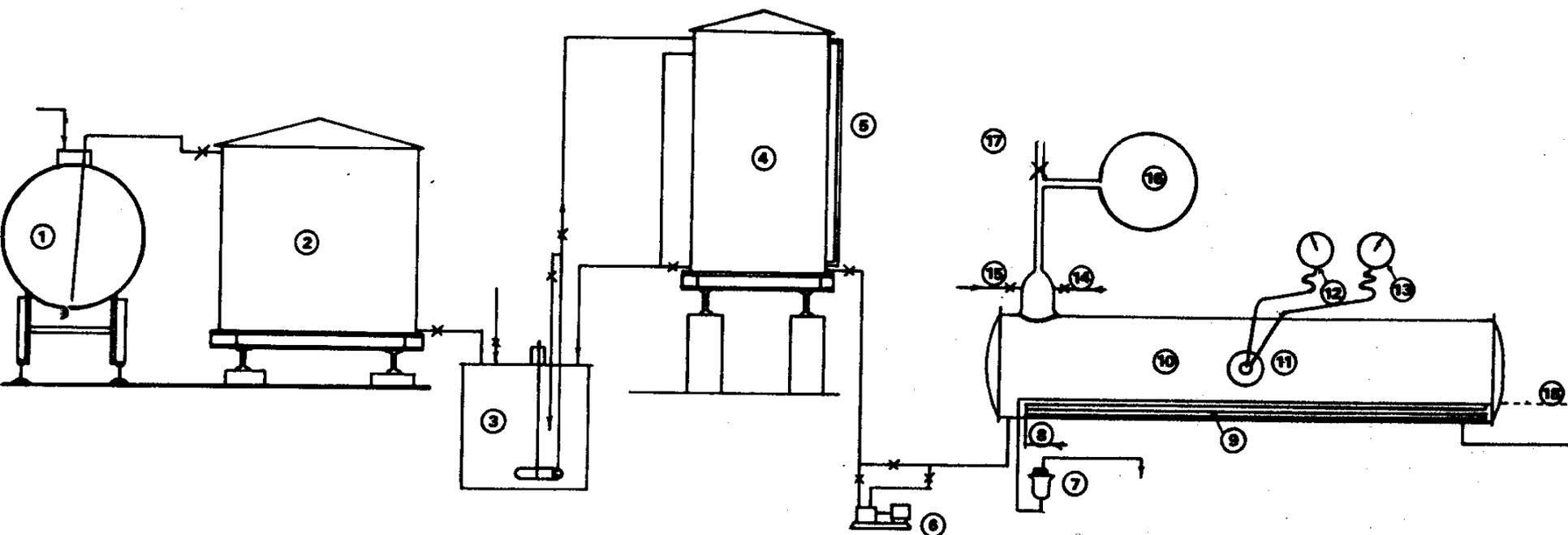




## Planta impregnación, UTE Uruguay



## Planta Impregnación, FIMACO, Argentina



**FIGURA N° 140. — Diagrama de una planta de preservación por el método de vacío y presión. Referencias: 1 tanque de abastecimiento del preservador; 2 tanque de almacenamiento del preservador; 3 tanque mezclador; 4 tanque de trabajo; 5 indicador de nivel; 6 bomba para presión final; 7 trampa de vapor; 8 entrada de vapor a calefactor del cilindro de tratamiento; 9 calefactor; 10 cilindro de tratamiento; 11 domo para conexión de instrumentos medidores; 12 termómetro; 13 manómetro; 14 entrada de vapor al cilindro de tratamiento; 15 entrada de aire comprimido al cilindro de tratamiento; 16 sistema de vacío y de condensador; 17 cañería de conexión con el ambiente externo; 18 parrilla o puente movable (para entrada y salida de vagonetas).**

# Parámetros del tratamiento

- ▶ Retención (masa/volumen o masa/masa)
- ▶ Penetración



# Métodos no biocidas para evitar el biodeterioro

- ▶ Creciente interés en su desarrollo debido a cambios en legislaciones.
- ▶ Regulaciones en el uso de biocidas.
- ▶ Disposición final de madera tratada.

# Métodos no biocidas para evitar el biodeterioro

- ▶ Basados en modificaciones físicas o químicas de la pared celular de la madera.
- ▶ Mejoran resistencia al deterioro y estabilidad dimensional en contacto con humedad.

# Metodos no biocidas para evitar el biodeterioro

- Modificación química,
- Tratamiento térmico de la madera
- Hidrofobización (aceites, ceras y parafinas)

# Acetilación

- ▶ Con anhídrido acético y cloruro de acetilo.
- ▶ Madera seca se impregna por proceso a presión. Fijación se da a 120°C y 1 atm, 3–6 horas.
- ▶ Accoya<sup>®</sup> – Titan Wood, Holanda
  
- ▶ Resultado: madera más durable (20% acetilación).
- ▶ Alcanza menor humedad de equilibrio.  
Se bloquean microporos.

# Furfurilación

- ▶ Proceso: alcohol furfurilo (AF) polimeriza en la estructura de la madera y reacciona con ella.
- ▶ Iniciada en 1950.
- ▶ 1960 Koppers Woods Inc. (USA) producción a pequeña escala de madera furfurilada.
- ▶ 1990, se van desarrollando más catalizadores
- ▶ Kebony ® - Noruega

# Modificación térmica de la madera

## PROCESO

- No requiere impregnar la madera
- Temperaturas superiores a 150 ° C
- Normalmente entre 180 y 260°C
- Disminuye la masa
- Variables del proceso: tiempo; temperatura; atmósfera del tratamiento; inmersión; especies; catalizadores
- Cinética de la degradación

# Modificación térmica de la madera

<b>Proceso</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Madera</b>
Plato	Hidrotermólisis 160-190°C Curado 170-190°C	4-5 horas 14-46 horas	Verde secada al aire
De rectificación	200-240°C atmósfera de nitrógeno		Relativamente seca (12%)
OHT, calentamiento en aceite	180-200°C	18 horas (proceso completo)	
Termo-madera	Etapa 1: 130°C Etapa 2: 185-230°C Etapa 3: 80-90°C	2-3 horas	Verde o secada en horno