

# MICOLOGÍA

JUSTO SOTO REBOLLO

# *Asignatura: MICOLOGÍA*



**PROFESOR RESPONSABLES:**
**Dr. José Luis García Manjón**
Depto. de Ciencias de la Vida, UAH

## INTRODUCCIÓN (RESUMEN):

La Micología es la ciencia que estudia a los hongos (macro y microscópicos), uno de los reinos de la biología con una asombrosa biodiversidad. Conocidos desde hace milenios por sus aplicaciones alimenticias, medicinales, para hacer fuego, propiedades alucinógenas (culturas mesoamericanas), etc.

En cuanto a sus estrategias de vida y su impacto en los ecosistemas, destacan varias categorías. Los hongos saprófitos son cruciales, ya que degradan y reciclan la materia orgánica, como la madera de nuestros bosques. Por otro lado, los hongos parásitos pueden provocar enfermedades de diversa virulencia en plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas. Finalmente, los hongos micorrícicos forman una conexión vital con el sistema radicular de casi todas las plantas, contribuyendo significativamente a mantener un equilibrio adecuado en los ecosistemas forestales.

## OBJETIVOS:

La asignatura tiene los objetivos siguientes:

- Conocer la biodiversidad fúngica.
- El papel de los hongos en los ecosistemas forestales ibéricos.
- Los aspectos toxicológicos más importantes del reino de los hongos.

## PROGRAMA:

Tema 1. Introducción al estudio de los hongos.
Tema 2. Diversidad de los hongos: colmenillas, trufas, etc.
Tema 3. Diversidad de los hongos: setas, boletos, etc.
Tema 4. Aspectos nutricionales y relación de los hongos con otros organismos I.
Tema 5. Aspectos nutricionales y relación de los hongos con otros organismos II.
Tema 6. Intoxicaciones producidas por hongos.

## BIBLIOGRAFÍA:

• Bold, H.C. y col. (1988). Morfología de las plantas y los hongos. Ed. Omega.
• Courtecuisse, R. (2005). Guía de los hongos de la Península Ibérica, Europa y Norte de África, Editorial Omega.
• Font-Quer, P. (1975). Diccionario de Botánica. Ed. Labor.
• Moreno, G. y J.L. Manjón (2010). Guía de hongos de la Península Ibérica. Editorial Omega.
• Moreno, G., Manjón, J.L. & A. Zugaza (1986). Guía de INCAFO de los hongos de la Península Ibérica. Editorial INCAFO.

## ENLACES WEB:

• Sociedad Micológica de Madrid http://www.socmicolmadrid.org
• La Senderuela. Asociación Micológica Alcarreña https://asociacionmicologicaalcarrealasenderuela.wordpress.com

# TEMA 1 – DEFINICIÓN DE MICOLOGÍA

## 1. CONCEPTO GENERAL

Micología (del griego mykes, "hongo", y logos, "estudio") es la rama de la Biología que se encarga del estudio científico de los hongos, incluyendo su morfología, fisiología, genética, ecología, clasificación, reproducción y aplicaciones prácticas. Los micólogos analizan tanto los hongos macroscópicos (como setas, trufas, yesqueros, etc.) como los microscópicos (levaduras, mohos y hongos patógenos).

## 2. BREVE HISTORIA DE LA MICOLOGÍA



*Boletus edulis*

Desde la Antigüedad los hongos fueron conocidos por su uso alimenticio, medicinal y tóxico. En el siglo XVII, con el microscopio, Robert Hooke y Leeuwenhoek observaron sus estructuras. En el XVIII, Linneo los clasificó como plantas imperfectas. En el XIX, Elias Magnus Fries estableció las bases de la clasificación moderna. En el siglo XX se reconoció que pertenecen a un reino independiente, y en la actualidad la micología integra la biología molecular y la biotecnología.



*Amanita phalloides*

## 3. IMPORTANCIA BIOLÓGICA Y ECOLÓGICA DE LOS HONGOS

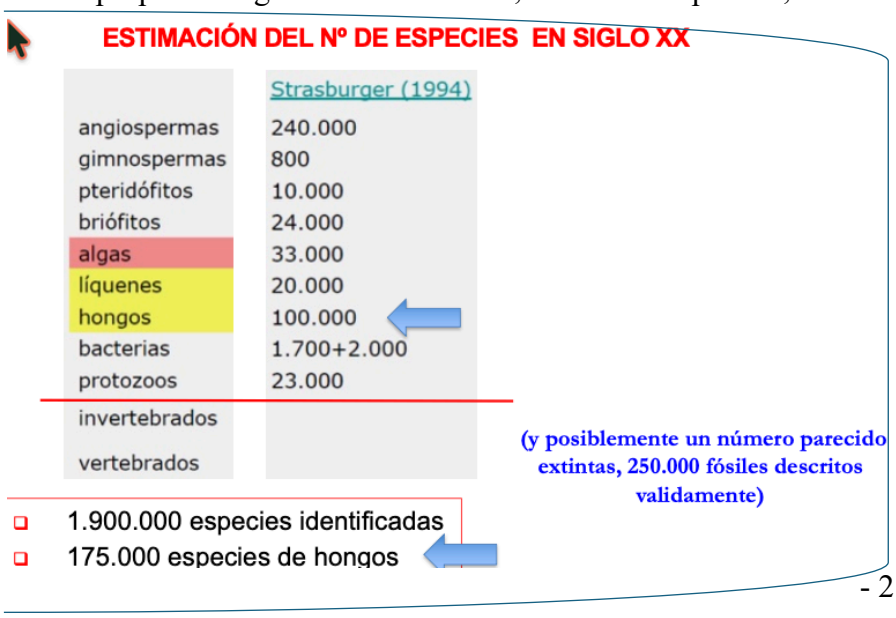
**¿Qué es un hongo?**

Un hongo es un ser vivo eucariota (sus células tienen núcleo), normalmente formado por filamentos llamados hifas que, al entrelazarse, crean una red llamada micelio (red subterránea de filamentos que constituye la parte vegetativa del hongo). No hacen fotosíntesis; se alimentan absorbiendo moléculas del entorno. Su pared celular contiene quitina (Hidrato de carbono nitrogenado) como los insectos, no celulosa como las plantas. Suelen reproducirse mediante esporas, que son células pequeñas y resistentes que se dispersan por aire o agua.

En conjunto, los hongos constituyen el Reino Fungi, un grupo de organismos eucariotas (con núcleo verdadero) diferente de plantas, animales y bacterias.

Los hongos constituyen un reino propio de organismos eucariotas, diferente de plantas, animales y protistas. Se agrupan en el Reino Fungi, caracterizado por su nutrición heterótrofa, pared celular de quitina, reproducción por esporas y crecimiento en forma de hifas que forman el micelio.

Desde el punto de vista ecológico, los hongos son esenciales porque actúan como descomponedores, forman micorrizas, participan en relaciones simbióticas y contribuyen al reciclaje de nutrientes.



## 4. Ramas o subdivisiones se la Micología

| RAMA DE LA MICOLOGÍA | OBJETO DE ESTUDIO | APLICACIÓN PRINCIPAL |
|---|---|---|
| Micología general | Morfología, fisiología y clasificación de los hongos | Bases teóricas y taxonómicas |
| Micología médica | Hongos patógenos para humanos y animales | Diagnóstico y tratamiento de micosis |
| Micología veterinaria | Hongos que afectan al ganado o animales domésticos | Control sanitario y prevención |
| Micología agrícola | Hongos del suelo y patógenos de plantas | Fitopatología y mejora de cultivos |
| Micología industrial | Aprovechamiento de hongos útiles | Producción de antibióticos, enzimas, fermentaciones |
| Micología ambiental | Interacción de los hongos con su entorno | Biodegradación y biorremediación |

## 5. Similitudes de los hongos con animales y plantas

| RASGOS | SIMILITUD CON PLANTAS | SIMILITUD CON ANIMALES |
|---|---|---|
| Eucariotas | Tienen núcleo y orgánulos | Tienen núcleo y orgánulos |
| Crecimiento por células | Estructura multicelular, como raíces o tejidos | — |
| Pared celular | Tienen pared celular | Quitina como insectos |
| Alimentación | — | Heterótrofos: absorben nutrientes de otros seres vivos |
| Energía | No realizan fotosíntesis | Dependen de compuestos orgánicos |

## 6. Diferencias con plantas, animales y bacterias

| RASGO | HONGOS | PLANTAS/ANIMALES | BACTERIAS |
|---|---|---|---|
| Tipo celular | Eucariotas | Eucariotas | Procariotas (sin núcleo) |
| Alimentación | Heterótrofos por absorción | Plantas: autotrófas; Animales: heterótrofos por ingestión | Muy diversa |
| Pared celular | Quitina | Plantas: celulosa; Animales: sin pared | Peptidoglicano (en general) |
| Crecimiento típico | Hifas → micelio | Tejidos/órganos | Células aisladas o colonias |
| Reproducción | Esporas; sexual y asexual | Semillas/óvulos/espermatozoides | Fisión, esporas bacterianas |

## 7. APLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS HONGOS

Los hongos tienen gran relevancia económica y científica: en la industria alimentaria (pan, cerveza, queso), en la medicina (penicilina, estatinas), en la agricultura (control biológico), en el medio ambiente (biodegradación), y como organismos modelo en biología celular.

## 8. RIESGOS, ENFERMEDADES E INTOXICACIONES

No todos los hongos son seguros. Pueden causar infecciones (micosis), alergias y envenenamientos. Algunos producen toxinas en alimentos almacenados (micotoxinas), generan enfermedades en plantas y deterioran materiales como madera, papel o tejidos.

| PROBLEMA | SEÑALES HABITUALES | MEDIDAS BÁSICAS |
|---|---|---|
| Micosis superficiales | Picor, descamación en piel/pies; uñas engrosadas | Higiene, secado, antifúngicos tópicos |
| Micosis respiratorias | Tos, fiebre en personas vulnerables | Atención médica; evitar polvos contaminados |
| Alergias a esporas | Rinitis, asma | Ventilar, filtros HEPA |
| Micotoxinas en alimentos | Moho visible o rancio | Desechar alimentos mohosos; conservar en seco |
| Intoxicación por setas | Vómitos, diarrea, confusión, daño hepático | No consumir setas no identificadas por experto |

## 9. Normas básicas si se recolecta setas (solo si se está formado)

1) Nunca comer una seta si no está identificada por una persona experta. 2) Aprender de guías locales y cursos oficiales. 3) No fiarse de 'pruebas caseras'. 4) Respetar el monte y las normas de recolección. 5) Si hay sospecha de intoxicación, acudir a urgencias con restos para su identificación.




## 10. ¿Dónde viven y cómo obtienen alimento?

Los hongos están casi en todas partes: suelo, paredes, madera, alimentos, piel, agua dulce y salada. Su forma de vida se basa en segregar enzimas hacia fuera para digerir la materia y luego absorber los nutrientes.

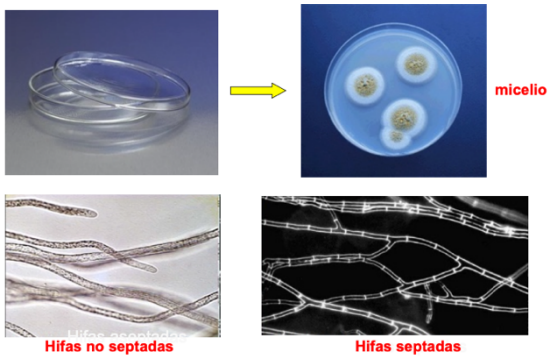
| ESTRATEGIA | QUÉ SIGNIFICA | EJEMPLOS COTIDIANOS |
|---|---|---|
| Saprófitos | Se alimentan de materia muerta | Moho del pan, yesqueros sobre troncos |
| Parásitos | Viven a costa de un ser vivo | Pie de atleta, mildiu en hojas |
| Mutualistas | Ambos se benefician | Micorrizas en raíces de plantas; líquenes (hongo+alga) |

## 11. Partes de un hongo (lo que se ve y lo que no se ve)

La mayor parte del hongo es el micelio oculto en el sustrato (suelo, madera, alimento). Lo que llamamos 'seta' es el cuerpo fructífero, una estructura temporal que fabrica y libera esporas.

| PARTE | DESCRIPCIÓN SENCILLA |
|---|---|
| Hifa | Filamento celular que crece en punta y absorbe nutrientes |
| Micelio | Red de hifas; verdadero 'cuerpo' del hongo |
| Sombrero | Parte superior de la seta; debajo están las láminas o poros |
| Láminas/poros | Superficie productora de esporas |
| Pie (estípite) | Soporta el sombrero |
| Anillo/volva | Restos de tejidos protectores en algunas especies |

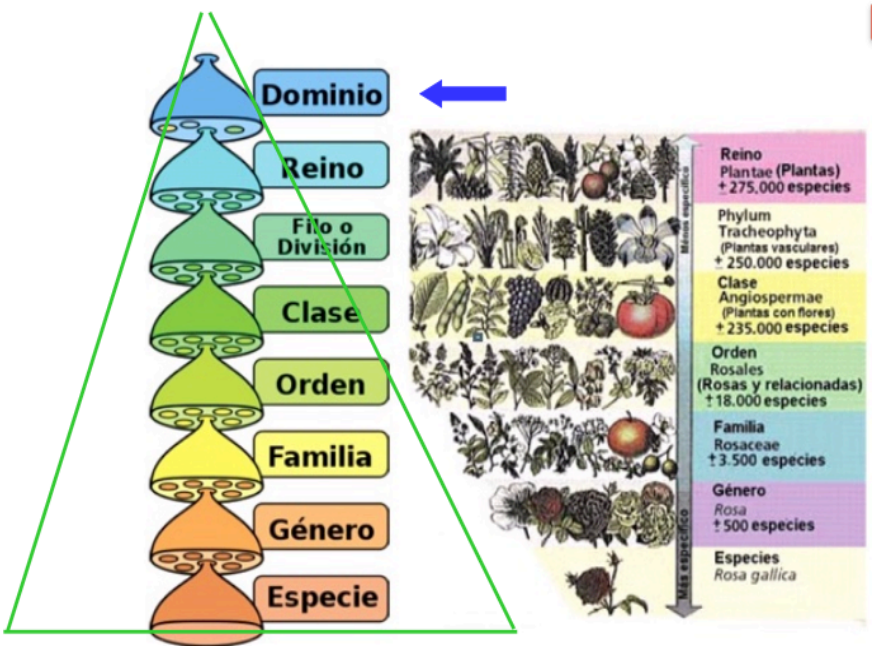
## 12. ¿CÓMO SE REPRODUCEN?




Hay dos grandes vías: asexual (rápida, clónica) y sexual (genera variación). En la asexual, se producen esporas por **mitosis** (proceso de división celular que da lugar a dos células hijas genéticamente idénticas a la célula madre) o las levaduras se multiplican por gemación. En la sexual, dos **hifas** (filamentos básicos que componen los hongos) compatibles se fusionan, se forma un núcleo diploide que luego hace **meiosis** (división celular que produce cuatro células haploides genéticamente distintas a partir de una célula diploide) produciendo esporas sexuales.

| TIPO | MECANISMO COMÚN | EJEMPLO |
|---|---|---|
| Asexual | Conidios, esporangiosporas, gemación | Moho Penicillium, levaduras |
| Sexual | Basidiosporas, ascosporas tras meiosis | Setas (basidiomicetos), trufas (ascomicetos) |

## 13. BIODIVERSIDAD DEL REINO FÚNGICO




El Reino Fungi es extraordinariamente diverso. Se calcula que existen entre 2 y 5 millones de especies de hongos, aunque solo se conocen alrededor de 150.000. Aparecen en casi todos los hábitats: suelo, madera, hojas, rocas, agua dulce y salada. Algunos viven como **simbiontes** (organismos biológicos que viven en relación simbiótica con otros), otros como parásitos o descomponedores. Existen desde levaduras unicelulares hasta setas complejas.

Ejemplos: Saccharomyces (levadura del pan y cerveza), Penicillium (penicilina), Amanita phalloides (tóxica), Tuber melanosporum (trufa negra), Aspergillus (hongo del aire).

## 14. Categorías Taxonómicas

| NIVEL TAXONÓMICO | EJEMPLO (AMANITA MUSCARIA) |
|---|---|
| Dominio | Eukarya |
| Reino | Fungi |
| Filo (Phylum) | Basidiomycota |
| Clase | Agaricomycetes |
| Orden | Agaricales |
| Familia | Amanitaceae |
| Género | Amanita |
| Especie | Amanita muscaria |

## 15. CLASIFICACIÓN MUY BÁSICA (PARA ORIENTARSE)

Existen muchos grupos. A nivel introductorio, conviene reconocer tres grandes bloques que se encuentran a menudo:

| GRUPO (SIMPLIFICADO) | RASGOS FÁCILES DE RECORDAR | EJEMPLOS |
|---|---|---|
| Basidiomycota | Producen basidiosporas en basidios; muchas setas comunes | Boletus, Amanita, champiñón |
| Ascomycota | Producen ascosporas en ascos; mohos y levaduras | Trufas, morchelas, Saccharomyces, Penicillium |
| Otros grupos | Diversos ciclos; muchas micorrizas y mohos del pan | Mucor, Glomeromycota |

## 16. Características generales de los hongos

| CARACTERÍSTICA | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| Tipo de células | Eucariotas, con núcleo y orgánulos |
| Número de células | Unicelulares (levaduras) o pluricelulares (setas, mohos) |
| Pared celular | De quitina, dura y flexible |
| Nutrición | Heterótrofa: se alimentan de materia viva o muerta |
| Digestión | Externa: liberan enzimas y absorben nutrientes |
| Reserva energética | Glucógeno (como los animales) |
| Reproducción | Por esporas (sexuales o asexuales) |
| Estructura corporal | Hifas que forman un micelio |
| Hábitat | Terrestres, húmedos o en descomposición |

## 17. POR QUÉ SON IMPORTANTES (ECOLOGÍA Y VIDA DIARIA)

Sin hongos, los bosques se colapsarían por acumulación de madera y hojas. Reciclan nutrientes, ayudan a las plantas a absorber agua y minerales (**micorrizas**) y forman líquenes que colonizan rocas. En casa, nos dan pan, cerveza, vino, quesos y medicinas como la penicilina.

## 18. Aplicaciones

| CAMPO | APLICACIÓN | EJEMPLO |
|---|---|---|
| Medicina | Producción de antibióticos y fármacos | Penicillium → penicilina |
| Alimentación | Fermentación de pan, cerveza, vino, quesos | Saccharomyces, Aspergillus |
| Agricultura | Micorrizas que mejoran las raíces | Glomus spp. |
| Industria | Producción de enzimas, pigmentos, bioplásticos | Enzimas industriales |
| Ecología | Descomponen materia orgánica | Hongos del suelo |
| Biotecnología | Producción de proteínas y hormonas | Levaduras modificadas |

## 19. Clasificación según modo me vida

| TIPO DE HONGO | MODO DE VIDA | EJEMPLO |
|---|---|---|
| Saprófitos | Se alimentan de materia muerta | Moho del pan (Rhizopus) |
| Parásitos | Viven a costa de otro ser vivo | Candida albicans, roya de las plantas |
| Simbióticos | Forman asociaciones beneficiosas | Micorrizas, líquenes |

## 20. ¿Cómo se estudian en el laboratorio?

| TÉCNICA | PARA QUÉ SIRVE | QUÉ RESULTADO DA |
|---|---|---|
| Cultivo en placas | Aislar y observar crecimiento | Colonias con aspecto característico |
| Microscopía y tinciones | Ver hifas, esporas, levaduras | Formas, tamaños, septos |
| Pruebas bioquímicas | Identificar especies por su metabolismo | Uso de azúcares, enzimas |
| PCR y secuenciación | Identificación precisa y filogenia | Código de barras genético (ITS) |

## CONCLUSIÓN

Los hongos son un reino independiente de enorme diversidad y vital importancia. Participan en el reciclaje de la materia, en procesos industriales y médicos, y también pueden causar enfermedades o intoxicaciones. Conocer su biología y clasificación permite comprender su papel esencial en los ecosistemas y en la vida humana.

La Micología es una ciencia fundamental para comprender el equilibrio ecológico y aprovechar los hongos de forma sostenible. Representa el puente entre la biología básica, la salud, la agricultura y la biotecnología moderna.

## Glosario esencial (definiciones en una línea)

| TÉRMINO | DEFINICIÓN BREVE |
|---|---|
| **HIFA** | Filamento celular de un hongo |
| **MICELIO** | Red de hifas; constituye el cuerpo del hongo |
| **ESPORA** | Célula resistente de dispersión y reproducción |
| **QUITINA** | Sustancia dura de la pared celular de los hongos |
| **MICORRIZA** | Asociación beneficiosa entre hongo y raíz de planta |
| **LÍQUENES** | Asociación entre hongo y alga o cianobacteria |
| **BASIDIO/ASCA** | Estructuras donde se forman esporas sexuales |
| **LEVADURA** | Hongo unicelular que suele reproducirse por gemación |

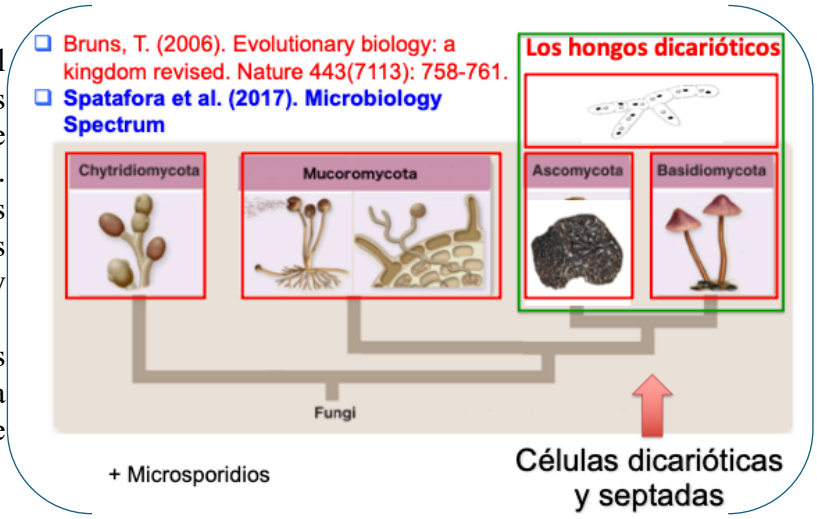
# TEMA 2 – DIVERSIDAD DE LOS HONGOS ASCOMICETOS

## 1. SITUACIÓN DE LOS ASCOMICETOS EN LOS HONGOS

Los **ascomicetos** pertenecen al **Reino Fungi**, dentro del grupo de los **Eucariotas**, según las clasificaciones de **Whittaker (1969)** y **Woese et al. (1977)**.

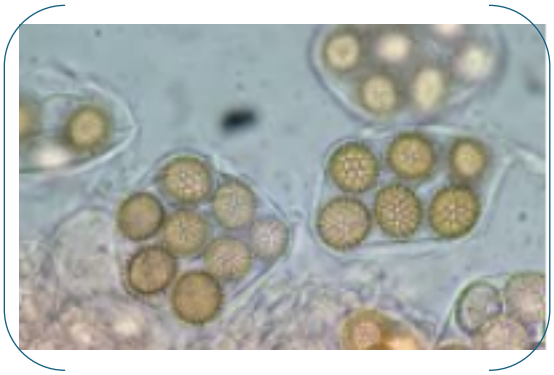
Están emparentados con los **basidiomicetos** (setas, boletos), ambos con células **dicarióticas** (dos núcleos) y **hifas septadas** (divididas por tabiques).

Representan el grupo de hongos **más numeroso** y diversificado, con una estructura celular compleja y una notable adaptación a todos los ecosistemas.




## 2. INTRODUCCIÓN DE LOS ASCOMICETOS

El nombre *Ascomycota* proviene del griego **"askos"**, que significa *saco* o *bolsa*, en referencia a las **ascas**, estructuras donde se forman las esporas sexuales (ascosporas).



Comprenden **aproximadamente 1.400 géneros y 65.000 especies**, lo que supone **alrededor del 50% de todos los hongos conocidos**.

Su pared celular contiene **quitina y β-glucanos**, lo que les confiere resistencia y elasticidad.

Ejemplos: **colmenillas (Morchella), trufas (Tuber), hongos copa, levaduras, líquenes.**

Son **cosmopolitas**, con presencia tanto en hábitats **terrestres** como **acuáticos**.

## 3. ESTRUCTURA GENERAL




Los ascomicetos pueden presentarse de varias formas:

- **Unicelulares** (como las levaduras): se reproducen por **gemación**.
- **Pseudomicelios:** células levuriformes unidas después de dividirse.
- **Filamentosos:** hifas que forman **micelio septado**, con **poros simples** entre las células, regulados por los **cuerpos de Woronin**, que taponan los poros en caso de daño.







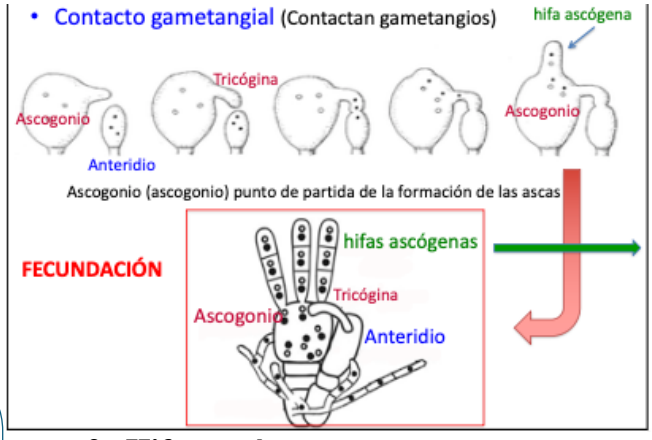
Estos hongos muestran una estructura **eucárpica**, es decir, parte de su cuerpo forma órganos reproductores mientras otra parte sigue creciendo vegetativamente.



## 4. REPRODUCCIÓN SEXUAL

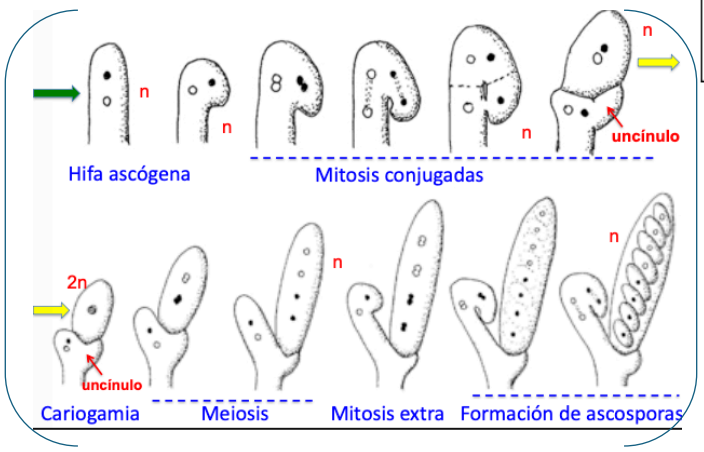
La reproducción sexual de los ascomicetos es compleja y se basa en la formación de **ascas**:

1. **Fecundación:**
   - Puede ser **isogamia** (gametos iguales), **espermatización**, **contacto gametangial** o **somatogamia**.
   - El **ascogonio** (órgano femenino) y el **anteridio** (masculino) se comunican mediante una **tricógina** (prolongación del ascogonio).
   - Los núcleos masculinos pasan al ascogonio y se **emparejan** sin fusionarse aún.



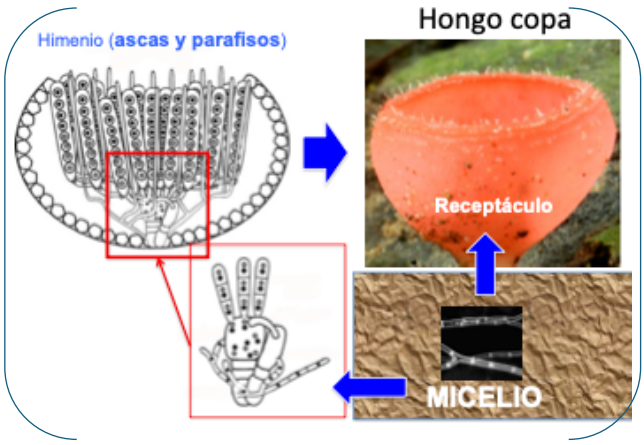

2. **Hifas ascógenas:**

De las células fecundadas surgen hifas dicarióticas que formarán las **ascas**, donde finalmente ocurre la **cariogamia** (fusión nuclear) seguida de **meiosis** y **mitosis**, dando origen a **8 ascosporas**.




3. **Ascocarpo o ascoma:**

El conjunto de ascas forma el **cuerpo fructífero**, que puede ser visible (como las colmenillas o trufas).




## 5. TIPOS DE ASCAS

Las **ascas** se clasifican según dos criterios:

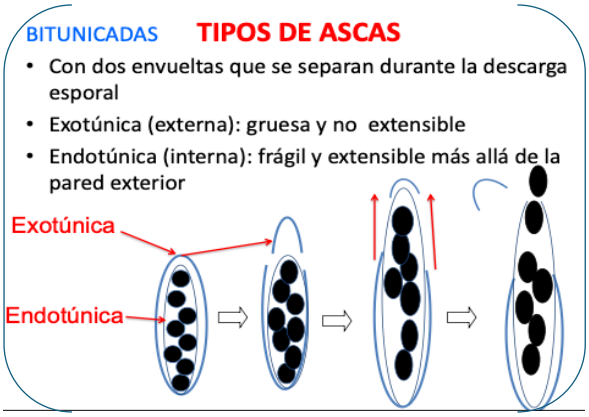
| CRITERIO | TIPOS | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| **Disposición de las ascosporas** | Ordenadas / Desordenadas | Según estén alineadas o no dentro del asca. |
| **Pared del asca** | **Prototunicada** | Pared fina; se rompe al liberar las esporas. |
| | **Unitunicada** | Una sola pared; libera esporas mediante un poro apical. |
| | **Bitunicada** | Dos capas (externa gruesa e interna extensible) que se separan durante la liberación. |







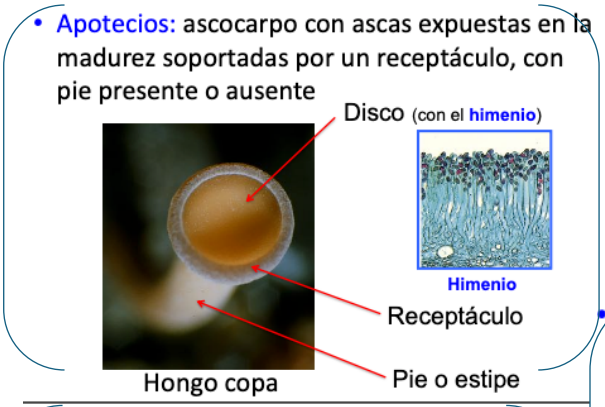





## 6. TIPOS DE ASCOCARPOS

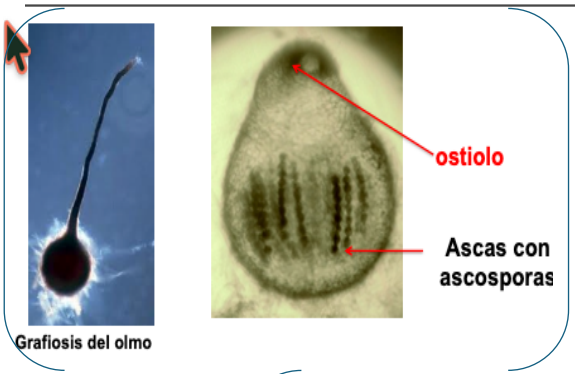
El **ascocarpo** es el cuerpo fructífero donde se agrupan las ascas. Puede ser:

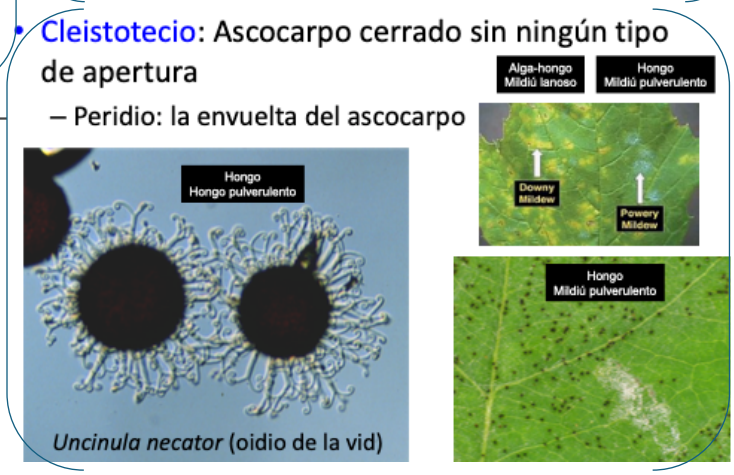
| TIPO DE ASCOCARPO | CARACTERÍSTICAS | EJEMPLO |
|---|---|---|
| **Apotecio** | En forma de copa abierta, con las ascas expuestas. | *Aleuria aurantia* (hongo naranja). |
| **Cleistotecio** | Cerrado, sin abertura visible. | *Uncinula necator* (oídio de la vid). |
| **Peritecio** | Cerrado, pero con un pequeño poro (**ostiolo**). | Hongo de la **grafiosis del olmo**. |
| **Ascostroma** | Con cavidades internas (**lóculos**) donde se forman las ascas. | *Claviceps purpurea* (cornezuelo del centeno). |












## 7. CICLOS BIOLÓGICOS Y COMPATIBILIDAD SEXUAL

Los ascomicetos son en general **haplontes** (su fase dominante es haploide), aunque pueden tener **fases dicarióticas** (n+n) (en levaduras no) antes de la formación del asco.

Existen especies:

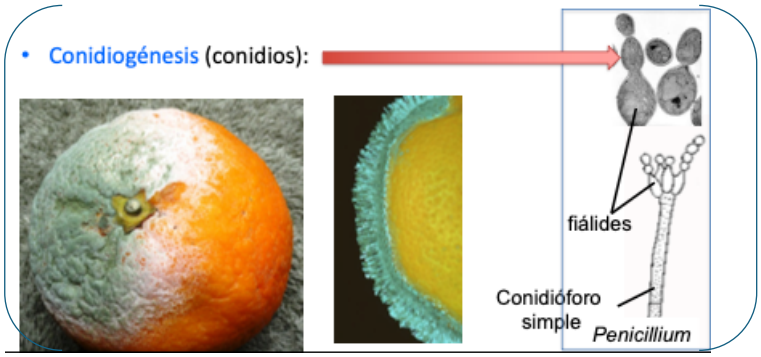
- **Homotálicas:** ambos sexos en el mismo micelio.
- **Heterotálicas:** sexos en micelios diferentes.
- **Anfitálicas:** con ambos comportamientos posibles.

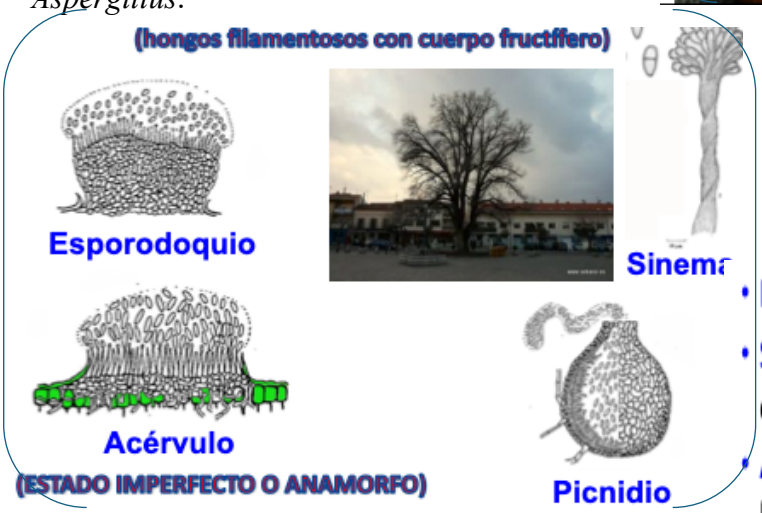
→ Su ciclo de vida incluye fases de **reproducción sexual y asexual**, que alternan según las condiciones ambientales.

## 8. REPRODUCCIÓN ASEXUAL

La reproducción asexual (estado **anamorfo**) se produce mediante:

- **Gemación:** en levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*.
- **Fisión binaria:** en *Schizosaccharomyces pombe*.
- **Fragmentación del micelio:** por rotura o formación de **artrosporas**.
- **Conidiogénesis:** formación de **conidios** (esporas asexuales) en estructuras llamadas **conidióforos**, típicas en *Penicillium* y *Aspergillus*.




Los conidios pueden organizarse en distintos tipos de cuerpos fructíferos:

**Esporodoquio**, **Sinema**, **Acérvulo** y **Picnidio**, según su forma y ubicación.

- Esporodoquio: cuerpo fructífero de forma almoadillada
- Sinema: cuerpo fructífero de forma pedicelada con con conidios situados en la parte apical
- Acérvulo: cuerpo fructífero situado bajo la epidermis del huésped
- Picnidio: cuerpo fructífero en forma de botella

## 9. COMPORTAMIENTO ECOLÓGICO

Los ascomicetos presentan distintos modos de vida:

| TIPO ECOLÓGICO | CARACTERÍSTICAS | EJEMPLOS |
|---|---|---|
| **Saprófitos** | Degradan materia orgánica muerta (hojas, madera, estiércol). | *Aspergillus*, *Penicillium*. |
| **Parásitos** | Infectan plantas o animales, causando enfermedades. | *Botrytis cinerea* (moho gris). |
| **Simbiontes** | Asociaciones mutualistas con otros organismos. | *Tuber melanosporum* (trufa negra) con raíces de encina; líquenes (ascomiceto + alga). |

**SAPRÓFITOS**

- Hongos de "vida libre" utilizan compuestos orgánicos procedentes de
  - residuos microbianos
  - plantas o animales muertos, o si vivos, se aprovechan de los exudados que difunden a su través.



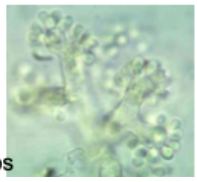


**PARÁSITOS**

- ❑ **Colonizan** la superficie o el interior de plantas/animales vivos (pero no se alimentan exclusivamente de sus exudados).
- ❑ Pueden ser **inocuos, o causar más o menos** daños, es decir, el hospedante enferma y el **parásito** recibe el nombre de **patógeno**.



- ***Botrytis cinerea*** (moho gris de la fruta)



conidios

**SIMBIOSIS MUTUALISTA**

***Tuber melanosporum***

- (trufa negra)

Micorrizas

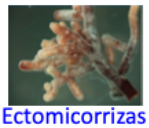




La trufa negra

Encina





Ectomicorrizas

**Líquenes**

- Generalmente un ascomiceto + alga/s



También existen **endófitos**, hongos que viven dentro de las plantas sin causarles daño aparente, aunque algunos pueden volverse patógenos.

Ejemplo: *Claviceps purpurea*, conocido popularmente como el cornezuelo es un hongo parásito con más de 50 especies. afecta a una gran variedad de cereales y hierbas, aunque su hospedante más común es el centeno. Cuando el núcleo del cornezuelo se deposita en la tierra permanece en estado letárgico o esclerocio hasta que se dan las condiciones propicias para medrar y pasar a la fase fructífera, en la que se desarrolla como una minúscula seta y libera las esporas fúngicas. Albert Hofmann, químico suizo, fue el primero en sintetizar, ingerir y experimentar los efectos psicotrópicos del LSD-25, mientras estudiaba los alcaloides producidos por el cornezuelo del centeno.

- **Simbiosis mutualista**

  ***Claviceps purpurea***



Albert Hofmann

- ❑ *Europa: Fuego sagrado, Fuego de San Antonio, ergotismo*
  - ❑ *Año 994 murieron 40.000 personas*
  - ❑ *Año 1951 (Francia) murieron 5 personas*
- ❑ *USA*
  - ❑ *Año 1692: ejecuciones por brujería (las brujas de Salem)*
- ❑ *Fases: gangrena, espasmos, delirios*
- ❑ *Alcaloides (LSD-25; LSD, ácido), derivado del triptófano*
- ❑ *Aplicaciones (compuesto nº 25 sintetizado por A. Hofmann)*
  - ❑ Obstetria: constricción de arterias, contracciones uterinas
  - ❑ Neurología: jaquecas (analgésico)
  - ❑ Psiquiatría

**Endófitos**

- Generalmente un ascomiceto + planta vascular
- *Claviceps purpurea*

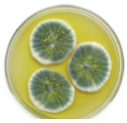




- ❑ *Festuca arundinacea*
  - ❑ Gramínea que cubre más de 15.000 $Km^2$ en USA.
  - ❑ Las plantas bien desarrolladas y no infectadas son buen pasto.
  - ❑ Las plantas infectadas provocan:
    - ❑ Baja actividad del ganado
    - ❑ Bajo apetito
    - ❑ Tendencia tumbarse el ganado en exceso
  - ❑ Si el animal sigue comiendo mal pasto, la sintomatología es:
    - ❑ Fiebre
    - ❑ Elevación moderada de peso
    - ❑ Disminución de leche
    - ❑ Disminución de fertilidad
    - ❑ Gangrena
    - ❑ A veces la muerte
  - ❑ Se descubrió en 1970 (Univ. Kentucky) su correlación con el endófito *Sphacelia typhina (Epichloe typhina)* y la presencia de alcaloides

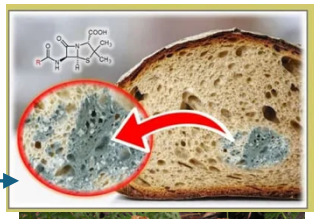


## 10. HONGOS BENEFICIOSOS


Algunos ascomicetos son esenciales en la industria:

- **Levaduras** (*Saccharomyces cerevisiae*) → microorganismos eucariotas unicelulares que pertenecen al reino de los hongos. Son vitales para la vida humana debido a su papel central en la **fermentación**, un proceso biológico que ha sido aprovechado durante milenios para la producción de alimentos y bebidas, como pan, vino, cerveza.

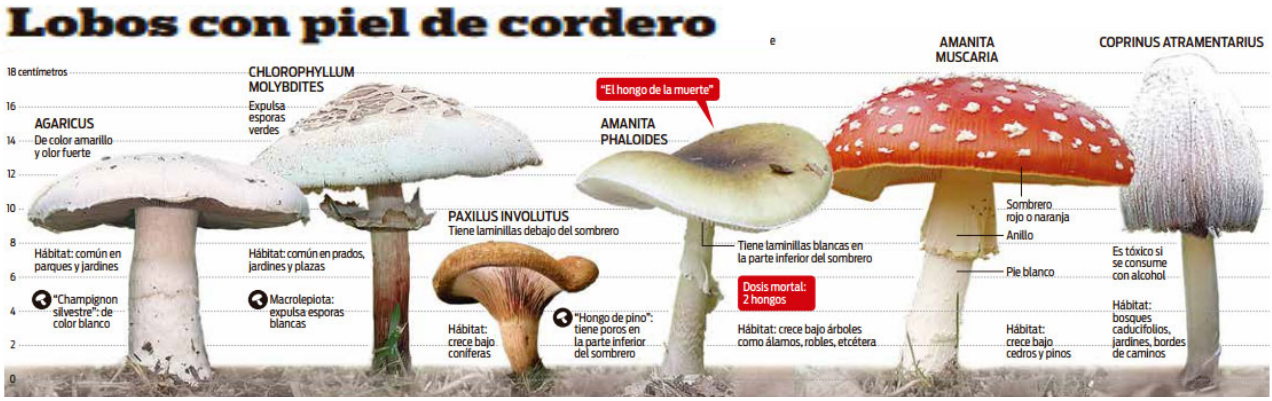


- **Penicillium** (*P. notatum*, *P. chrysogenum*) → hongos filamentosos, a menudo adquieren un color **azul, azul verdoso, verde** o gris oliva, con un reverso de color cremoso o amarillento. Utilizado para antibióticos y maduración de quesos.
- **Neurospora crassa** → comúnmente conocido como **moho rojo del pan**, famoso por ser un organismo modelo crucial en la genética y la biología molecular. Su nombre, que significa "espora nerviosa", hace referencia a las estrías características de sus esporas que se asemejan a axones.



- **Morchella esculenta** → colmenilla comestible, muy apreciado en la gastronomía, conocido por su sabor distintivo y su sombrero con forma de panal. Es importante destacar que **es tóxica si se consume cruda**, por lo que debe cocinarse adecuadamente o secarse previamente.

## 11. HONGOS PERJUDICIALES



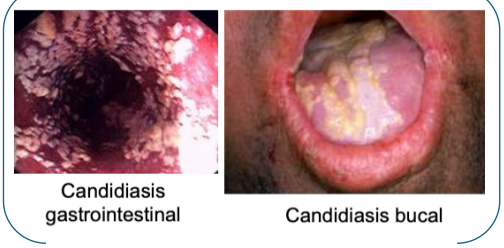

Los **hongos perjudiciales** abarcan una amplia gama de especies que pueden causar problemas significativos a los seres humanos, los animales y la agricultura, ya sea a través de infecciones, la producción de toxinas o el deterioro de recursos.

### ⇒ Perjudiciales para la Salud Humana

Muchos hongos pueden causar infecciones (micosis), que varían desde afecciones superficiales y comunes hasta enfermedades sistémicas graves, especialmente en personas con sistemas inmunológicos debilitados.

- **Infecciones Superficiales**:
  - ***Candida albicans***: Es un **hongo levaduriforme** que forma parte de la flora normal del ser humano. Vive en el tubo digestivo, la boca, la piel y la zona genital sin dar problemas… hasta que algo desequilibra ese ecosistema.
    Realmente no es peligrosa en sí misma; el problema aparece cuando se rompe el equilibrio entre el hongo y nuestras defensas, provocado por:
    Uso reciente de **antibióticos**. **Humedad** prolongada en la piel o mucosas. **Bajada de defensas**, estrés, u otras enfermedades. Alteraciones del pH (por ejemplo, en la zona genital). Diabetes mal controlada.
    En estos casos, la levadura pasa a una forma "filamentosa" más agresiva y coloniza los tejidos.
    Las infecciones más habituales:

Candidiasis oral: conocida como ***muguet*** y consiste en placas blancas en la lengua y boca.
Candidiasis cutánea: pliegues húmedos, axilas, ingles; piel roja y que pica.
Candidiasis genital: picor, enrojecimiento, flujo espeso.
Candidiasis intestinal: distensión, gases, digestiones pesadas (más discutido, pero ocurre).
En personas con inmunidad muy baja: **candidiasis invasiva** (grave).


Candidiasis gastrointestinal


Candidiasis bucal

Puede estar **relacionado con el agua de piscinas, spas y gimnasios**, pero la *Candida* no se "coge" del agua clorada. Lo que sí ocurre es que **la humedad continua y el calor** de spas, jacuzzis y vestuarios reblandecen la piel y alteran la microbiota. Y ese ambiente favorece que *Candida* —que ya vive en la piel— se dispare. Por eso mucha gente nota empeoramientos tras empezar a ir al spa.



- **Dermatofitos (ej. *Trichophyton*)**: Responsables del pie de atleta, la tiña y las infecciones de uñas (onicomicosis).

- **Infecciones Sistémicas Graves**:

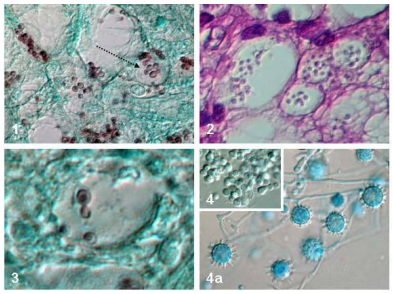


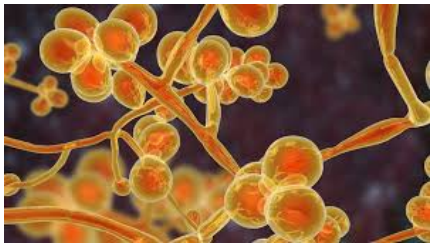
- ***Aspergillus fumigatus***: Un moho que puede causar aspergilosis invasiva, una infección pulmonar grave en pacientes inmunodeprimidos.



- ***Cryptococcus neoformans***: Hongo que puede causar meningitis fúngica, una inflamación peligrosa del tejido que rodea el cerebro y la médula espinal. Se trasxmite por inhalación de esporas presentes en el medio ambiente, especialmente en excrementos de palomas.

- ***Histoplasma capsulatum***: Hongo que causa la histoplasmosis (enfermedad pulmonar parecida a la tuberculosis) y se contrae al inhalar sus esporas. El hongo se encuentra en suelos húmedos ricos en materia orgánica, especialmente en excrementos de aves y murciélagos. La mayoría de las personas no presentan síntomas, pero en algunos casos pueden aparecer fiebre y tos. La gravedad depende de la salud inmunológica del individuo, y la infección puede diseminarse a otros órganos en personas inmunodeprimidas.





- ***Candida auris***: Es un **hongo emergente y multirresistente** a los medicamentos que representa una grave amenaza para la salud pública mundial, especialmente en entornos hospitalarios. Puede causar infecciones invasivas graves, incluyendo infecciones del torrente sanguíneo, y puede provocar la muerte en pacientes vulnerables.



- ***Mucorales***: Orden de hongos que se encuentran en el suelo y plantas en descomposición. Causantes de la mucormicosis, una infección rara pero agresiva que afecta a senos paranasales, cerebro o pulmones, especialmente en pacientes con diabetes mal controlada.

- **Hongos Tóxicos (Setas Venenosas)**

La ingestión de ciertas setas silvestres puede ser mortal. La mayoría de las muertes por envenenamiento por hongos son causadas por especies que contienen toxinas que dañan órganos vitales como el hígado o los riñones.

  - ***Amanita phalloides*** **("hongo de la muerte")**: Considerada la seta más peligrosa de mundo. Es responsable de la mayoría de las muertes por intoxicación con setas a nivel mundial, conteniendo amatoxinas letales que atacan específicamente el hígado y los riñones, causando insuficiencia hepática y renal fulminante que a menudo resulta mortal si no se trata a tiempo.

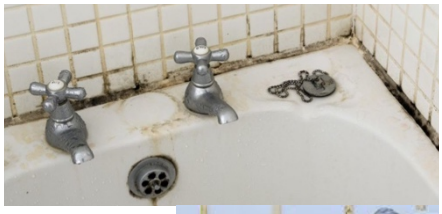




  - ***Cortinarius orellanus***: Es un hongo **altamente tóxico y potencialmente mortal**, conocido por causar insuficiencia renal aguda debido a la toxina orellanina y que requiere diálisis de por vida o un trasplante renal.

  - ***Cladosporium***: Es un género de hongos a base de mohos muy común en todo el mundo, conocido principalmente por ser uno de los alérgenos respiratorios más importantes y abundantes en el aire, tanto en interiores como en exteriores.

    Suelen tener un color que varía del **verde oliva al marrón o negro**. Están formados a base de hongos filamentosos que producen esporas (***conidios asexuales e inmóviles***) en cadenas, con una apariencia aterciopelada o cubierta de pelos.





    Es un hongo saprófito, lo que significa que descompone materia orgánica muerta. Se encuentra comúnmente en el suelo, vegetación, y en ambientes húmedos dentro de las casas, como baños, sótanos y cerca de las ventanas.

    La principal preocupación para la salud está relacionada con su potencial alergénico, sobre todo **alergias y asma**: Sus esporas son muy abundantes en la aire durante todo el año, con concentraciones máximas generalmente al final del verano y principios del otoño, y son una causa común de rinitis alérgica (fiebre del heno) y asma. Los síntomas alérgicos pueden incluir estornudos, picazón en los ojos, goteo nasal y dificultades respiratorias.

    Aunque no es un patógeno humano importante para la mayoría de las personas sanas, en climas cálidos o en individuos con sistemas inmunológicos debilitados, puede causar infecciones cutáneas, de uñas, senos paranasales, pulmones o, en casos raros, infecciones sistémicas graves (*feohifomicosis*).

⇒ **Perjudiciales para la Agricultura y Alimentos**

Los hongos causan miles de millones de dólares en daños a los cultivos y los alimentos almacenados cada año.



- **Patógenos de Plantas**:
  - **Roya (*Pucciniomycetes*) y carbones (*Ustilaginomycetes*)**: Son tipos de hongos parásitos de plantas que se clasifican dentro de los **Basidiomicetos**

(grupo de hongos que reúne más de treinta mil especies consideradas superiores por su complejidad morfológica y la presencia de basidios, característica principal que define su identificación y clasificación taxonómica). Las **royas** causan pústulas y manchas en las hojas y tallos, mientras que los **carbones** reemplazan el grano de las plantas por masas de esporas de color negro y olor a podrido. Causan enfermedades devastadoras en cultivos de cereales como el trigo y la avena.






- **Oídio y mildiú**: Enfermedades fúngicas que afectan a una amplia gama de plantas, debilitándolas y reduciendo el rendimiento. El **oídio** se presenta como un **polvo blanco y polvoriento en la superficie superior de las hojas**. El **mildiu** provoca **manchas amarillas en el haz de las hojas y un moho grisáceo o morado en el envés**. Para controlarlos, se recomienda mejorar la ventilación, reducir la humedad y aplicar tratamientos específicos.



- **Deterioro y Micotoxinas**:
  - ***Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.** y ***Fusarium* spp.**: Crecen en cereales, frutos secos, frutas y especias, causando deterioro y produciendo **micotoxinas** (como las aflatoxinas o la ocratoxina A), compuestos tóxicos que son perjudiciales para la salud humana y animal si se consumen.

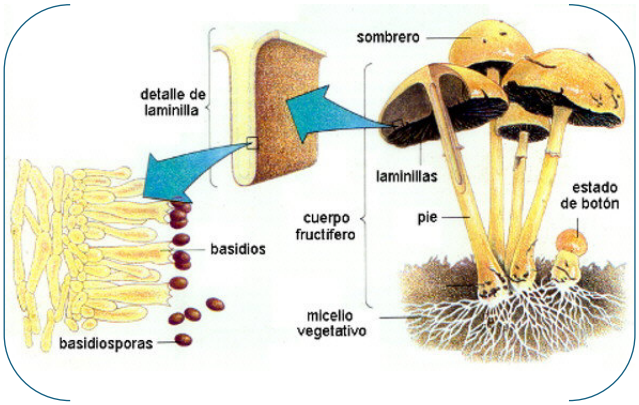
# TEMA 3 – BASIDIOMICETOS

## 1. SITUACIÓN DE LOS BASIDIOMICETOS EN LOS HONGOS

Los **basidiomicetos** pertenecen al **Reino Fungi**, dentro de los **Eucariotas**, y se agrupan en el gran conjunto de los **hongos dicarióticos**, junto con los **ascomicetos**.

Su rasgo distintivo es la presencia de **basidios**, estructuras donde se forman las **basidiosporas**, que son el resultado final de la reproducción sexual.

Este grupo comprende **setas, boletos, royas, carbones, hongos de la madera, gelatinosos y pedos de lobo**.




## 2. INTRODUCCIÓN

El **Phylum Basidiomycota** incluye desde **ciertas levaduras sin cuerpo fructífero** hasta los **hongos más conocidos** del medio natural.

Las principales formas son:

- **Setas y hongos esponja** (*Boletus*, *Agaricus*),
- **Hongos lignícolas** o de la madera (*Trametes*, *Ganoderma*),
- **Royas y carbones**, que son **parásitos vegetales**,
- **Pedos de lobo y falos**, de formas singulares.



## 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES




Son **hongos pluricelulares**, con hifas **septadas** (divididas por tabiques) y **pared de quitina**.

Poseen:

- **Núcleos haploides** durante gran parte de su vida,
- **Fase dicariótica prolongada** (dos núcleos por célula),
- **Anastomosis** (comunicación entre hifas),
- Estructuras reproductoras muy organizadas (basidiocarpos).




Existen unas **25.000 especies descritas**, aunque se calcula que representan sólo el **68% de las existentes**, con fósiles que datan de **hace unos 290 millones de años**.

## 4. REPRODUCCIÓN SEXUAL Y FUNCIÓN ECOLÓGICA

En el **basidio** ocurre la **cariogamia** (fusión nuclear) seguida de **meiosis**, de la cual resultan **cuatro esporas haploides**.

Cada espora origina un **micelio primario** que luego se fusiona con otro compatible.



Ecológicamente, los basidiomicetos pueden ser:

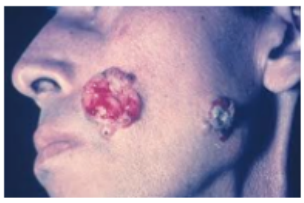
- **Saprófitos** (degradan madera y restos orgánicos),
- **Parásitos** (royas y carbones),
- **Simbiontes micorrícicos** (asociados a raíces de árboles).




## 5. IMPORTANCIA MÉDICA

Algunos basidiomicetos son **patógenos o tóxicos**:

- **Cryptococcus neoformans** levadura que causa **meningitis criptocócica**, problemas pulmonares, al SNC, problemas cutáneos (úlceras, petequias), etc. sobre todo en personas inmunodeprimidas.






Coprinus cinereus


Schizophyllum commune

- **Coprinus cinereus** y **Schizophyllum commune** producen **basidiomicosis pulmonares**.

- **Amanita phalloides**, **Lepiota bruneoincarnata**, **Coprinus atramentarius** y **Psilocybe cubensis** provocan **intoxicaciones graves o alucinaciones**, algunas con **efectos nefrotóxicos reversibles** (casos registrados en Navarra 2008 y Sigüenza 2016).


Amanita proxima


Amanita phalloides


Lepiota bruneoincarnata


Psilocybe cubensis

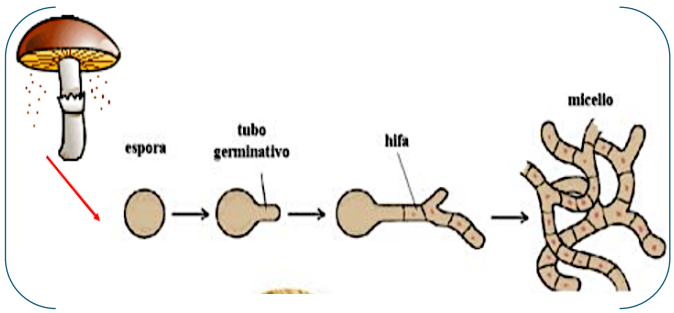
## 6. CICLO BIOLÓGICO

El ciclo vital es complejo y alterna tres tipos de micelio:

| TIPO DE MICELIO | CARACTERÍSTICAS | ESTADO NUCLEAR |
|---|---|---|
| **Primario** | Formado tras la germinación de la espora. | *Monocariótico* (n) |
| **Secundario** | Surge por fusión de dos hifas compatibles; presenta **fíbulas** (asas de anastomosis) que mantienen los núcleos emparejados. | *Dicariótico* (n+n) |
| **Terciario** | Forma el cuerpo fructífero o **basidiocarpo**. | *Dicariótico* |

⇒ **Desarrollo de la Estructura Somática del Hongo**

En este diagrama se muestra el proceso de crecimiento, desde el inicio de la vida de un hongo hasta la formación de la red que absorbe los nutrientes.




**1. Espora (Inicio)**

El proceso comienza con una **Espora**.

- La espora es la célula reproductora **haploide** de los hongos (similar a una semilla, pero más simple).
- Es la unidad de dispersión, liberada por el cuerpo fructífero (como un hongo visible).

**2. Germinación**

Cuando las condiciones ambientales son favorables (humedad, temperatura y nutrientes adecuados), la espora **germina**.

- La germinación implica la hinchazón de la espora y la **emergencia de un tubo germinativo**.
- Este tubo germinativo se divide y crece para formar la estructura filamentosa inicial.

**3. Hifas (Crecimiento Filamentoso)**

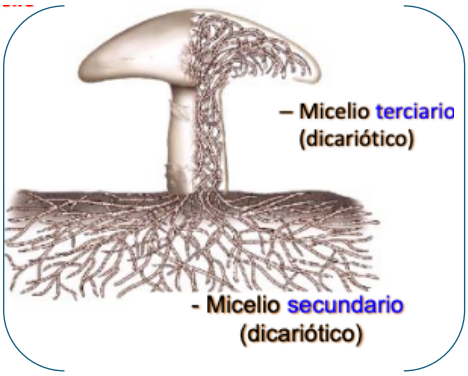
El tubo germinativo se desarrolla en filamentos llamados **hifas**.

- Las **hifas** son las unidades estructurales fundamentales de los hongos. Son filamentos tubulares y ramificados que crecen por el ápice (punta).
- A medida que la hifa crece y se ramifica, forma la estructura primaria para la búsqueda y absorción de nutrientes.

**4. Micelio (La Red Nutricional)**

El crecimiento, la ramificación y la interconexión de las hifas dan lugar a una masa densa y compleja conocida como **micelio**.

- El **micelio** es el "cuerpo" vegetativo principal del hongo, una red de filamentos (hifas) que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo. La mayor parte del micelio se encuentra enterrado en el sustrato (suelo, madera, alimento), actuando como una red de alimentación y anclaje.
- Es la parte del hongo responsable de secretar enzimas digestivas y **absorber los nutrientes** del entorno.




Existen dos tipos de micelio: **primario** y **secundario**. Su distinción es fundamental en la micología, especialmente en los hongos que forman basidiosporas (Basidiomycota), como los hongos de sombrero comestibles. Esta clasificación se basa en la **ploidía** (el número de conjuntos de cromosomas) de las células que componen las hifas.

Veamos cada uno de ellos:

⇒ **Micelio Primario (*n*)**

El micelio primario es el **primer estadio de crecimiento** de un hongo después de la germinación.

- **Ploidía:** Es **monocariótico** (*n*), lo que significa que cada célula o compartimento de la hifa contiene **un solo núcleo** haploide (*n*).
- **Formación:** Se desarrolla cuando una **espora** haploide (*n*) germina y produce una hifa.
- **Función:** Su función principal es el **crecimiento** y la **búsqueda de pareja** (apareamiento). Debido a que solo tiene un núcleo haploide, no es capaz de formar cuerpos fructíferos (hongos) por sí mismo.
- **Vida Útil:** Es típicamente de **vida corta**. Una vez que encuentra una hifa compatible de otro micelio primario, se fusiona para iniciar el siguiente estadio.

⇒ **Micelio Secundario (n+n)**

El micelio secundario es la fase vegetativa **dominante** y **duradera** del ciclo de vida de muchos hongos, especialmente los Basidiomycota.

- **Ploidía:** Es **dicariótico** (*n* + *n*), lo que significa que cada célula o compartimento de la hifa contiene **dos núcleos haploides genéticamente distintos** (uno de cada progenitor) que coexisten sin fusionarse.
- **Formación:** Se forma mediante la **plasmogamia** (fusión del citoplasma) entre dos micelios primarios genéticamente compatibles.
- **Función:** Esta es la fase que posee la **capacidad de formar cuerpos fructíferos** (el hongo visible). Los dos núcleos haploides se mantienen separados, dividiéndose sincrónicamente.

- **Estructuras:** En muchas especies de Basidiomycota, el micelio secundario presenta **fíbulas** (conexiones en forma de gancho) que aseguran que cada célula reciba un núcleo de cada tipo durante la división.



El **micelio secundario** es el más duradero; puede persistir durante años, incluso siglos, y originar fructificaciones anuales. Ejemplo: los **corros de brujas**, círculos de setas que aparecen sobre el suelo donde el micelio se expande radialmente.

⇒ **Resumen y Transición Clave**

La transición del micelio primario al secundario es un paso crucial en la vida del hongo, ya que es el que confiere la capacidad de reproducción sexual.

| CARACTERÍSTICA | MICELIO PRIMARIO | MICELIO SECUNDARIO |
|---|---|---|
| **Ploidía** | Monocariótico ($n$) | Dicariótico ($n + n$) |
| **Núcleos por Célula** | Uno | Dos distintos |
| **Función Principal** | Búsqueda de pareja | Formación del cuerpo fructífero |
| **Estructuras Asociadas** | Ninguna especial | Fíbulas (en Basidiomycota) |

La **fusión nuclear (cariogamia)** de estos dos núcleos ($n + n \rightarrow 2n$) solo ocurre mucho después, justo antes de la formación de esporas en el basidio, marcando el breve estadio diploide ($2n$) del ciclo de vida.

## 7. COMPATIBILIDAD SEXUAL

Los basidiomicetos pueden ser:

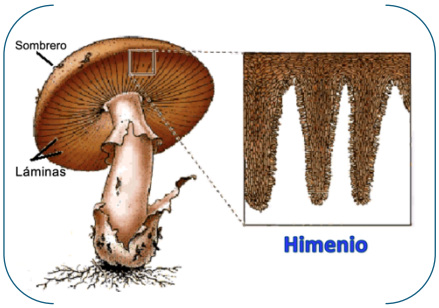
- **Homotálicos:** un solo micelio es fértil.
- **Heterotálicos:** necesitan dos micelios compatibles para reproducirse sexualmente.
  - Si sólo hay dos tipos sexuales → **heterotalismo bipolar**.
  - Si hay más de dos → **heterotalismo tetrapolar**.

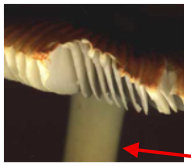



El sistema de compatibilidad regula la **interfertilidad**, impidiendo cruces entre micelios genéticamente idénticos.

## 8. EL BASIDIOCARPO O BASIDIOMA

El **basidiocarpo** o **basidioma** es el **cuerpo fructífero sexual** (es decir, la estructura visible del hongo, lo que llamamos seta). La función primordial del basidiocarpo es albergar, proteger y dispersar las esporas sexuales.





Puede coexistir con fases asexuales, separadas en el tiempo o en el espacio.

En las setas típicas, los **basidios** se hallan en el **himenio**, que recubre las **láminas** del sombrero.

En el **basidio** se forman las **basidiosporas**, que se desprenden mediante una **gota hilar** y son liberadas al aire.

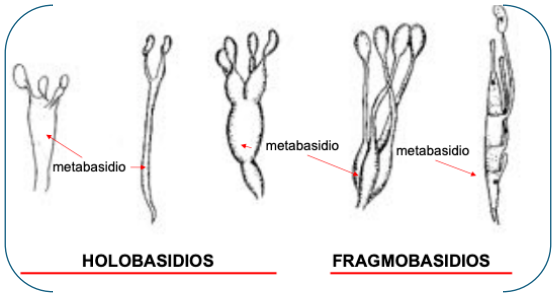
Este proceso está regulado por el **geotropismo**: las láminas se orientan verticalmente para facilitar la dispersión.

**https://youtu.be/ViL1uX4vRvk**

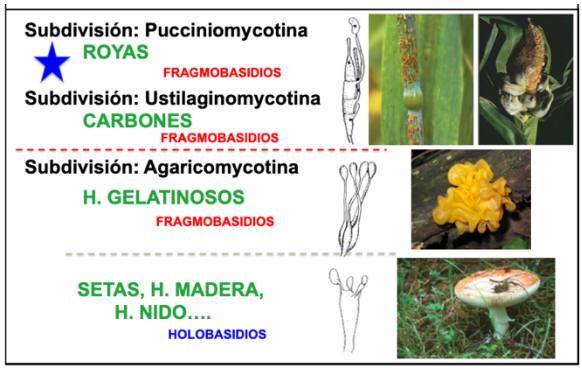
## 9. CLASIFICACIÓN GENERAL

Los basidios pueden ser:

- **Holobasidios:** no divididos (setas comunes).
- **Fragmobasidios:** divididos por tabiques (royas, carbones, hongos gelatinosos).




Según esto, los basidiomicetos se agrupan en tres **subdivisiones principales**:




| SUBDIVISIÓN | EJEMPLOS | TIPO DE BASIDIO |
|---|---|---|
| **Pucciniomycotina** | Royas (parásitos vegetales) | Fragmóbasidios |
| **Ustilaginomycotina** | Carbones (hongos del maíz y cereales) | Fragmóbasidios |
| **Agaricomycotina** | Setas, hongos de la madera, hongos nido | Holobasidios |

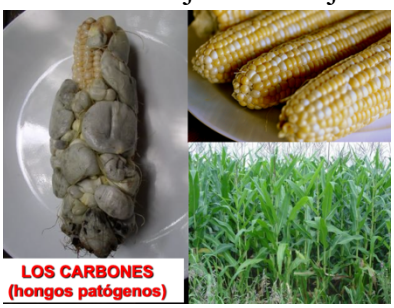
## 10. ROYAS Y CARBONES

- **Puccinia menthae** (roya de la menta) y otras *Puccinia* son patógenos que provocan manchas anaranjadas en hojas.





*Puccinia menthae*




- Los **carbones** (*Ustilago maydis*) infectan cereales y forman masas negras de esporas.

## 11. HONGOS GELATINOSOS

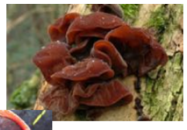
En la **subdivisión Agaricomycotina** encontramos hongos con basidios variables:



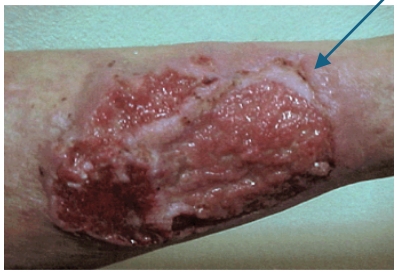



- *Tremella fuciformis*, conocido como "hongo de nieve", usado en gastronomía oriental.
- *Auricularia auricula-judae*, "oreja de Judas", de textura gelatinosa y comestible.
- *Cryptococcus neoformans*, una **levadura encapsulada** perteneciente al mismo grupo, causante de **criptococosis,** infección pulmonar y meníngea, virulenta a 37ºC. Común en estiércol de paloma.





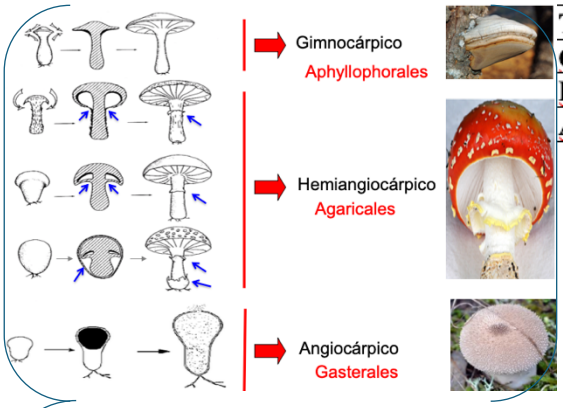




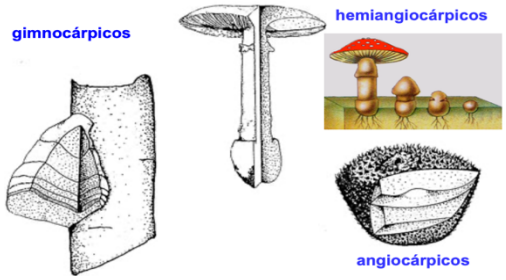


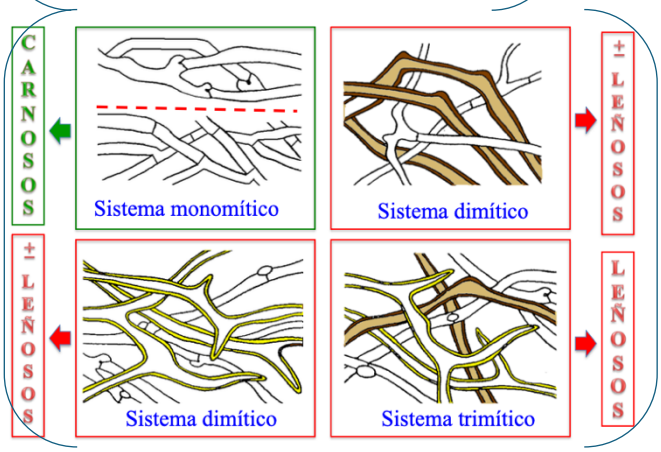
## 12. TIPOS DE BASIDIOCARPOS Y SISTEMAS DE HIFAS

Los basidiocarpos se clasifican según el desarrollo del himenio:




| TIPO | EJEMPLO |
|---|---|
| **Gimnocárpico** (expuesto) | *Aphyllophorales* |
| **Hemiangiocárpico** (parcialmente cubierto) | *Agaricales* |
| **Angiocárpico** (cerrado) | *Gasterales* |




Los sistemas de hifas pueden ser:

- **Monomítico:** solo hifas generativas (setas blandas).
- **Dimítico:** hifas generativas y esqueléticas (más resistentes).
- **Trimítico:** tres tipos de hifas, confiriendo dureza (hongos leñosos).

**1. Aphyllophorales (Hongos sin Láminas)**

- **Características:** Este orden (aunque a menudo reestructurado taxonómicamente) tradicionalmente agrupa a los hongos que **no tienen láminas** (branquias) como superficie de esporulación.
- **Himenio:** Puede ser liso, con pliegues, con dientes, o formar **poros** (como los Políporos o "setas de repisa" que se ven creciendo en el árbol en la imagen).
- **Ejemplo:** Políporos, setas cornudas (Clavarioides).

**2. Agaricales (Hongos de Sombrero Clásico)**

- **Características:** Es el orden más numeroso y conocido. Incluye a la mayoría de los hongos que tienen la estructura clásica de **sombrero y pie** bien diferenciados.
- **Himenio:** Casi siempre presentan **láminas** (agallas) bajo el sombrero (de ahí el nombre del género *Agaricus*, que incluye el champiñón común).
- **Ejemplo:** Champiñones (*Agaricus*), Amanitas, setas de cardo, y muchos otros hongos comestibles y venenosos. La imagen central inferior muestra un *Boletus*, que aunque a menudo se clasifica en Boletales (relacionado con Agaricales), mantiene la forma de sombrero y pie.

**3. Gasterales (Hongos de Vientre)**

- **Características:** Se caracterizan porque las esporas se forman **dentro** de una envoltura o estructura cerrada, y **no son dispersadas activamente** (como lo son las esporas de los Agaricales o Aphyllophorales).



La dispersión requiere la ruptura de esta envoltura (por el viento, la lluvia o animales).

- **Himenio:** Está contenido en el interior del cuerpo fructífero.
- **Ejemplo: Hongos bejines** (o cuescos de lobo) y **hongos estrella de tierra** (como el que se ve en la imagen superior derecha). Al tocarlos, liberan un "polvo" que son las esporas.

Estos hongos suelen crecer en el suelo y se encuentran en muchas partes del mundo.

## 13. Aphyllophorales (hongos de la madera)

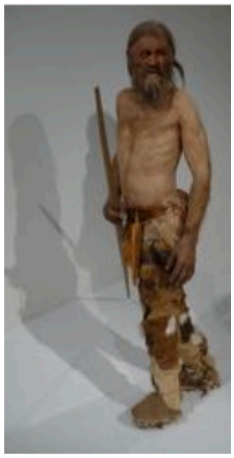



Incluyen especies **saprófitas** y **patógenas** que descomponen madera y reciclan carbono.

Provocan **podredumbre blanca o marrón**.

Algunos, como *Ganoderma* o *Phellinus pini*, son muy persistentes (fructifican durante años) y pueden **destruir estructuras de madera** en edificios.



Esta imagen conecta la **micología** con la **arqueología** y la **medicina ancestral**.

Se trata del hallazgo de **Ötzi, el Hombre de Hielo del Tirol** (*Tyrolean IceMan*), el cuerpo momificado de un hombre que vivió durante la **Edad de Cobre** (hace unos **5,300 años**). Fue descubierto en 1991 en los Alpes de Ötztal, cerca de la frontera entre Austria e Italia.

Su cuerpo está notablemente conservado en el hielo, junto con su vestimenta y herramientas, y ha ofrecido una ventana única a la ciencia.

La parte inferior de la imagen muestra el hallazgo crucial que estaba junto a Ötzi: **dos basidiocarpos** (cuerpos fructíferos) de un hongo conocido como ***Piptoporus betulinus*** (hoy reclasificado como ***Fomitopsis betulina***).

Se ven dos piezas de este hongo, duro y leñoso, atravesadas por correas de cuero. Esto sugiere que Ötzi los llevaba consigo de forma intencionada y práctica

El *Piptoporus betulinus* es conocido comúnmente como el **hongo de abedul** (o políporo del abedul), ya que crece exclusivamente en árboles de abedul.

**¿Para qué usaba Ötzi estos hongos?**

Se plantea que los llevaba para **fines medicinales**, basados en las propiedades conocidas de este hongo:

- **Propiedades Antiparasitarias:** Análisis han revelado que Ötzi padecía **parásitos intestinales** (como *Trichuris trichiura*). El *Piptoporus betulinus* contiene **ácido poliporénico**, un compuesto que tiene propiedades **laxantes** y se ha demostrado que es **tóxico para los parásitos** intestinales.
- **Propiedades Antibióticas y Curativas:** Históricamente, este hongo se ha utilizado por sus propiedades **antisépticas** y para **detener hemorragias** al ser aplicado tópicamente, debido a su textura parecida al corcho.
- **Hongo del Yesquero (*Fomes fomentarius*):** Aunque no es el que se ve atado, Ötzi también portaba otro hongo, el **hongo del yesquero** (*Fomes fomentarius*), que se utiliza para iniciar y transportar el fuego, demostrando que llevaba varios hongos con fines utilitarios específicos.

Por todo ello, se puede sugerir por la presencia de estos hongos que Ötzi no solo era un cazador-recolector, sino que también tenía un conocimiento práctico y avanzado para su época de la **medicina etnobotánica** o ***etnomicológica***.

## 14. FORMAS MICORRÍCICAS

Existen especies micorrícicas como:



*Ramaria* (hongos coralinos).




*Cantharellus cibarius* (rebozuelo).



*Amanita phalloides* (también micorrícica pero tóxica).

## 15. AGARICALES

| GRUPO | EJEMPLO | COLOR DE ESPORADA |
|---|---|---|
| Leucospóreos | *Amanita muscaria* | Blanca |
| Melanospóreos | *Coprinus comatus* | Negra |
| Ocrospóreos | *Pholiota aegerita* | Ocre |
| Rodospóreos | *Pluteus*, *Volvaria* | Rosa |
| Iantinospóreos | *Agaricus bisporus*, *Psilocybe cubensis* | Pardo violáceo |

Estas son las **setas típicas** (existen unas 10.000 especies).

Estructura básica: **sombrero, láminas, pie, anillo y volva**.

El himenóforo puede ser **laminar o tubular**, con diversos colores de **esporada** (blanca, negra, ocre, rosada o marrón).

Leucospóreos




Melanospóreos

Coprinus comatus





Ocrospóreos



Pholiota aegerita



Iantinospóreos

Agaricus bisporus



Psilocybe cubensis





Rodospóreos



Volvaria

Pluteus

## 16. GASTERALES

Son los **basidiomicetos cerrados**: *pedos de lobo*, *hongos nido*, *estrellas de tierra*, *Pisolithus*, y el llamativo *Phallus impudicus*, de olor fétido.






*Pisolithus*




## CONSERVACIÓN Y ESPECIES PROTEGIDAS

Diversos estudios (Egli et al., 2006; Arnolds, 2008) concluyen que **la recolección controlada de setas no afecta a la producción futura**, salvo que se destruya el micelio.

En Europa se elaboran **listas rojas de hongos amenazados**, y existen **normas legales de recolección** (cotos micológicos, licencias de consumo y venta).



La conservación se centra en tres ejes:

1. Estudio de la biodiversidad.
2. Protección de especies y hábitats.
3. Gestión sostenible de los ecosistemas forestales.

⇒ **Normativa y Regulación de la Recolección de Setas**

La recolección de setas no es libre y está sujeta a **normativas locales y autonómicas** en España, con el fin de garantizar la sostenibilidad del recurso y la protección del ecosistema.

⇒ **Licencias y Permisos**

- **Permiso Individual:** En muchas comunidades autónomas y comarcas, es obligatorio obtener un **permiso o licencia** para recolectar setas, especialmente en montes de utilidad pública.
- **Tipo de Recolección:** Los permisos suelen distinguir entre la recolección **recreativa** (limitada a una cantidad pequeña por persona y día, típicamente 1-5 kg) y la recolección **comercial** (con mayores límites y tasas más altas).
- **Zonas Reguladas:** Algunas zonas o parques naturales pueden tener prohibiciones totales o restricciones muy estrictas para la recolección.

⇒ **Técnicas de Recolección Sostenible**

Es crucial seguir estas prácticas para no dañar el micelio (el cuerpo del hongo que está bajo tierra):

- **Corte o Giro:** Se recomienda cortar el pie del hongo con un cuchillo a ras del suelo o girarlo suavemente para separarlo, asegurándose de no arrancar el micelio.
- **Cesta de Mimbre/Rejilla:** Es obligatorio usar una **cesta que permita la aireación y la caída de esporas** (como las de mimbre o rejilla), lo que facilita la dispersión y la futura reproducción del hongo. **Nunca** deben usarse bolsas de plástico, ya que retienen la humedad, dañan las setas y asfixian las esporas.
- **Limpieza *in situ*:** Limpiar la tierra y los residuos del pie de la seta en el lugar de la recolección ayuda a devolver las esporas al suelo.
- **No Remover el Suelo:** Evitar remover el suelo, la hojarasca o el musgo más de lo estrictamente necesario.

### ⇒ Especies de Setas Protegidas y Prohibidas

El aspecto más crítico de la normativa es la protección de ciertas especies de setas, ya sea por su escasez, su importancia ecológica o su interés micológico.

**1. Setas Estrictamente Protegidas**

Hay especies que están catalogadas como **"en peligro de extinción"** o **"vulnerables"** en los Catálogos Regionales o Nacionales de Especies Amenazadas. La recolección, manipulación o incluso la posesión de estas especies está **totalmente prohibida** y puede conllevar grandes sanciones.
Aunque las listas varían por comunidad, algunos ejemplos de géneros que incluyen especies protegidas o en revisión son:

- ***Amanita*** (ciertas especies raras, no necesariamente las tóxicas comunes).
- ***Cortinarius*** (muchas especies son raras y difíciles de identificar).
- ***Geastrum*** (estrellas de tierra, protegidas en algunas áreas).

**2. Especies de Interés Ecológico (Tóxicas y No Comestibles)**

Aunque no estén legalmente protegidas, la normativa siempre insta a:

- **Respetar las setas Tóxicas y No Comestibles:** No deben destruirse ni patearse. Cumplen una función esencial en el ecosistema, ya sea descomponiendo materia orgánica o formando **micorrizas** (asociaciones simbióticas con las raíces de los árboles que son vitales para el bosque).
- **Setas poco Comunes:** En caso de duda sobre la identificación de una especie, siempre se debe dejar en su lugar para que complete su ciclo vital.

### ⇒ Seguridad: El Riesgo de Confusión

La regla de oro para cualquier recolector de setas es: **"Si no estás 100% seguro de la especie, no la recojas ni la consumas."**

La confusión entre especies comestibles y tóxicas es la principal causa de intoxicación. Por ejemplo, la mortal **Oronja Verde** (*Amanita phalloides*) a menudo se confunde con el champiñón (*Agaricus*) o la oronja (*Amanita caesarea*), y la presencia de la **volva** es un signo distintivo crucial en su identificación.

Para una recolección segura y legal, es fundamental consultar la **normativa específica** de la provincia o municipio donde se planea realizar la actividad.

---

# TEMA 4. 1 – ASPECTOS NUTRICIONALES Y RELACIÓN DE LOS HONGOS CON OTROS ORGANISMOS

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los hongos son **organismos eucariotas y heterótrofos**, es decir, no producen su propio alimento (carecen de clorofila) y se nutren **por absorción**.

Su estructura corporal está formada por **hifas**, filamentos microscópicos que constituyen una red llamada **micelio**.

Pueden ser **unicelulares** (levaduras) o **filamentosos** (como la mayoría de los mohos y setas).

La pared celular contiene **quitina**, y su reproducción puede ser **asexual** (esporas simples) o **sexual** (ascosporas o basidiosporas).

En función de cómo obtienen los nutrientes, los hongos se clasifican en tres tipos:

- **Saprófitos o saprobios:** viven sobre materia muerta.
- **Parásitos:** obtienen alimento de un organismo vivo al que perjudican.
- **Simbióticos (micorrícicos, líquenes, endófitos):** viven en asociación mutualista con otros seres.

## CLASIFICACIÓN NUTRICIONAL Y COMPORTAMIENTO

Los hongos **saprófitos** son los principales **recicladores del ecosistema**: degradan materia orgánica compleja, como la madera, devolviendo nutrientes al suelo.



Saprófitos



Micorrícicos




Los **micorrícicos** establecen relaciones de **mutualismo con las raíces de las plantas**, intercambiando agua y minerales por azúcares.

Los **parásitos** (obligados o facultativos) invaden tejidos vivos.

Su importancia es enorme:

- **En la industria alimentaria:** fermentaciones, producción de bebidas, quesos, enzimas.
- **En medicina:** antibióticos, inmunosupresores, fármacos.
- **En ecología:** reciclaje de carbono y control biológico.
- **En la historia y etnomicología:** usos tradicionales, tóxicos o psicoactivos.

## HONGOS SAPRÓFITOS

Los hongos saprófitos son **de vida libre**, y utilizan materia orgánica de origen vegetal o animal.

En los bosques, degradan **restos lignocelulósicos** (madera y hojas), desempeñando un papel esencial en la **formación del humus**.

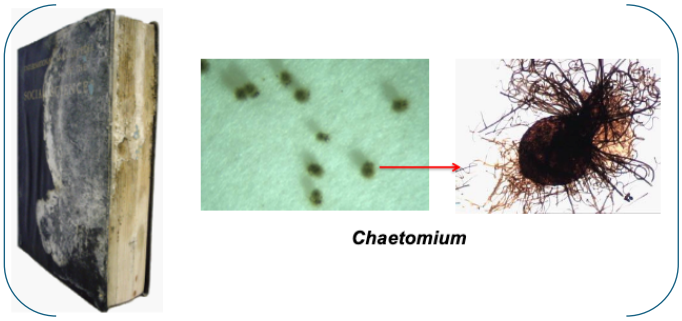
Sin embargo, su acción también puede ser **perjudicial** o **beneficiosa**:



| TIPO | EJEMPLO / EFECTO |
|---|---|
| **Perjudiciales** | *Cladosporium* deteriora alimentos y objetos almacenados; *Chaetomium* daña libros y textiles. |
| **Beneficiosos** | *Phanerochaete* y *Chrysosporium* degradan contaminantes; *Tolypocladium inflatum* produce ciclosporina; *Saccharomyces cerevisiae* genera etanol y $CO_2$. |

## → Perjudiciales (actividad enzimática)

- Comida (pan, frutas, vegetales, etc.), disminuyendo el valor nutricional y la **palatabilidad** (cualidad de un alimento que lo hace agradable y apetitoso al paladar), e incluso a veces produciendo micotoxinas.
  - Ejemplo: Cepas de *Cladosporium* atacan a la carne almacenada a 6ºC, plantas generando volátiles olorosos.
- Ropa, pintura, piel, ceras, hidrocarburos, películas fotográficas, cubren lentes de equipos ópticos, etc.
- Especies de *Chaetomium* tienen el punto óptimo a 50ºC (y se desarrollan hasta los 60ºC).




## → Beneficiosos (actividad enzimática)

- Bosque (enzimas lignocelulósicas).
- Vino, *Sacharomyces cerevisiae* (etanol y CO2).
- Degradación de compuestos orgánicos tóxicos, *Phanerochaete, Chrysosporium*.
- Obtención de la ciclosporina (evitar el rechazo de trasplantes, *Tolypocladium inflatu* (hongo del suelo).
- Aromas de quesos, antibióticos, etc.
- Generalmente fáciles de cultivar (pocos requerimientos nutricionales).

## ESTRUCTURAS SOMÁTICAS (HIFAS)

A partir de aquí nos vamos a introducir en **la base estructural del cuerpo del hongo**, imprescindible para entender **cómo se alimenta**, **cómo crece** y **por qué puede degradar sustratos tan resistentes como la madera**.

⇒ **Qué son las hifas**

Las **hifas** son **filamentos microscópicos**, alargados y tubulares, que constituyen la **estructura básica del cuerpo vegetativo del hongo**.

Características fundamentales:

- Son **estructuras eucariotas** (con núcleo).
- Crecen **por el extremo apical** (la punta).
- Su pared celular es rica en **quitina**.
- En conjunto forman una red llamada **micelio**, que es el verdadero "cuerpo" del hongo.

Idea clave:

👉 **La seta NO es el hongo**; es solo el órgano reproductor.

👉 **El micelio (hifas) es el hongo**.

⇒ **Función de las hifas en la nutrición**

Desde el punto de vista nutricional, las hifas cumplen tres funciones esenciales:

1. **Exploración del sustrato**
   - Las hifas se introducen en el suelo, la madera o el alimento.
   - Pueden penetrar grietas microscópicas inaccesibles para otros organismos.
2. **Digestión externa**
   - Las hifas secretan **enzimas extracelulares**.
   - Estas enzimas rompen moléculas complejas (celulosa, proteínas, lignina).
3. **Absorción**
   - Los productos simples (azúcares, aminoácidos) atraviesan la pared de la hifa.
   - El alimento entra ya digerido.

👉 Esto explica por qué la **estructura filamentosa** es ideal para la nutrición fúngica.

⇒ **Hifas aseptadas (cenocíticas)**

Las **hifas aseptadas** son aquellas que **no presentan tabiques internos (septos)** o los tienen muy escasos.



Características:

- El **citoplasma** (contenido celular eucariota entre la membrana plasmática y el núcleo), es **continuo**.
- Contienen **muchos núcleos** distribuidos a lo largo de la hifa.
- Se denominan también **cenocíticas**.

Ventajas biológicas:

- Circulación rápida de nutrientes y orgánulos.
- Crecimiento muy veloz.

Inconvenientes:

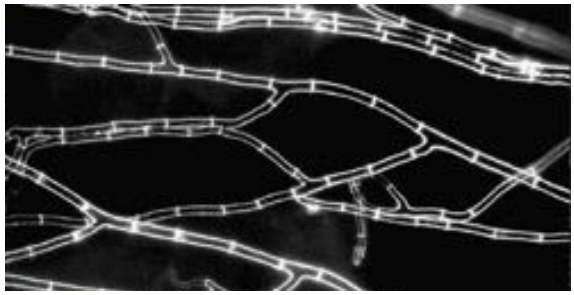
- Si se rompe una hifa, puede perderse todo el contenido.

Ejemplos típicos:

- Hongos del grupo tradicional de los **zigomicetos** (p. ej. *Mucor*, *Rhizopus*).

⇒ **Hifas septadas**

Las **hifas septadas** presentan **tabiques transversales (septos)** que dividen la hifa en compartimentos.



Características:

- Cada compartimento suele tener uno o varios núcleos.
- Los septos **no son completamente cerrados**: tienen **poros** que permiten el paso de citoplasma y orgánulos.
- En muchos hongos existen mecanismos de cierre del poro si la hifa se daña.

Ventajas biológicas:

- Mayor control interno.
- Si una parte se daña, el resto puede sobrevivir.
- Mayor especialización funcional.

Este tipo de hifa es típico de:

- **Ascomicetos**
- **Basidiomicetos**

⇒ Estos son los grupos que incluyen la mayoría de **los hongos descomponedores de madera**, por lo que es de justicia decir que:

  - Las **hifas**, especialmente las **septadas**, cuando forman un **micelio extenso**, y que tienen gran capacidad de **secreción enzimática**, son la **estructura que permitirá al hongo penetrar la madera y degradarla químicamente**.

👉 Es decir: **Sin entender las hifas, no se puede entender cómo un hongo "se come" un tronco.**

⇒ **Resumen conceptual:**

- Las hifas son la **unidad estructural básica** del hongo.
- Existen **hifas aseptadas** y **hifas septadas**, con diferencias funcionales claras.
- La forma filamentosa es clave para:
  - explorar,
  - digerir externamente,
  - absorber nutrientes.

## ESTRUCTURAS SOMÁTICAS: MICELIO

Esta diapositiva explica **cómo se construye el cuerpo vegetativo del hongo**, desde una unidad microscópica (la espora) hasta una **red extensa y funcional** (el micelio).

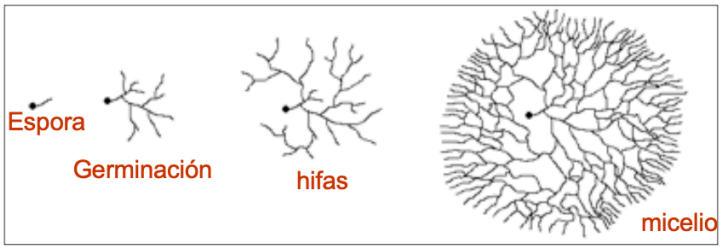
Aquí **todavía no se degrada la madera**: se está mostrando **el proceso estructural que lo hará posible después**.

**1. La espora: punto de partida del hongo**

La **espora** es la célula reproductora del hongo y cumple una función análoga a la semilla en las plantas, pero con diferencias importantes.

Características:

- Es **haploide** (en la mayoría de los casos).
- Está diseñada para:
  - dispersarse (aire, agua, animales),
  - resistir condiciones desfavorables,
  - permanecer latente hasta encontrar un sustrato adecuado.




Desde el punto de vista nutricional:

- La espora **no se alimenta activamente**.
- Vive de **reservas internas**.
- Su función es **colonizar**, no nutrirse.

**2. Germinación de la espora**

Cuando la espora encuentra condiciones adecuadas (humedad, temperatura, oxígeno y sustrato):

- Se activa metabólicamente.
- Rompe la pared en un punto.
- Emite un **tubo germinativo**.
  - 👉 Este tubo germinativo es ya: **la primera hifa**.

Aquí ocurre un cambio fundamental:

- Se pasa de una célula aislada
- a una estructura **filamentosa en crecimiento**.

**3. Formación de las hifas**

Las **hifas** se alargan por crecimiento apical y comienzan a:

- ramificarse,
- penetrar en el sustrato,
- explorar el medio.

Características funcionales:

- Cada hifa es un "conducto" vivo.
- Transporta agua, iones y nutrientes.
- Puede secretar enzimas al exterior.

Desde el punto de vista ecológico:

- Las hifas permiten al hongo **ocupar espacio** sin gastar energía en tejidos compactos.
- Son extremadamente eficaces para **explorar superficies grandes**.

**4. Desarrollo del micelio**

El **micelio** es el conjunto de todas las hifas de un hongo.

En la imagen de la diapositiva se ve claramente la progresión:

1. Espora aislada
2. Pequeñas hifas ramificadas
3. Red densa de hifas → micelio maduro

Propiedades del micelio:

- Es el **verdadero cuerpo del hongo**.
- Puede extenderse:
  - centímetros,
  - metros,
  - o incluso hectáreas (casos extremos).
- Vive oculto en el sustrato (suelo, madera, alimento).

👉 La seta, cuando aparece, es solo un **órgano reproductor**, no es el hongo en sí.

**5. Función del micelio en la nutrición**

Esta es la clave del tema:

El micelio actúa como:

- **Sistema digestivo externo**
- **Sistema de absorción**
- **Sistema de transporte interno**

Funciones concretas:

- Secreta enzimas digestivas al sustrato.
- Descompone moléculas complejas en simples.
- Absorbe los productos de esa digestión.
- Redistribuye los nutrientes por toda la red.

Esto explica por qué:

- Un hongo puede "comerse" un tronco de árbol entero.
- Puede vivir de sustratos extremadamente pobres.
- Puede competir con éxito frente a bacterias y plantas.

👉 Con todo lo dicho, ya se está preparando la idea principal:
Solo un organismo con un micelio extenso, ramificado y altamente enzimático puede penetrar la madera y degradar sus componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina).

Por tanto:

- **Espora → hifa → micelio**
  no es solo un proceso morfológico,
  es la **base funcional** de la nutrición saprófita lignícola.

## ESPORA, GERMINACIÓN, HIFAS Y DESARROLLO DEL MICELIO



Espora, germinación, hifas, micelio

Vamos a **retomar y ordenar** el proceso que ya hemos introducido, pero ahora lo hacemos desde un punto de vista **dinámico**: no solo qué son las estructuras, sino **cómo se encadenan en el tiempo** hasta formar un micelio funcional.

Aquí el concepto central es el **desarrollo del micelio**.

**1. La secuencia biológica completa**

En la imagen se resume el ciclo vegetativo inicial del hongo en una secuencia lógica:

**Espora → germinación → hifas → micelio**

Cada paso **depende del anterior** y supone un aumento progresivo de:

- tamaño,
- complejidad,
- capacidad nutritiva.

👉 Esto no es una enumeración teórica: es una **secuencia obligatoria**.

**2. De espora a germinación: activación metabólica**

La **espora**, como ya vimos, es una célula resistente y pasiva.
El paso clave es la **germinación**, que implica:

- Activación del metabolismo.
- Uso de las reservas internas.
- Inicio de la síntesis de pared celular y enzimas.
- Emisión del tubo germinativo.

Este momento marca el paso de:
**fase de dispersión → fase de colonización**.

**3. Crecimiento de las hifas: expansión apical**

Tras la germinación, el crecimiento se produce mediante **elongación apical** de las hifas.

Características importantes:

- El crecimiento es direccional.
- La hifa avanza explorando el sustrato.

- Se producen ramificaciones laterales.

Cada ramificación aumenta:
- la superficie de contacto,
- la capacidad de secreción enzimática,
- la eficiencia nutritiva.

Aquí empieza a verse la **ventaja ecológica** del crecimiento filamentoso.

**4. Formación del micelio: red funcional**
Cuando las hifas se ramifican y se interconectan, se forma el **micelio**.

El micelio:
- no es un conjunto caótico,
- es una **red organizada**,
- con transporte interno de sustancias.

Funciones del micelio:
- Digestión externa del sustrato.
- Absorción de nutrientes.
- Distribución interna de recursos.
- Respuesta adaptativa al medio (crecimiento hacia zonas favorables).

Este punto es clave:
👉 **el micelio es la unidad funcional real del hongo**.

**5. Desarrollo del micelio y eficiencia nutritiva**
A medida que el micelio se desarrolla:
- Aumenta su volumen.
- Se amplía el territorio colonizado.
- Mejora la eficiencia en la obtención de nutrientes.

Esto permite al hongo:
- sobrevivir en sustratos pobres,
- competir con otros microorganismos,
- colonizar rápidamente restos orgánicos.

**6. Relación directa con la degradación de la madera**
La conexión es directa y lógica:
- La madera es un sustrato duro, compacto y pobre.
- Solo un **micelio bien desarrollado** puede:
    - penetrar en ella,
    - secretar enzimas de forma masiva,
    - degradar sus polímeros complejos.

Por tanto, **sin micelio desarrollado, no hay degradación de la madera.**

## INTRODUCCIÓN A LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA

En primer lugar, se nos plantea este interrogante: ¿Por qué se caen ramas y troncos de los árboles, incluso cuando parecen sanos?

No es una pregunta retórica: sirve para conectar la **micología** con la **realidad visible** de parques, calles y jardines.

**1. La madera: un tejido aparentemente "inerte"**

A simple vista, la madera parece:

- dura,
- seca,
- resistente,
- casi inalterable.

Por eso muchas personas piensan que:

- la madera se rompe solo por el viento,
- por el peso,
- por el envejecimiento del árbol.

👉 Pero no, **la madera es un tejido biológico**, no un material muerto en sentido funcional, y **puede ser degradado desde el interior**.

- Muchos árboles urbanos albergan **hongos en su interior**.
- Estos hongos no siempre producen setas visibles.
- El micelio puede desarrollarse durante **años** dentro del tronco o de las ramas.

👉 Cuando el daño se hace visible (rotura, caída), el proceso **ya lleva mucho tiempo activo**. De modo que, la caída no es repentina; es el **resultado final** de una degradación lenta.

**2. Degradación interna vs. apariencia externa**

Existe un importante **desfase entre apariencia y realidad**:

- Exterior del árbol:
  - corteza intacta,
  - hojas verdes,
  - aspecto saludable.
- Interior del tronco o la rama:
  - madera degradada,
  - pérdida de cohesión,
  - resistencia mecánica muy reducida.

Esto explica por qué:

- ramas "sanas" se rompen sin aviso,
- troncos colapsan con viento moderado,
- se producen accidentes en zonas urbanas.

**3. Relación existente con la nutrición fúngica**

Los hongos:

- se alimentan de **materia orgánica compleja**,
- utilizan la madera como **fuente de carbono**,
- degradan sus componentes estructurales.

Es decir: La caída de ramas es una **consecuencia visible de la nutrición fúngica**. Las ramas y troncos no se caen "de repente": se caen porque **los hongos llevan tiempo alimentándose de su madera**, debilitándola desde dentro.

Aquí la micología deja de ser abstracta y se vuelve **funcional y aplicada**.

**4. Importancia ecológica y urbana**

Aquí se abre dos planos importantes:

🔷 **Plano ecológico**

- En el bosque, la degradación de la madera:
  - recicla nutrientes,
  - permite la regeneración,
  - mantiene el equilibrio del ecosistema.

🔷 **Plano urbano**

- En la ciudad, el mismo proceso:
  - supone un riesgo,
  - obliga a podas y talas preventivas,
  - tiene implicaciones económicas y de seguridad.

👉 Los hongos **no distinguen** entre bosque y ciudad: el proceso biológico es el mismo.

## DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Lo primero que tenemos que considerar es que **la madera se degrada porque existen organismos especializados en hacerlo**.

No se trata de un desgaste pasivo ni de un envejecimiento "natural", sino de un **proceso biológico activo**.

### 1. La madera como sustrato degradable

La madera es un tejido vegetal:

- muy resistente,
- rico en carbono,
- estructuralmente complejo.

Precisamente por eso:

- es un **recurso energético enorme**,
- pero **difícil de aprovechar**.

Solo ciertos organismos han evolucionado para poder explotar este recurso, y estos organismos forman **dos grandes grupos**.



### 2. Insectos xilófagos

Se conocen con este nombre a los insectos que se alimentan de madera, y forman dos importantes grupos:

**a) Isópteros (termitas)**

- Viven en colonias organizadas.
- Excavan galerías en la madera.
- En muchos casos **no digieren directamente la celulosa**, sino que dependen de:
  - protozoos,
  - bacterias simbióticas, presentes en su intestino.

Efecto:

- Deterioro mecánico rápido.
- Pérdida de resistencia estructural.





**b) Coleópteros (carcoma)**

- Las larvas perforan la madera.
- Dejan galerías visibles (orificios).
- Atacan muebles, vigas, estructuras históricas.

Importante:

- Su acción es **principalmente mecánica**, no química.
- Preparan la madera para la colonización posterior por hongos.

### 3. Hongos xilófagos

El segundo gran grupo son los **hongos xilófagos**, que son el **núcleo del tema**.




Características esenciales:

- No perforan la madera mecánicamente.
- Actúan **químicamente**, mediante enzimas.
- Se alimentan de los **componentes estructurales de la pared celular vegetal**.

👉 De modo que es importante conocer la composición de la pared celular y para entender la acción de los hongos, primero hay que entender **de qué está hecha la madera**.

### 4. Los hongos saprófitos como degradadores

Los hongos que degradan madera son, en su mayoría, **hongos saprófitos**.

Es decir:

- No parasitan tejidos vivos (en principio).
- Se alimentan de **materia orgánica muerta**.
- Colonizan troncos caídos, ramas, madera trabajada.

### 5. Ámbitos afectados por la degradación fúngica

Existen **dos grandes escenarios**:

#### a) Bosques

En el medio natural:

- La degradación de la madera es **esencial**.
- Permite:
  - el reciclado del carbono,
  - la liberación de nutrientes,
  - la regeneración del ecosistema.

Aquí la acción fúngica es **beneficiosa y necesaria**.

#### b) Patrimonio histórico español

En cambio, en el ámbito humano:

- Edificios históricos,
- Iglesias,
- Retablos,
- Artesonados,
- Muebles antiguos,

Y esta degradación fúngica supone **un problema grave**.

**Síntomas visibles**:

- Cambios de color.
- Reblandecimiento de la madera.
- Aparición de fisuras.
- Pérdida de las propiedades mecánicas (resistencia).

Pero hay que aclarar algo fundamental:

👉 **el daño visible es consecuencia de un proceso interno enzimático**.

**6. Mecanismo real del daño: degradación enzimática de los componentes estructurales de la pared celular**

Esto significa que:

- Los hongos secretan enzimas.
- Estas enzimas rompen:
  - celulosa,
  - hemicelulosas,
  - lignina.
- Al destruir estos polímeros, la madera:
  - pierde cohesión,
  - se vuelve frágil,
  - deja de cumplir su función estructural.

La caída de ramas, vigas o elementos arquitectónicos es el **resultado final** de este proceso.

→ La madera se degrada porque existen organismos especializados en aprovecharla como alimento, y entre ellos los **hongos saprófitos** son los agentes químicos más importantes.

- Insectos → daño mecánico.
- Hongos → daño químico y estructural profundo.

⇒ **Y aquí se abre el bloque de estudio de:**

- la composición de la madera,
- los tipos de degradación,
- y los distintos tipos de pudrición.

## LA PARED CELULAR PRIMARIA Y SECUNDARIA

**1. La pared celular vegetal como objetivo de la degradación**

La madera está formada, en esencia, por **células vegetales muertas**, pero con una **pared celular muy especializada**.

Los hongos **no degradan "la madera en general"**, sino **las paredes celulares** que la componen.

Estas paredes no son homogéneas: tienen **capas distintas**, con composición y funciones diferentes.

**2. La pared celular primaria**

La **pared primaria** es la primera que se forma cuando la célula vegetal aún está viva y creciendo.

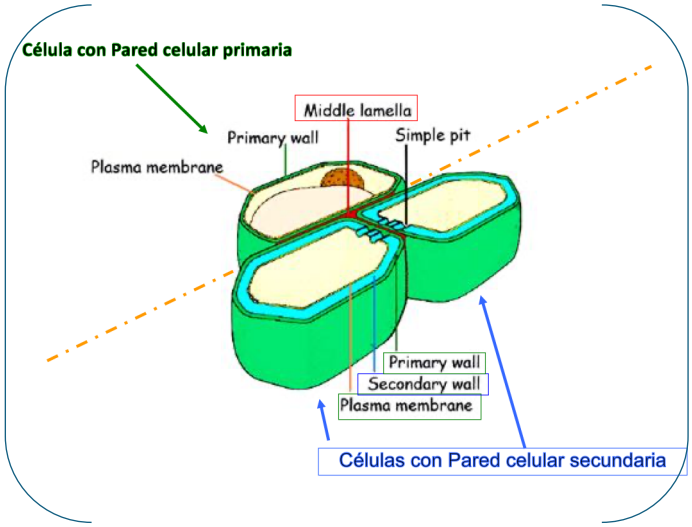
Características:

- Es **relativamente delgada**.
- Flexible.

- Permite el crecimiento celular.

Composición principal:
- **Celulosa** (microfibrillas).
- **Hemicelulosas**.
- **Pectinas**.
- Proteínas estructurales.

Desde el punto de vista de los hongos:
- Es **más accesible**.
- Se degrada con mayor facilidad.
- Muchas bacterias y hongos pueden atacarla.




**3. La pared celular secundaria**

La **pared secundaria** se deposita **después de que la célula ha dejado de crecer**, especialmente en tejidos leñosos.

Características:
- Mucho **más gruesa**.
- Muy rígida.
- Responsable de la **resistencia mecánica** de la madera.

Composición:
- **Celulosa** en mayor proporción.
- **Hemicelulosas**.
- **Lignina** (el componente clave).

La **lignina**:
- Es un polímero aromático complejo.
- Actúa como "cemento" entre las fibras.
- Aporta rigidez, impermeabilidad y resistencia a la degradación.

**4. Diferencias clave entre pared primaria y secundaria**

Desde el punto de vista de la degradación fúngica:
- **Pared primaria**:
  - Más fácil de degradar.
  - Rica en polisacáridos.
  - Menor contenido en lignina.
- **Pared secundaria**:
  - Mucho más resistente.
  - Alta concentración de lignina.
  - Principal barrera frente a microorganismos.

👉 Esta diferencia explica por qué la madera **no se degrada rápidamente**, y por qué **solo ciertos hongos** pueden hacerlo eficazmente.

**5. Relación directa con la degradación de la madera**

Los hongos xilófagos:
- primero acceden a las zonas **menos lignificadas**,
- después, si tienen la maquinaria enzimática adecuada, atacan la **pared secundaria**,
- y finalmente destruyen la estructura completa de la madera.

Por eso:

- algunos hongos degradan solo parcialmente la madera,
- y otros la destruyen casi por completo.

Esta explicación es fundamental, ya que:

- Introduce la **base anatómica y química** del proceso.
- Permite entender:
  - los distintos tipos de pudrición,
  - las diferencias entre hongos,
  - el ritmo de degradación.

Sin comprender la diferencia entre **pared primaria y secundaria**, no se puede entender:

- por qué existe pudrición blanca,
- por qué existe pudrición parda,
- ni por qué la lignina es tan determinante.

👉 **Idea central que hay que retener:**

La degradación de la madera es, en realidad, la degradación diferencial de las **paredes celulares vegetales**, y especialmente de su **pared secundaria rica en lignina**.

Esta idea es el **pilar conceptual** de todo lo que viene a continuación.

## CÉLULA VEGETAL CON PARED CELULAR PRIMARIA

Este tema se centra **exclusivamente** en la **pared celular primaria**, es decir, en la **primera barrera estructural** que los hongos encuentran cuando comienzan a degradar la madera.

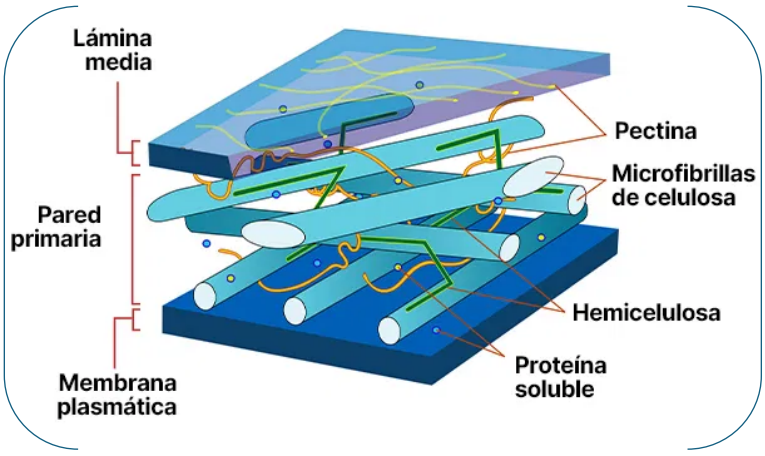
Aún no se habla de **lignina** ni de resistencia extrema: se explica **el punto de partida del proceso**.

### 1. Qué es la pared celular primaria

La **pared celular primaria** es la pared que poseen las **células vegetales jóvenes y vivas**, antes de que se lignifiquen.

Características generales:

- Es **delgada** comparada con la pared secundaria.
- Es **flexible**, lo que permite el crecimiento celular.
- Está presente en **todas las células vegetales**, incluidas las que luego formarán madera.




Desde el punto de vista micológico:

- Es la parte **más accesible** de la pared vegetal.
- Constituye la **primera estructura degradable** por los hongos.

### 2. Componentes de la pared celular primaria

- **Celulosa**

Forma microfibrillas que dan resistencia a la pared.

- **Hemicelulosas**

Polisacáridos que conectan las microfibrillas de celulosa.

- **Pectinas**
  Sustancias gelatinosas que aportan cohesión y permeabilidad.
- **Proteínas estructurales**

Estos componentes:
- Son **polisacáridos**, es decir, moléculas ricas en carbono.
- Son **susceptibles de degradación enzimática**.

**3. Función biológica de la pared primaria**
En la planta viva, la pared primaria:
- Protege la célula.
- Mantiene la forma.
- Permite el intercambio de agua y solutos.
- Soporta la presión de turgencia.

Pero una vez la célula muere (como ocurre en la madera):
- La pared queda como **estructura inerte**.
- Se convierte en **sustrato potencial** para hongos y otros organismos.

**4. Importancia en la degradación de la madera**
Desde el punto de vista del hongo:
- La pared primaria es el **primer nivel** que se degrada.
- Muchos microorganismos pueden atacarla, no solo hongos xilófagos.
- Su degradación inicial:
  - debilita la cohesión celular,
  - abre el camino hacia capas más profundas.

👉 Es decir: La degradación de la madera **no empieza en la lignina**, sino en la pared primaria.

**5. Relación con la acción enzimática fúngica**
Los hongos producen enzimas específicas para atacar esta pared:
- **Celulasas** → rompen la celulosa.
- **Hemicelulasas** → degradan hemicelulosas.
- **Pectinasas** → disuelven pectinas.

Estas enzimas:
- se secretan al exterior,
- actúan fuera de la hifa,
- liberan azúcares simples que el hongo absorbe.

Aquí vemos claramente el modelo de **digestión externa** típico de los hongos.

👉 **Idea clave para fijar**
La pared celular primaria es la **primera barrera estructural** de la madera y el **primer objetivo** de la degradación fúngica; su composición polisacarídica la hace relativamente accesible a la acción enzimática.

## CÉLULA VEGETAL CON PARED CELULAR SECUNDARIA

Con esto se completa lo visto en la pared primaria y entra en el **núcleo del problema de la degradación de la madera**: la **pared celular secundaria**, que es la responsable de la dureza y resistencia del tejido leñoso.

Vamos a ver **por qué la madera es tan difícil de degradar** y por qué **no todos los hongos pueden hacerlo**.

### 1. Cuándo se forma la pared celular secundaria

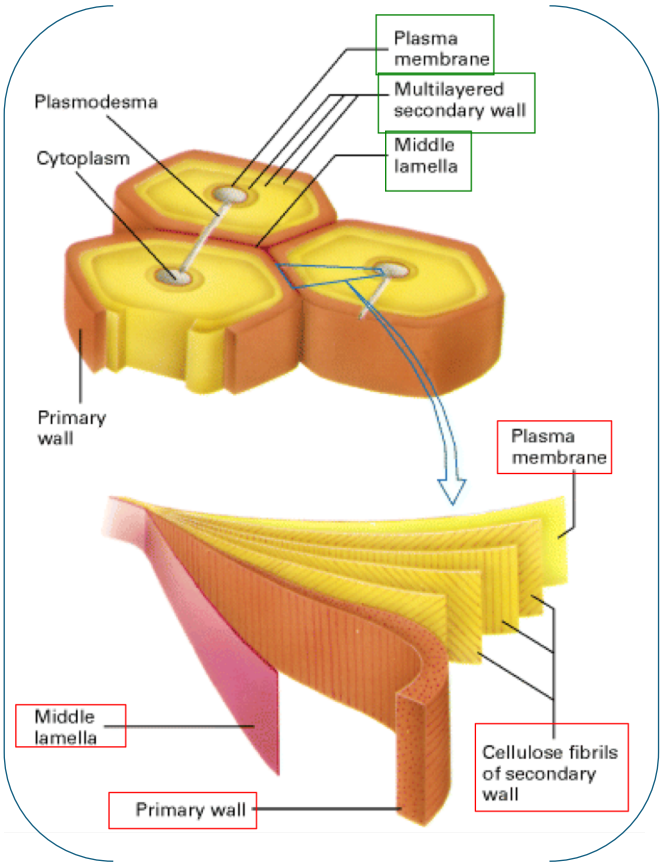
La **pared celular secundaria** se deposita **después de que la célula vegetal ha terminado su crecimiento**.

Características biológicas:

- La célula ya no se divide ni se expande.
- El objetivo ahora es **resistencia mecánica**, no flexibilidad.
- Es típica de:
  - vasos leñosos,
  - fibras,
  - traqueidas.

Estas células forman la **madera propiamente dicha**.

### 2. Capas representadas en el esquema




- **Lámina media (middle lamella)**
  - Rica en pectinas.
  - Une unas células con otras.
  - Es el "cemento" intercelular.
- **Pared celular primaria**
  - Más delgada.
  - Formada antes de la lignificación.
- **Pared celular secundaria multilaminar**
  - Muy gruesa.
  - Formada por varias capas concéntricas.
  - Rica en celulosa y **lignina**.
- **Membrana plasmática**
  - Ya no tiene función tras la muerte celular, pero aparece en el esquema como referencia anatómica.

Este conjunto explica la **arquitectura de la madera**.

### 3. Composición de la pared celular secundaria

Desde el punto de vista químico, la pared secundaria está formada por:

- **Celulosa**
  - En forma de microfibrillas muy ordenadas.
  - Aporta resistencia a la tracción.
- **Hemicelulosas**
  - Unen y estabilizan las microfibrillas.
- **Lignina**
  - Polímero aromático complejo.
  - Rellena los espacios.
  - Aporta rigidez, impermeabilidad y resistencia química.

👉 La lignina es el **gran obstáculo** para la degradación.

**4. Por qué la pared secundaria es tan resistente**
Existen tres razones clave:

1. **Multicapa**
   Varias láminas superpuestas dificultan la penetración de enzimas.
2. **Alta lignificación**
   La lignina protege la celulosa del ataque enzimático.
3. **Orden estructural**
   La disposición de las microfibrillas hace la pared muy compacta.

Por eso:

- Muchas bacterias no pueden degradar madera.
- Solo algunos hongos poseen la maquinaria adecuada.

**5. Consecuencias para la degradación de la madera**
Desde el punto de vista micológico:

- Los hongos que **solo degradan pared primaria** producen daños limitados.
- Los hongos capaces de atacar la **pared secundaria**:
  - destruyen la estructura de la madera,
  - causan pérdida de resistencia mecánica,
  - originan los distintos tipos de **pudrición**.

**6. Relación directa con la nutrición fúngica**

- La pared secundaria es una **fuente enorme de carbono**.
- Pero solo accesible a hongos con:
  - enzimas ligninolíticas,
  - lacasas (enzima que degrada lignina),
  - peroxidasas (enzimas vitales que catalizan reacciones de oxidación).

De ahí que: La capacidad de degradar lignina sea una **ventaja ecológica decisiva**.

👉 **Idea central:** La pared celular secundaria, rica en lignina y organizada en múltiples capas, es la principal responsable de la resistencia de la madera y el objetivo más complejo de la degradación fúngica.

Sin entender esta estructura, no se puede comprender:

- la lentitud del proceso,
- la especialización de los hongos xilófagos,
- ni los diferentes tipos de pudrición.

## COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR VEGETAL

→ Aquí ya entramos de lleno en **química aplicada a la micología**.

**1. La pared celular vegetal no es uniforme, varía incluso dentro de la misma planta**
Esto significa que **no toda la madera ni todo el tejido vegetal es igual**.

Por ejemplo:

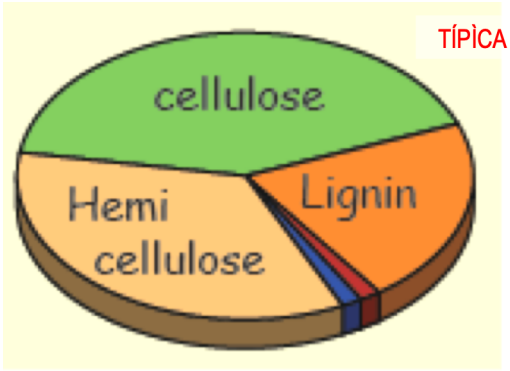
- **Raíz** → menos lignina, más flexibilidad.
- **Tallo** → más lignificación, función estructural.
- **Hojas** → paredes más finas, menos resistencia.
- **Flores y frutos** → paredes más blandas y ricas en pectinas.

👉 Para los hongos, esto implica que **no todos los tejidos ofrecen la misma resistencia** ni requieren las mismas enzimas.

**2. Ejemplo: pared celular típica de una gramínea**

Se utiliza una **gramínea** como ejemplo (trigo, cebada, maíz, arroz…), porque:

- son plantas muy abundantes,
- sus tejidos son ricos en **celulosa y hemicelulosa**,
- tienen una **lignificación moderada** comparada con la madera de árboles.




El diagrama circular muestra **proporciones relativas**, no valores exactos.

- **Varía incluso en las distintas partes de la planta (raíz, tallo, hojas, flores, etc.)**

**3. Componentes principales de la pared celular**

En el esquema aparecen tres componentes fundamentales:

🔹 **Celulosa**

- Es el componente mayoritario.
- Polisacárido formado por cadenas largas de glucosa.
- Se organiza en **microfibrillas** muy resistentes.
- Aporta resistencia a la tracción.

Desde el punto de vista fúngico:

- Es una **gran fuente de carbono**.
- Se degrada mediante **celulasas**.

🔹 **Hemicelulosas**

- Grupo heterogéneo de polisacáridos.
- Rodean y conectan las microfibrillas de celulosa.
- Son químicamente más simples y menos ordenadas.

Importancia:

- Son **más fáciles de degradar** que la celulosa.
- Se atacan primero en muchos procesos de degradación.

→ En micología: Se degradan mediante **hemicelulasas**.

🔹 **Lignina**

- Polímero aromático complejo (no es un polisacárido).
- Actúa como un **cemento rígido** entre fibras.
- Aporta:
  - dureza,
  - impermeabilidad,
  - resistencia a microorganismos.

→ Punto clave: **La lignina es el principal obstáculo para la degradación de la madera.**
Solo ciertos hongos pueden degradarla eficazmente.

**4. Proporciones y dificultad de degradación**

- Mucha **celulosa** → gran reserva de energía.
- Mucha **hemicelulosa** → degradación relativamente rápida.
- Mucha **lignina** → degradación lenta y especializada.

Por eso:

- Los restos herbáceos se degradan rápido.
- La madera de árboles puede tardar años en descomponerse.

**5. Relación directa con la nutrición fúngica**

Desde el punto de vista del hongo:

- La pared celular vegetal es su **fuente de alimento**.
- Pero acceder a ella requiere:
  - enzimas específicas,
  - tiempo,
  - condiciones ambientales adecuadas.

Según el tipo de pared:

- algunos hongos solo degradan polisacáridos,
- otros degradan también la lignina.

Esto explica la **especialización ecológica** de los hongos saprófitos.

→ **Idea central que se debe retener:** La degradación de la madera es, en esencia, la degradación diferencial de **celulosa, hemicelulosas y lignina**, cuya proporción varía según la planta y el tejido. Esta idea es **el eje químico** de todo el bloque que sigue.

## COMPOSICIÓN DETALLADA DE LA PARED CELULAR VEGETAL

→ La pared celular vegetal se descompone en tres grandes niveles:

**1. Lámina media o placa celular**

La **lámina media** es la capa que:

- se sitúa **entre células vegetales adyacentes**,
- actúa como **cemento intercelular**.

🔹 **Composición**

- **Pectinas**
  - polímeros de **ácido galacturónico**,
  - muy **hidratadas**,
  - con **baja proporción de proteínas**.

🔹 **Importancia en la degradación**

- Es la **zona más fácil de degradar**.
- Muy accesible a enzimas pectinolíticas.
- Su degradación provoca:
  - separación de las células,
  - pérdida de cohesión del tejido.

👉 Muchos hongos comienzan la degradación **despegando células** a través de la lámina media.

**2. Pared celular primaria**
La **pared primaria** rodea cada célula y es la siguiente barrera tras la lámina media.

### 🔹 Composición
- **Pectinas**
- **Celulosa**
- **Hemicelulosas (xiloglucanos)**
- **Glucoproteínas ricas en hidroxiprolinas**

Estas glucoproteínas:
- refuerzan la estructura,
- pero no impiden la degradación enzimática.

### 🔹 Resistencia relativa
- Más resistente que la lámina media.
- Mucho menos resistente que la pared secundaria.
- Fácilmente atacable por:
  - celulasas,
  - hemicelulasas,
  - pectinasas.

👉 La degradación de esta pared **debilita rápidamente el tejido**, aunque aún no destruye la madera por completo.

**3. Pared celular secundaria (en tejidos conductores)**
Esta es la **clave de la madera**.
La pared secundaria aparece:
- en **vasos leñosos**,
- fibras,
- traqueidas,

que son los **tejidos conductores y de sostén**.

### 🔹 Formación
- Inicialmente rica en **microfibrillas de celulosa**.
- Posteriormente se produce la **lignificación de toda la pared celular**.
- La lignificación afecta incluso a:
  - la pared primaria,
  - la lámina media.

Esto da lugar a una **estructura extremadamente rígida**.

**4. Composición de una pared lignificada**
Aquí se aporta un dato cuantitativo muy importante:
- **2/3 → celulosa + hemicelulosas**
- **1/3 → lignina**

Este dato es fundamental para entender la degradación:
- Aunque la lignina sea "solo" un tercio,
- su presencia **protege físicamente** al resto de componentes,
- y dificulta el acceso enzimático.

👉 Por eso la lignina tiene un efecto desproporcionado sobre la resistencia de la madera.

**5. Implicaciones para la degradación fúngica**

Según esta estructura:

- Hongos que degradan **solo pectinas y polisacáridos**:
  - causan degradación superficial,
  - separación celular,
  - ablandamiento.
- Hongos capaces de degradar **lignina**:
  - destruyen la arquitectura completa,
  - producen pudriciones profundas,
  - reducen drásticamente la resistencia mecánica.

Aquí se establece la base para:

- **pudrición blanca** (ataque de lignina),
- **pudrición parda** (celulosa protegida por lignina),
- **pudrición blanda**.

**6. Relación directa con el título del bloque**

El encabezado **DEGRADACIÓN DE LA MADERA**:

La degradación de la madera cobra aquí todo su sentido ya que actúa de una manera secuencial: **lámina media → pared primaria → pared secundaria lignificada**.

Cada etapa requiere:

- enzimas distintas,
- tiempo,
- y hongos con diferente grado de especialización.

- La resistencia de la madera se debe a la lignificación de la pared celular secundaria; la degradación fúngica es un proceso progresivo que comienza en la lámina media y culmina con la destrucción de la pared lignificada.

## POLISACÁRIDOS ESTRUCTURALES

Los grandes **polímeros estructurales** (macromoléculas formadas por la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros y que crean cadenas, determinando sus propiedades mecánicas y físicas) que forman las paredes celulares constituyen en el caso de la madera la **principal fuente de carbono** para los hongos saprófitos.

Aquí se establece una comparación muy clara entre:

- **organismos autótrofos** (plantas, algas),
- **organismos heterótrofos** (hongos, animales).

**1. Polisacáridos estructurales en organismos autótrofos**

Los **autótrofos** (plantas y muchas algas) construyen sus paredes celulares a partir de **polisacáridos de origen glucídico**, sintetizados gracias a la fotosíntesis.

- **Celulosa:** La celulosa es el **polisacárido estructural fundamental de las plantas**.

Características:

- Polímero lineal de **glucosa**.
- Las cadenas se agrupan formando **microfibrillas**.
- Proporciona gran **resistencia mecánica** a la pared celular.

- En relación con esto hay que señalar dos aspectos importantes:

- La celulosa **se asocia a hemicelulosas y pectinas**.
- Esta asociación permite:
  - retener agua,
  - dar cierta flexibilidad al tejido,
  - mantener la cohesión estructural.

Además, hay un dato cuantitativo clave:

- Las paredes celulares vegetales contienen **entre un 30 y un 50 % de celulosa**.

👉 Desde el punto de vista fúngico, esto convierte a la celulosa en una **enorme reserva potencial de energía**, siempre que el hongo disponga de **celulasas**.

🔹 **Xilanos y mananos**

Los **xilanos** y **mananos** son tipos de **hemicelulosas**.

- En algunas algas marinas sifonales, estos polisacáridos pueden **sustituir parcialmente a la celulosa** como elemento estructural.

→ Esto refuerza una idea importante:
No todas las paredes celulares vegetales son iguales; su composición varía según el grupo y el medio.
Para los hongos:

- esta variabilidad implica la necesidad de **enzimas distintas** según el sustrato.

**2. Polisacáridos estructurales en organismos heterótrofos**
En contraste con las plantas, los **heterótrofos** (como los hongos) **no utilizan celulosa** como principal polisacárido estructural de su pared celular.

→ **La Quitina** es característica de:

- **hongos**,
- **artrópodos** (insectos, crustáceos).

Características químicas:

- Polímero lineal de **N-acetilglucosamina**.
- Muy resistente.
- Similar en estructura a la celulosa, pero con grupos nitrogenados.

Funciones:

- Aporta rigidez y protección.
- Hace la pared celular del hongo **resistente pero ligera**.

**3. Importancia de la quitina en el contexto del tema**
La quitina sirve para que:

- Los hongos **no degradan su propia pared**.
- Producen enzimas dirigidas **contra polisacáridos vegetales**, no contra quitina.

Esto explica:

- la especificidad enzimática,
- la capacidad de degradar celulosa ajena,
- sin autodestruirse.

**4. Relación con la degradación de la madera**

- La madera contiene grandes cantidades de:
  - celulosa,

- hemicelulosas (xilanos, mananos).

- Los hongos saprófitos:
  - producen **celulasas**,
  - producen **hemicelulasas**,
  - liberan azúcares simples aprovechables.

Pero:

- la presencia de lignina (vista en diapositivas anteriores),
- protege estos polisacáridos,
- y condiciona el tipo de degradación.

👉 **Idea clave que debes retener**

La madera es rica en polisacáridos estructurales vegetales (celulosa y hemicelulosas), que constituyen la principal fuente de carbono para los hongos; la quitina, en cambio, es el polisacárido estructural de los propios hongos y no es objeto de degradación por ellos.

## OTROS COMPONENTES DE LA PARED CELULAR DE LOS HONGOS: MELANINAS

Aquí nos apartamos momentáneamente de la **pared celular vegetal** para fijarnos en la **pared celular del propio hongo**. La razón es didáctica: entender **por qué el hongo resiste** condiciones que destruirían a otros microorganismos mientras degrada la madera.



**1. Qué son las melaninas fúngicas**

Las **melaninas** son **pigmentos poliméricos** de color marrón oscuro a negro que se depositan en la **pared celular** de muchos hongos.

No son universales en todos los hongos, pero sí **muy frecuentes** en:

- hongos del suelo,
- hongos lignícolas,
- hongos expuestos a condiciones ambientales extremas.

A diferencia de los polisacáridos (quitina, glucanos), las melaninas **no cumplen una función estructural primaria**, sino **protectora**.

**2. Funciones de las melaninas**

**a) Resistencia a la lisis enzimática**

- La melanina dificulta el acceso de enzimas externas a la pared celular.
- Protege al hongo frente a:
  - enzimas de otros microorganismos,
  - enzimas defensivas de plantas,
  - procesos de autólisis.

👉 Mientras el hongo secreta enzimas para degradar la madera, **su propia pared queda protegida**.

**b) Resistencia mecánica**

- La melanina refuerza la pared celular.
- Aumenta la dureza y la estabilidad frente a presiones externas.

Esto es importante en:

- madera compacta,
- suelos duros,
- ambientes con tensiones físicas.

**c) Protección frente a la radiación UV y solar**

- Las melaninas absorben radiación ultravioleta.
- Protegen el ADN y las membranas celulares.

Esto explica por qué:

- muchos hongos expuestos (troncos, superficies) son oscuros,
- los cuerpos fructíferos melanizados resisten mejor a la intemperie.

**d) Protección frente a la desecación**

- La melanina reduce la pérdida de agua.
- Ayuda a soportar periodos de sequía.

En la degradación de la madera:

- el hongo puede quedar expuesto a fluctuaciones de humedad,
- la melanina mejora su **supervivencia a largo plazo**.

**3. Importancia de las melaninas en la degradación de la madera**

- La degradación de la madera es:
  - lenta,
  - prolongada en el tiempo,
  - ambientalmente exigente.
- El hongo necesita **permanecer activo durante meses o años**.

Las melaninas permiten:

- resistir ataques químicos,
- soportar radiación y sequedad,
- mantener la integridad celular mientras el hongo degrada un sustrato muy resistente.

👉 En otras palabras: **no solo importa qué enzimas tiene el hongo, sino cuánto tiempo puede sobrevivir mientras actúa**.

**4. Comparación implícita con la pared vegetal**

Lo expuesto refuerza una comparación importante del tema:

- **Pared vegetal**:
  - celulosa,
  - hemicelulosas,
  - lignina,

  → objetivo de la degradación.
- **Pared fúngica**:
  - quitina,
  - glucanos,
  - melaninas,

  → estructura resistente que **no se degrada a sí misma**.

👉 Esto subraya la **asimetría biológica** del proceso: el hongo ataca, pero está protegido.

🔹 **Idea clave para retener**

Las melaninas de la pared celular fúngica confieren al hongo una protección química, mecánica y ambiental que le permite sobrevivir durante largos periodos mientras degrada la madera.

Vamos a ver **el mecanismo enzimático concreto** por el cual los hongos saprófitos degradan la madera.

Ya no hablamos de "qué hay" en la pared celular, sino de **cómo se rompe químicamente**.

**1. Degradación de la celulosa**

La **celulosa** es el polisacárido más abundante de la pared vegetal y una **fuente enorme de carbono**. Se degrada mediante **enzimas** que pueden actuar:

- **intracelularmente**,
- pero sobre todo **extracelularmente**, que es lo relevante en la madera.

→ **Tipos de celulasas**

Se distinguen dos grandes grupos funcionales:

- **Endocelulasas**
  - Cortan enlaces **internos** de la cadena de celulosa.
  - Rompen la estructura cristalina.
  - Generan fragmentos más cortos.
- **Exocelulasas**
  - Actúan desde los extremos de la cadena.
  - Liberan unidades de celobiosa o glucosa.

👉 La degradación completa de la celulosa requiere la **acción coordinada** de ambos tipos.

**2. Degradación de las pectinas**

Las **pectinas** son los primeros componentes que se movilizan. Se degradan mediante enzimas **intra o extracelulares**, y suelen ser **las primeras en ser atacadas**.

Razón:

- Son polisacáridos **muy hidratados**,
- químicamente menos resistentes,
- abundantes en la **lámina media** y en la pared primaria.

Consecuencia:

- La degradación de pectinas provoca:
  - separación de células,
  - pérdida de cohesión del tejido,
  - ablandamiento inicial de la madera.

👉 Este paso "abre" la estructura y facilita el ataque posterior a otros componentes.

**3. Degradación de las hemicelulosas**

Las **hemicelulosas** (xilanos, mananos, etc.) son químicamente diversas. Se degradan mediante **múltiples enzimas**, en particular:

- **endoxilanasas** (cortes internos),
- **exoxilanasas** (liberación desde los extremos).

Importancia:

- Las hemicelulosas rodean y estabilizan las microfibrillas de celulosa.
- Su degradación:
  - debilita la estructura,
  - facilita el acceso a la celulosa.

👉 En muchos hongos, la degradación de hemicelulosas **precede** a la de la celulosa.

**4. Degradación de la lignina: el punto crítico**

La **lignina** es el componente más resistente y el **principal obstáculo** para la degradación de la madera.

**4.1 Condiciones para la degradación de la lignina**

Las enzimas ligninolíticas:

- Se producen **en ausencia de fuentes de nitrógeno**.
- Se **inducen** por los productos de la degradación de la propia lignina.

Esto tiene un sentido ecológico claro:

- El hongo solo invierte energía en degradar lignina
- cuando **no dispone de nutrientes más fáciles**.

**4.2 Función de la degradación de la lignina**

La degradación de la lignina **deja accesible la celulosa y la hemicelulosa** para que puedan ser atacadas.

Es decir:

- la lignina **no es el principal alimento**,
- su degradación es una **estrategia de acceso** al resto del carbono.

**5. Enzimas ligninolíticas:**

**a) Ligninasas**

- Dependientes del **alcohol veratrílico**.
- Capaces de romper enlaces complejos de la lignina.
- Muy características de hongos de pudrición blanca.

**b) Peroxidasas**

- **Dependientes de $H_2O_2$** (peróxido de hidrógeno).
- Oxidan estructuras aromáticas.
- Muy potentes, pero poco específicas.

**c) Lacasas**

- **Dependientes de $O_2$**.
- Oxidan fenoles y otros compuestos aromáticos.
- Importantes en degradación ambiental y biotecnología.

👉 Estas enzimas actúan **fuera de la célula**, generando radicales que rompen la lignina.

**6. Enfoque integrado del proceso**

Es necesario entender la degradación de la madera como un **proceso secuencial y estratégico**:

1. Pectinas → separación celular.
2. Hemicelulosas → debilitamiento de la matriz.
3. Lignina → apertura de la estructura.
4. Celulosa → obtención masiva de glucosa.

No todos los hongos realizan todas las etapas:

- algunos se quedan en fases iniciales,
- otros completan el proceso.

🔹 **Idea clave a retener**

La degradación de la madera es un proceso enzimático complejo y secuencial en el que los hongos utilizan diferentes conjuntos de enzimas para atacar pectinas, hemicelulosas, celulosa y, en los casos más especializados, lignina.

## TIPOS DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Vamos a ver de forma ordenada los **tres grandes tipos de degradación fúngica de la madera**, según **qué componentes de la pared celular son atacados** y **qué aspecto final adquiere la madera**.

**1. Idea general de "podredumbre" o "pudrición"**

Los términos **podredumbre** y **pudrición** se usan como sinónimos y describen:

- la **pérdida progresiva de integridad estructural** de la madera,
- causada por la **actividad metabólica de los hongos**,
- mediante degradación enzimática.

Cada tipo de pudrición refleja:

- **qué polímeros se degradan**,
- **cuáles permanecen**,
- y **cómo cambia la madera** en color, textura y resistencia.

**2. Podredumbre o pudrición parda es la que degrada:**

- Principalmente **celulosa y hemicelulosas**.
- La **lignina no se degrada**, o lo hace muy poco.

**Consecuencia química**

- La lignina queda concentrada.
- Al ser de color oscuro, la madera adquiere un tono **pardo o marrón**.

**Aspecto de la madera**

- Muy **oscura**.
- **Quebradiza**.
- Se fragmenta en bloques o cubos → *fractura cúbica* (visible en la imagen del tronco).

**Consecuencia mecánica**

- Pérdida rápida de resistencia.
- La madera se rompe con facilidad, incluso con poca presión.

**Hongos típicos**

- *Serpula lacrymans* (pudrición seca en edificios).
- *Fomitopsis*.
- *Gloeophyllum*.

👉 Importante: aunque la **lignina** permanezca, **la madera deja de cumplir su función estructural**.

**3. Podredumbre o pudrición blanca**

**Qué se degrada**

- Lignina, además de celulosa y hemicelulosas (en distinto grado).

**Consecuencia química**

- Al eliminarse la lignina (oscura), la madera pierde color.
- Quedan fibras claras ricas en celulosa.

**Aspecto de la madera**

- Blanquecina o clara.
- Fibrosa.
- Esponjosa, a veces con aspecto algodonoso.

**Consecuencia mecánica**

- Pérdida progresiva de rigidez.
- La madera se vuelve blanda, pero no tan quebradiza como en la parda.

**Hongos típicos**

- *Trametes*.
- *Ganoderma*.
- *Phanerochaete*.

👉 Este tipo es **ecológicamente clave**, porque permite la **eliminación natural de la lignina**, algo que casi ningún otro organismo puede hacer.

### 4. Podredumbre o pudrición blanda

**Dónde aparece**

- Ambientes **muy húmedos**.
- Maderas en contacto con el suelo o el agua.
- Zonas costeras o suelos encharcados.

**Qué se degrada**

- Principalmente **pared primaria y capas externas de la secundaria**.
- La lignina se degrada poco o nada.

**Aspecto de la madera**

- Reblandecimiento superficial.
- Degradación lenta.
- La madera mantiene su forma externa durante mucho tiempo.

**Hongos implicados**

- Frecuente en **ascomicetos** y hongos imperfectos.
- Menos especializada que la pudrición blanca.

👉 Es una degradación **más lenta y superficial**, pero persistente.



🔹 En la imagen se muestra un ejemplo típico de **pudrición parda**:

- Color oscuro.
- Grietas profundas.
- Fragmentación en bloques.

Esto ayuda a fijar visualmente:

- que el tipo de degradación **se reconoce a simple vista**,
- pero solo se entiende bien conociendo **qué polímeros han sido degradados**.

### 5. Importancia de esta clasificación

- Resume **el resultado final** de la degradación.
- Permite:
  - diagnosticar el tipo de hongo implicado,
  - prever el riesgo estructural,
  - aplicar medidas de conservación o control.

En el patrimonio histórico:

- la pudrición parda es **especialmente peligrosa**,
- la blanca es **más lenta pero muy destructiva**,
- la blanda es **difícil de detectar** en fases iniciales.

👉 **Idea clave a retener**

Los tipos de degradación de la madera reflejan **qué componentes de la pared celular vegetal han sido degradados** y determinan el color, la textura y la resistencia final de la madera.

## PODREDUMBRE O PUDRICIÓN PARDA (O SECA, CÚBICA)

Vamos a pasar al estudio **pormenorizado** de los tipos de degradación. Comenzamos por la **pudrición parda**, también llamada **pudrición seca** o **pudrición cúbica**.

Es uno de los tipos **más destructivos desde el punto de vista mecánico**, especialmente relevante en **construcciones y patrimonio**.

**1. Por qué se llama "parda"**

El nombre **pudrición parda** se debe al **color final de la madera** tras la degradación.



La causa es química:

- El hongo **degrada la celulosa y las hemicelulosas**.
- La **lignina no se degrada**, o lo hace muy poco.
- Al eliminarse los polisacáridos claros, la lignina queda **concentrada**.

Como la lignina es de color oscuro:

👉 la madera adquiere un tono **marrón o pardo** característico.

**2. Por qué se llama "seca"**



También se denomina **pudrición seca** porque:

- La madera afectada pierde rápidamente su capacidad de retener agua.
- Se vuelve **seca, frágil y quebradiza**.

Importante aclaración:

- No significa que el proceso ocurra en seco.
- El hongo **necesita humedad para crecer**.
- "Seca" describe el **estado final** de la madera, no las condiciones iniciales.

**3. Por qué se llama "cúbica"**

El otro término **cúbica** describe el **modo de fractura** de la madera.

Características:

- La madera se agrieta siguiendo:
  - anillos de crecimiento,
  - radios leñosos.
- Se fragmenta en **bloques más o menos cúbicos**.

Este patrón es muy típico y permite:

- reconocer visualmente la pudrición parda,
- incluso sin análisis microscópico.

**4. Qué componentes se degradan**

Desde el punto de vista bioquímico:

- **Celulosa** → degradada de forma intensa.
- **Hemicelulosas** → también degradadas.
- **Lignina** → permanece prácticamente intacta.

Consecuencia estructural:

- Aunque la lignina siga presente,
- la madera pierde su **esqueleto interno**,
- y deja de soportar cargas.

👉 La resistencia mecánica cae de forma **rápida y brusca**.

**5. Mecanismo de degradación**

Los hongos de pudrición parda:

- no dependen tanto de enzimas ligninolíticas,
- utilizan mecanismos **oxidativos** que rompen la celulosa.

En muchos casos:

- generan radicales libres,
- atacan la celulosa **a distancia**,
- incluso antes de que las enzimas entren en contacto directo.

Esto explica:

- la rapidez del deterioro,
- la profundidad del daño.

**6. Hongos causantes más conocidos**

Algunos géneros típicos:

- *Serpula* (muy conocida en edificios).
- *Fomitopsis*.
- *Gloeophyllum*.

Especial mención:

- *Serpula lacrymans* es responsable de graves daños en construcciones de madera, incluso en ambientes urbanos.

**7. Importancia ecológica y práctica**

**En el medio natural**

- Participa en el reciclado del carbono.
- Descompone madera muerta en bosques.

**En construcciones y patrimonio**

- Es **extremadamente peligrosa**:
    - vigas,
    - suelos,
    - techumbres,
    - artesonados.

La madera puede parecer intacta por fuera y estar **totalmente inutilizada por dentro**.

👉 **Idea clave a retener**

La pudrición parda destruye la celulosa y las hemicelulosas, dejando la lignina concentrada, lo que da lugar a una madera oscura, seca y fragmentada en bloques cúbicos, con una pérdida muy rápida de resistencia mecánica.

## PODREDUMBRE O PUDRICIÓN BLANCA

Pasamos ahora a describir el **segundo gran tipo de degradación fúngica de la madera** y, desde el punto de vista ecológico, **el más singular**: aquel en el que el hongo **es capaz de eliminar la lignina**. Recordemos que la lignina es el segundo biopolímero más abundante en la Tierra después de la celulosa, y que forma parte de las paredes celulares de las plantas, proporcionándoles **rigidez, soporte y protección** contra los microorganismos.

Por eso recibe varios nombres equivalentes:

- **Pudrición blanca** → por el color final de la madera.
- **Pudrición fibrosa** → por la textura resultante.
- **Pudrición corrosiva** → por la acción química profunda.
- **Pudrición deslignificante** → por su rasgo definitorio: la eliminación de la lignina.

**1. Qué se degrada en la pudrición blanca**

A diferencia de la pudrición parda, aquí el hongo degrada:

- **Lignina** (de forma intensa),
- **Celulosa**,
- **Hemicelulosas**,

aunque **no siempre al mismo ritmo**.

Hay dos patrones frecuentes:

- **Deslignificación selectiva**: se elimina primero la lignina y quedan fibras de celulosa.
- **Degradación simultánea**: se degradan lignina y polisacáridos a la vez.

Esto explica la **variabilidad de aspecto** que muestran las imágenes de la diapositiva.

**2. Por qué la madera se vuelve blanca**

La lignina:

- es el componente **más oscuro** de la madera,
- aporta tonos pardos y marrones.

Al ser degradada:

- desaparece el color oscuro,
- quedan restos ricos en celulosa,
- la madera adquiere un aspecto **claro, blanquecino o amarillento pálido**.

👉 El color blanco es, por tanto, un **indicador visual de deslignificación**.

**3. Aspecto macroscópico de la madera**

Estas imágenes ilustran muy bien el resultado final:









- Madera **clara**.
- Textura **fibrosa**, a veces con aspecto de “algodón”.
- Estructura **esponjosa**.
- Se deshace en **fibras largas**, no en cubos.

A diferencia de la pudrición parda:

- no hay fractura cúbica,
- la madera no se vuelve quebradiza, sino **blanda y flexible**.

**4. Consecuencias mecánicas**

Desde el punto de vista estructural:

- La resistencia disminuye **de forma progresiva**.
- El colapso mecánico suele ser **más lento** que en la pudrición parda.
- Puede pasar desapercibida durante bastante tiempo.

Esto la hace:

- menos llamativa al inicio,
- pero **muy destructiva a largo plazo**, sobre todo en árboles vivos y grandes troncos.



**5. Enzimas implicadas**

La pudrición blanca es posible gracias a la producción de **enzimas ligninolíticas**:

- **Ligninasas** (dependientes de alcohol veratrílico),
- **Peroxidasas** (dependientes de $H_2O_2$),
- **Lacasas** (dependientes de $O_2$).

Estas enzimas:

- actúan **fuera de la célula**,
- generan radicales libres,
- rompen enlaces complejos de la lignina.

👉 Es un proceso **energéticamente costoso**, por eso solo ciertos hongos pueden hacerlo.

**6. Hongos causantes más representativos**

Los hongos de pudrición blanca suelen ser **basidiomicetos** lignícolas, entre ellos:

- *Trametes* (p. ej., *Trametes versicolor*),
- *Ganoderma*,
- *Phanerochaete* (especialmente *P. chrysosporium*),
- *Pleurotus* (en fases tempranas).

🔹 Estos hongos son **ecológicamente imprescindibles**, porque sin ellos la lignina se acumularía en los ecosistemas.

**7. Importancia ecológica**

La pudrición blanca es **única en la naturaleza** por una razón clave: **Los hongos de pudrición blanca son prácticamente los únicos organismos capaces de eliminar lignina a gran escala.**

Gracias a ello:

- se cierra el ciclo del carbono,
- se liberan nutrientes atrapados en la madera,
- se permite la renovación de los bosques.

Desde el punto de vista ecológico, **es el tipo de degradación más completo**.

**8. Importancia en el patrimonio y arbolado**

→ En entornos humanos:

- puede afectar a vigas, techumbres y elementos históricos,
- debilita la madera lentamente,
- produce daños extensos antes de ser visible.

→ En arbolado urbano:

- degrada el interior del tronco,

- mantiene la corteza aparentemente intacta,
- aumenta el riesgo de caída en fases avanzadas.

🔹 **Relación con la pudrición anterior**

→ Si comparamos:

- **Pudrición parda** → se elimina celulosa, queda lignina.
- **Pudrición blanca** → se elimina lignina y también polisacáridos.

→ Esto explica:

- diferencias de color,
- diferencias de textura,
- diferencias de velocidad y tipo de colapso.

🔹 **Idea clave ha retener**

La pudrición blanca es una degradación profunda y completa de la madera, caracterizada por la eliminación de la lignina, que da lugar a una madera clara, fibrosa y esponjosa, y desempeña un papel esencial en el reciclado natural del carbono.

## PUDRICIÓN BLANDA (SOFT ROT)

La **pudrición blanda** es el **tercer gran tipo de degradación de la madera** producida por hongos. Se diferencia claramente de la pudrición parda y de la blanca tanto por **el tipo de hongos implicados**, como por **el mecanismo de degradación** y **las condiciones ambientales en las que aparece**.

**1. Qué se degrada en la pudrición blanda**

En la pudrición blanda:

- Se degrada principalmente:
  - la **pared celular primaria**,
  - y las **capas externas de la pared secundaria**.
- La **lignina apenas se degrada** o no se degrada en absoluto.

Esto significa que:

- la estructura profunda de la madera puede mantenerse durante bastante tiempo,
- pero la madera **pierde cohesión y se reblandece progresivamente**.

👉 No es una degradación tan profunda como la blanca, ni tan rápida como la parda, pero es **persistente**.

**2. Qué hongos producen la pudrición blanda**

A diferencia de los otros dos tipos:

- La pudrición blanda es producida sobre todo por:
  - **Ascomicetos**,
  - y algunos **hongos imperfectos** (anamorfos).

Esto es importante porque:

- muchos de estos hongos **no poseen enzimas ligninolíticas potentes**,
- pero sí un buen repertorio de **celulasas y hemicelulasas**.

Ejemplos frecuentes (a nivel de género):

- *Chaetomium*,
- *Kretzschmaria* (en algunos contextos),
- *Trichoderma* (en fases iniciales o superficiales).

**3. Condiciones ambientales típicas**

La pudrición blanda aparece sobre todo en **condiciones extremas** para otros hongos:

- **Alta humedad persistente**.
- Contacto directo con el **suelo** o el agua.
- Ambientes:
  - encharcados,
  - costeros,
  - suelos muy húmedos,
  - maderas enterradas.

En estas condiciones:

- los hongos de pudrición blanca y parda **no prosperan bien**,
- pero los causantes de pudrición blanda **sí pueden actuar**.

👉 Por eso la pudrición blanda es típica de:

- postes,
- traviesas,
- maderas en contacto con tierra,
- zonas bajas y mal ventiladas.

**4. Mecanismo de degradación**

Desde el punto de vista microscópico:

- Las **hifas** penetran en la pared celular primaria.
- Se producen **cavidades o canales microscópicos** en la pared secundaria.
- La degradación avanza **desde el interior de la pared hacia fuera**, pero de forma limitada.

Existen dos patrones clásicos (descritos en microscopía):

- **Tipo I**: formación de cavidades alargadas dentro de la pared secundaria.
- **Tipo II**: erosión progresiva desde la superficie de la pared.

👉 Estos detalles ayudan a entender el proceso.

**5. Aspecto macroscópico de la madera**

La madera afectada por pudrición blanda presenta:

- **Reblandecimiento superficial**.
- Color relativamente **poco alterado** (no muy oscura ni muy blanca).
- La forma externa suele mantenerse.
- La degradación avanza **lentamente**.

A diferencia de:

- la parda → no hay fractura cúbica,
- la blanca → no aparece el aspecto fibroso blanquecino.

👉 Es una degradación **discreta**, pero continua.

**6. Consecuencias mecánicas**

Desde el punto de vista estructural:

- La pérdida de resistencia es **gradual**.
- La madera puede parecer aceptable durante mucho tiempo.
- El daño se acumula de forma silenciosa.

→ Esto la hace:

- peligrosa en estructuras enterradas o húmedas,
- difícil de detectar en fases tempranas.

**7. Importancia ecológica**

En el medio natural:

- La pudrición blanda permite la degradación de madera en ambientes:
  - demasiado húmedos o pobres en oxígeno, donde otros hongos no actúan.

Es, por tanto:

- una **vía alternativa de reciclado**,
- complementaria a la pudrición blanca y parda.

**8. Comparación clara con las otras pudriciones**

Esta comparación es importante para fijar ideas:

- **Pudrición parda**
  - degrada celulosa,
  - deja lignina,
  - madera oscura y cúbica,
  - colapso rápido.
- **Pudrición blanca**
  - degrada lignina (y polisacáridos),
  - madera clara y fibrosa,
  - degradación profunda y completa.
- **Pudrición blanda**
  - degrada pared primaria y capas externas,
  - lignina casi intacta,
  - madera reblandecida lentamente,
  - típica de ambientes muy húmedos.

👉 **Idea clave a retener**

La pudrición blanda es una degradación superficial y progresiva de la madera, producida principalmente por ascomicetos en ambientes muy húmedos, que afecta a la pared celular primaria y a capas externas de la secundaria sin degradar significativamente la lignina.

⇒ Ahora vamos a dar otro recorrido sobre este tema de la **pudrición blanda**, pero en un ambiente muy distinto, lo que nos va a servir para para identificar una de las enfermedades más comunes y destructivas en el mundo agrícola y la jardinería doméstica, saber cómo combatir este problema y que supone.

Se caracteriza por transformar tejidos vegetales firmes en una masa acuosa, blanda y, a menudo, con un olor muy desagradable.

**1. ¿Qué la causa?**

A diferencia de otros problemas del jardín causados por hongos, la podredumbre blanda es provocada principalmente por **bacterias**, siendo las más comunes:

- ***Pectobacterium carotovorum*** (antes llamada *Erwinia*)
- ***Dickeya spp.***
- ***Pseudomonas spp.***

Estas bacterias producen enzimas que disuelven la **pectina**, que es el "pegamento" que mantiene unidas las células de las plantas. Al romperse esa estructura, la planta colapsa y se vuelve líquida.

**2. Síntomas principales**

- **Textura acuosa:** Las áreas afectadas se sienten como papilla al tacto.
- **Olor fétido:** Es muy característico, similar a materia orgánica en descomposición profunda (debido a infecciones secundarias).
- **Cambio de color:** Las manchas suelen empezar como zonas "empapadas" de color verde oscuro, que luego pasan a ser marrones o negras.
- **Colapso rápido:** En condiciones de calor y humedad, una planta puede pasar de estar sana a estar totalmente podrida en cuestión de días.

**3. Condiciones que la favorecen**

- **Exceso de humedad:** Suelos encharcados o riego excesivo.
- **Heridas en la planta:** Cortes de poda mal curados, daños por insectos o granizo que sirven como puerta de entrada.
- **Falta de ventilación:** El aire estancado mantiene la humedad sobre la superficie de la planta.
- **Temperaturas altas:** La mayoría de estas bacterias prosperan entre los **20°C y 30°C**.

**4. Prevención y Control**

Lamentablemente, **una vez que la infección es grave, no tiene cura**. La clave es la prevención y la higiene:

- **Eliminación inmediata:** Retirar y destruir las plantas o partes afectadas. **No usarla para compost**, ya que las bacterias sobrevivirán.
- **Desinfección de herramientas:** Limpia las tijeras con alcohol al 70% después de cada corte para no propagar la bacteria a plantas sanas.
- **Mejorar el drenaje:** Asegurarse de que el sustrato no retenga agua en exceso.
- **Control de plagas:** Muchos insectos transportan estas bacterias; controlarlos ayuda a reducir los brotes.
- **Tratamientos con cobre:** Los fungicidas a base de cobre pueden ayudar a prevenir la entrada de bacterias, aunque su efectividad es limitada una vez que la infección está dentro del tejido.

**CULTIVOS MÁS AFECTADOS**

| TIPO | EJEMPLOS |
|---|---|
| **Hortalizas** | Patatas (papa), zanahorias, cebollas, lechugas y tomates. |
| **Ornamentales** | Calas, orquídeas, cactus y suculentas (muy comunes por exceso de riego). |

⇒ Al tratar la **podredumbre blanda en árboles frutales** el escenario cambia respecto a las hortalizas. Aunque las bacterias que mencionamos antes pueden atacar brotes tiernos, en los árboles frutales generalmente se trata de dos problemas graves: la **afección de brotes y frutos** o, de forma más estructural, a la **podredumbre de la madera** (como ya hemos visto anteriormente).

→ Estos son los tipos de pudrición blanda más comunes en el contexto forestal y frutal:

**1. Fuego Bacteriano (*Erwinia amylovora*)**

Es la versión más peligrosa de la "podredumbre blanda" en árboles de la familia de las rosáceas (manzanos, perales, membrillos, nísperos).

- **Síntomas:** Las flores, hojas y brotes jóvenes se vuelven negros o marrones de repente, como si se hubieran quemado.
- **El signo clave:** En condiciones húmedas, aparece un **exudado bacteriano** (un líquido viscoso, blanco o anaranjado) que gotea de las partes infectadas. Es tejido vegetal deshecho por bacterias.
- **Gravedad:** Puede matar un árbol joven en una sola temporada.

**2. Pudrición de Raíces y Cuello (*Phytophthora* y *Pythium*)**

Aunque técnicamente son *oomicetos* (parecidos a hongos), causan una descomposición blanda y húmeda en la base del árbol.

- **Síntomas:** La corteza en la base del tronco (el cuello) se vuelve blanda, oscura y puede desprenderse con facilidad. Si raspas la corteza, verás el tejido de debajo marrón o negro en lugar de verde/blanco sano.
- **Causa:** Casi siempre es por **exceso de riego** o suelos compactados que no drenan.

**¿CÓMO IDENTIFICAR CUÁL ES LA CAUSA?**

| SI SE VE... | PROBABLEMENTE SEA... |
|---|---|
| Ramas jóvenes "quemadas" con líquido pegajoso | **Fuego bacteriano** (Muy grave) |
| Corteza blanda y húmeda a ras de suelo | **Phytophthora** (Exceso de agua) |
| Madera de un tronco viejo que parece una esponja mojada | **Podredumbre estructural blanda** |
| Frutos que se deshacen en una papilla maloliente | **Pectobacterium** (Bacteriosis del fruto) |

**¿Qué se puede hacer?**

1. **Cirugía vegetal:** Si la podredumbre está en una rama, corta **al menos 30-50 cm por debajo** de la zona afectada. Las bacterias viajan por dentro antes de que se vea el daño.
2. **Higiene estricta:** Desinfecta las herramientas con lejía o alcohol entre corte y corte. Si no lo haces, tú mismo extenderás la enfermedad al resto del árbol.
3. **Drenaje:** Si el problema está en la base (cuello/raíces), deja de regar inmediatamente y, si es posible, retira un poco de tierra para que el cuello del árbol respire y se seque.
4. **No usar abonos nitrogenados en exceso:** El exceso de nitrógeno crea brotes muy tiernos y débiles que son "carne de cañón" para estas bacterias.

## DIVERSIDAD DE LOS HONGOS DE LA MADERA

La mayoría de los hongos lignícolas pertenecen al grupo de los **Basidiomicetos**, en especial a las órdenes **Aphyllophorales** y **Agaricales**.

Presentan:

- Cuerpos fructíferos resistentes (anuales o perennes),
- Sistemas de hifas monomíticos, dimíticos o trimíticos,
- Himenios de tipo liso, tubular o lamelar.

Ejemplos:

- *Phanerochaete* (saprófito, descomponedor de lignina).
- *Hydnum repandum* (hongo comestible con himenóforo en forma de aguijones).

## CULTIVO DE HONGOS SAPRÓFITOS

Aquí el tema adquiere un enfoque **biotecnológico y aplicado**.

**Condiciones generales de cultivo**

- Temperatura: 20–30 °C (óptimo para la mayoría).
- pH: ligeramente ácido (3,5–6,5).
- Oxígeno: aerobios o anaerobios facultativos.
- Agua: esencial, aunque resisten sequía.
- Luz: necesaria para la **formación de esporas**.
- Nutrientes: carbono, nitrógeno y oligoelementos.

**Cultivo industrial**

Los hongos más cultivados son:

- **Agaricus bisporus** (*champiñón*),
- **Pleurotus ostreatus** (*seta de ostra*),
- **Lentinula edodes** (*shiitake*),
- **Flammulina velutipes** (*enoki*),
- **Agrocybe aegerita** (*seta de chopo*).

**Fases del cultivo**

1. **Aislamiento e inoculación del micelio.**
2. **Crecimiento sobre sustratos lignocelulósicos (paja, serrín, compost).**
3. **Incubación y expansión miceliar (in vitro).**
4. **Fructificación (ex vitro) bajo control de luz, humedad y temperatura.**

En el *Pleurotus eryngii*, por ejemplo, el micelio coloniza el sustrato en 30 días y forma cuerpos fructíferos en una o dos semanas.

La cosecha puede repetirse varios ciclos.

**Casos destacados**

- *Agaricus bisporus:* cultivado desde el siglo XVII (Versalles, 1670); actualmente industrializado en cuevas o naves controladas.
- *Coprinus comatus:* hongo comestible de rápido crecimiento sin necesidad de compostaje previo.
- *Volvariella volvacea:* "seta de paja de arroz", típica de Asia tropical.
- *Pleurotus citrinopileatus* y *P. djamor:* especies coloreadas sin fermentación previa.

## APLICACIONES E INVESTIGACIÓN

El cultivo de macromicetos presenta grandes ventajas:

- Producción regular y controlada.
- Ahorro de suelo agrícola.
- Reducción de intoxicaciones por setas silvestres.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas.
- Libre de contaminantes y metales pesados.

Además, se desarrollan proyectos de **investigación aplicada** (agronómica, medicinal y ecológica), con estudios sobre **taxonomía, ecología y filogenia**.

En el ámbito industrial se requiere:

- **Laboratorio** con autoclaves, incubadores y cámaras de flujo.
- **Técnicas de esterilización, inoculación y fructificación controlada.**

Se realizan **experimentos sobre bioacumulación radiactiva en basidiocarpos**, que analizan cómo los hongos pueden absorber y concentrar contaminantes del entorno.

# TEMA 4.2 – LOS HONGOS PARÁSITOS Y LA PATOLOGÍA FORESTAL

## CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los **hongos parásitos** colonizan la superficie o el interior de **plantas y animales vivos**, pero no viven exclusivamente de sus exudados.

Cuando su acción causa daño o enfermedad al hospedante, se les denomina **patógenos**.

Algunos son **inocuos o débiles**, otros **altamente virulentos**.

La **virulencia** mide el grado de daño que producen, y cuando es extrema puede llevar a la **muerte del huésped** y, por tanto, a la desaparición del propio parásito: el equilibrio entre ambos depende de la **selección natural**.

Existen alrededor de **5.000 especies que parasitan plantas** y unas **500 que afectan a animales y humanos** (destacan *Candida*, *Pneumocystis carinii*, dermatofitos).

El hongo más grande del planeta es *Armillaria ostoyae*, cuyo micelio ocupa **890 hectáreas** en Oregón y tiene unos **2.400 años** de antigüedad.

## EJEMPLOS E IMPORTANCIA ECOLÓGICA

Ejemplos de parásitos vegetales:

- *Puccinia menthae* (roya de la menta).
- *Ustilago maydis* (carbón del maíz).
- *Armillaria ostoyae* y *A. gallica* (hongos radiculares, con **rizomorfos** negros que penetran en raíces).



Estos hongos no sólo atacan árboles y cultivos, sino que modelan los ecosistemas al controlar la densidad y renovación de los bosques.

## CONCEPTO DE PATOLOGÍA FORESTAL

La **Patología Forestal** estudia las **enfermedades de los árboles y plantas del monte**, tanto **fisiológicas** (causadas por el ambiente) como **parasitarias** (causadas por patógenos vegetales).

Cuando el origen es animal (insectos, ácaros, vertebrados), se estudia en **Entomología Forestal**.

El concepto moderno de **plaga forestal** incluye hongos, bacterias, virus, fanerógamas parásitas e incluso vertebrados y malezas.





## CAUSAS DE ENFERMEDAD: FACTORES ABIÓTICOS

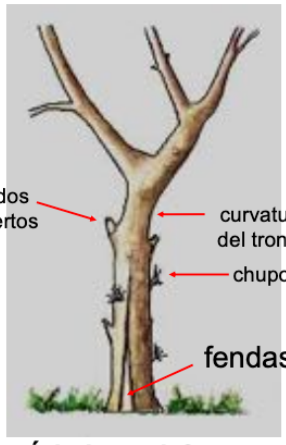
Los **factores abióticos** (externos) producen enfermedades **no infecciosas**, de origen ambiental o fisiológico:

| TIPO DE FACTOR | EJEMPLO O EFECTO PRINCIPAL |
|---|---|
| **Falta de agua** | Marchitez, bordes secos en hojas, muerte de pies aislados. Afecta más a plántulas y especies no adaptadas. |
| **Exceso de agua** | Asfixia radicular en suelos arcillosos. Decoloración de hojas. |
| **Frío** | Grietas radiales ("fendas"), deshidratación, daño por heladas. |
| **Calor** | Quemaduras en corteza y cambium (especialmente en troncos orientados al mediodía). |
| **Suelo** | Deficiencias o excesos de nutrientes: N, Fe, Mg, Ca, etc. |
| **Contaminación atmosférica** | Gases industriales, ozono, sales marinas, pesticidas. |
| **Daños mecánicos** | Heridas por poda, animales, granizo, viento, etc. Facilitan la entrada de hongos xilófagos. |

Aquí podemos ver un esquema muy claro con síntomas de **carencias minerales** en las hojas: el nitrógeno causa amarilleamiento general, el hierro afecta a las hojas jóvenes y el potasio produce bordes necróticos.



**Árbol sin defectos aparentes**




**Árbol con defectos**








## FACTORES BIÓTICOS (PATÓGENOS)

Los **factores bióticos** son organismos que **parasitan o depredan** otras especies. Incluyen hongos, bacterias, virus y plantas parásitas.

Entre los hongos hay **depredadores de nematodos** como *Arthrobotrys*, que usa **anillos adhesivos y constrictores** para atraparlos.

Otros, como *Ustilago maydis*, forman una **simbiosis parasítica** con el maíz, desarrollando tumores oscuros (carbones).

**Ejemplo de biotrofia:**

- *Erysiphe graminis* o *Blumeria graminis* (oídio de los cereales): forma un micelio superficial con **haustorios** que penetran las células vivas del huésped sin matarlas.

En la diapositiva 41 se observa su estructura: **conidióforos y haustorios**.

**Ejemplo de necrotróficos:**

- Hongos que primero destruyen las células y luego se alimentan del tejido muerto (pudriciones, chancros).

## ROYAS Y CARBONES

**Roya de los cereales**, ***Puccinia graminis***



***Puccinia graminis***

**Roya de gimnospermas**
*Cronartium ribicola*



***Cronartium ricocola***

- *Puccinia graminis* (roya del trigo) y *Cronartium ribicola* (roya de pinos y groselleros) son ejemplos de hongos biotróficos complejos, con varios hospedantes alternos y distintos tipos de esporas.

## CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁSITOS

1. **Según su dependencia del huésped:**
   - **Obligados:** sólo viven en tejidos vivos (*Puccinia*, *Erysiphe*).
   - **Facultativos:** pueden vivir de materia muerta (*Armillaria*).
2. **Según su localización:**
   - **Exoparásitos:** crecen sobre la superficie.
   - **Endoparásitos:** crecen en el interior.
3. **Según el tipo celular:**
   - **Biotróficos:** células vivas.
   - **Necrotróficos:** células muertas.
   - **Hemibiotróficos:** comienzan biotróficos y terminan necrotróficos.
4. **Según el número de hospedantes:**
   - **Estricto (monoxénico)** o **omnívoro (polixénico)**.

## FITOPATÓGENOS MÁS IMPORTANTES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

**1. Virosis**

Afectan a **Acer, Eucalyptus, Populus, Ulmus**, produciendo moteados y "escobas de brujas".

Transmisión por **insectos, poda o injertos**.

**2. Bacteriosis**

La única forestal importante es la **tuberculosis del pino** (*Pinus halepensis*), que produce tumores en ramas.

**3. Fanerógamas parásitas**

El **muérdago** (*Viscum album*) ataca abetos, pinos y chopos; su eliminación es costosa porque vuelve a brotar si no se corta la rama afectada.

Otros géneros como *Arceuthobium* producen "escobas de brujas" en enebros (*J. communis*) y abetos (*Abies*).

**4. Micosis (hongos patógenos)**

Son las **más graves**.

Abarcan numerosos géneros que afectan a viveros, coníferas y frondosas.

| TIPO DE PLANTA | GÉNEROS Y ENFERMEDADES |
|---|---|
| **Viveros** | *Fusarium*, *Alternaria*, *Pythium*, *Phytophthora*. |
| **Coníferas** | *Armillaria* spp. y *Heterobasidion annosum*. |
| **Castaño** | *Endothia parasitica* (chancro) y *Phytophthora cinnamomi* (tinta). |
| **Olmo** | *Ceratocystis ulmi* (grafiosis). |
| **Encina y roble** | *Hypoxylon mediterraneum* (chancro carbonoso), *Phytophthora*, *Armillaria*. |
| **Otras frondosas** | *Nectria cinnabarina*, *Rhytisma acerinum*. |

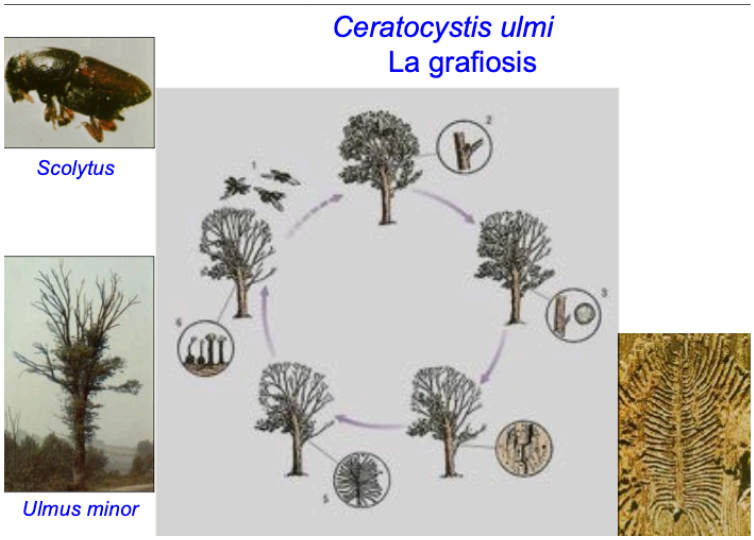
## LA GRAFIOSIS DEL OLMO

Causada por *Ceratocystis ulmi*, transmitida por el escarabajo *Scolytus*.

Provoca marchitez, desecación y muerte progresiva del árbol (*Ulmus minor*).

La enfermedad se detectó en Europa a principios del siglo XX y devastó los olmos urbanos y rurales.

Los dibujos del ciclo muestran cómo el insecto introduce las esporas al alimentarse de la savia.




## EL CHANCRO CARBONOSO DE LAS QUERCÍNEAS

Causado por *Hypoxylon mediterraneum*, se manifiesta como **placas negras bajo el corcho**, sin afectar al exterior, pero destruyendo el tejido interno.

Aparece sobre todo en **alcornoques debilitados** por sequía o heridas.

El control se basa en **desinfectar herramientas de poda y descorche** y eliminar las ramas afectadas.

La "**seca**" es un síndrome complejo en el que intervienen varios agentes: *Phytophthora spp.*, *Armillaria spp.* y *Hypoxylon mediterraneum*, combinados con el estrés hídrico.

## OTROS HONGOS RELEVANTES

Incluyen especies saproparásitas que causan **pudriciones de tronco** o **enfermedades debilitantes**:

- *Ganoderma lucidum* (reishi, también de interés medicinal).
- *Fomes fomentarius* (yesca).
- *Fomitopsis pinicola*, *Phellinus pini* (casco de caballo).
- *Chondrostereum purpureum*, *Inonotus hispidus*, *Fistulina hepatica*.
- *Piptoporus betulinus*, usado desde la Edad de Cobre (como muestra el hallazgo del "hombre de los hielos", Ötzi, con ejemplares atados a su cinturón).

## MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

Tres tipos de medidas se aplican para evitar o reducir las enfermedades forestales:

1. **Profilácticas y terapéuticas:**
    - *Químicas*: fungicidas o desinfectantes.
    - *Mecánicas*: podas, retirada de material infectado.
    - *Biológicas*: control mediante hongos antagonistas (p. ej. *Trichoderma*).
2. **Selección genética:**
    - *Híbridos resistentes*, como los del castaño.
    - *Especies resistentes* a patógenos locales.
3. **Medidas administrativas:**
    - Controles fitosanitarios en fronteras y viveros.
    - Vigilancia de importaciones de plantas y maderas.

Las **Trichodermas**, son ejemplos de **agentes biocontroladores**: colonizan raíces, producen enzimas antifúngicas y compiten con los patógenos, evitando la infección.

# TEMA 5 – ASPECTOS NUTRICIONALES Y RELACIÓN DE LOS HONGOS CON OTROS ORGANISMOS II

## CLASIFICACIÓN NUTRICIONAL

Los hongos se agrupan según la fuente de su alimento:

- **Saprófitos** → obtienen materia orgánica de restos muertos o exudados.
- **Simbióticos** → viven asociados a organismos vivos:
  - **Parásitos**, si perjudican al huésped.
  - **Mutualistas**, si ambos se benefician (caso de las micorrizas).

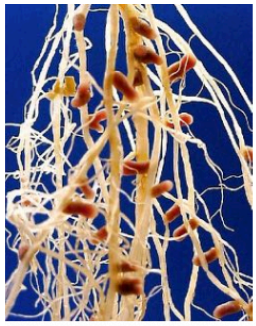
Esta relación de cooperación equilibrada se considera un **"comercio justo"** entre especies.

## TIPOS DE SIMBIOSIS MUTUALISTAS

Las asociaciones mutualistas se dividen en:

**1. Procariotas**

- **Rhizobium** (bacterias del género que fija $N_2$ en leguminosas).
- **Frankia** (actinomiceto simbionte de alisos).
- **Nostoc** (cianobacteria simbiótica en líquenes y plantas).



*Rhizobium*



*Frankia*



*Nostoc*







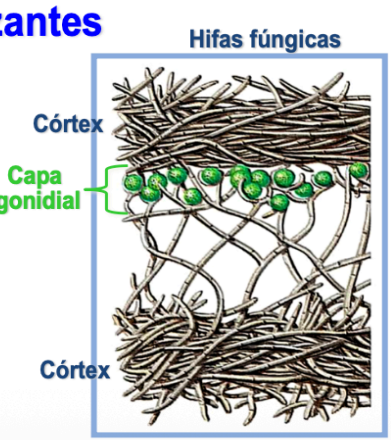
**2. Eucariotas**

- **Líquenes:** unión entre un hongo (micobionte) y un alga o cianobacteria (fotobionte).
- **Hongos endófitos:** viven dentro de las plantas sin dañarlas, mejorando su resistencia.
- **Hongos–insectos:** como los del género *Termitomyces* en termiteros africanos.
- **Hongos micorrícicos:** asociados a las raíces de las plantas, base de este tema.

## EJEMPLOS VISUALES

- Los **líquenes** presentan una estructura organizada: una **capa gonidial** de algas fotosintéticas dentro de una red de hifas fúngicas.







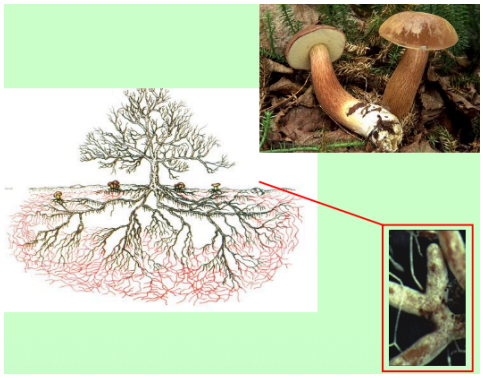
- Los **hongos endófitos** pueden producir alcaloides tóxicos que protegen a la planta huésped.

- Las **hormigas y termitas** cultivan hongos (*Termitomyces*) en cámaras internas, alimentándose de ellos.





Corte transversal de un termitero



- Los **hongos micorrícicos** conectan el micelio con las raíces, estableciendo un intercambio continuo de agua, sales minerales y azúcares.

## BIOLOGÍA DE LA RIZOSFERA

La **rizosfera** es la zona del suelo influenciada por las raíces y su microbiota.
Contiene:

- **Microorganismos:** bacterias, hongos, algas, virus.
- **Microfauna:** nematodos, protozoos, artrópodos.

**Importancia:**

- La fertilidad del suelo depende de la **actividad microbiana**.
- En los 20 cm superficiales de una hectárea fértil hay **5 toneladas de bacterias y hongos**.
- Las raíces secretan exudados que atraen microorganismos beneficiosos, incluyendo **bacterias PGPR** ("*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*") y **hongos micorrícicos**, formando la llamada **micorrizosfera**.

## LOS HONGOS MICORRÍCICOS

Son asociaciones entre el micelio fúngico y las raíces de una planta que producen modificaciones anatómicas conocidas como **micorrizas**.

**Etimología:** del griego *mykes* (hongo) y *rhiza* (raíz).

**Características:**

- Beneficio mutuo: el hongo obtiene carbono de la planta y le aporta nutrientes minerales (P, N, K, Zn, Cu).
- Relación **obligatoria y equilibrada**, sin activación de defensas.
- Están presentes en **más del 90% de las plantas** naturales.
- Son esenciales en **ecosistemas pobres o degradados** y en **reforestaciones**.

## HISTORIA Y DEFINICIÓN

- El término **"micorriza"** fue acuñado por el biólogo y micólogo alemán. **A.B. Frank (1885)**.
- El concepto de **simbiosis** por el botánico, microbiólogo y micólogo alemán **Heinrich Anton de Bary (1887)**.
- Los primeros estudios anatómicos se realizaron por **Melin (1922)** y **Rayner (1927)**.

Desde 1950 se amplía su investigación hacia la **nutrición vegetal, la ecología y la biología molecular**.

**Definición moderna:**

Una micorriza es una **relación mutualista obligada** entre un hongo y la raíz de una planta, donde ambos se benefician intercambiando nutrientes.

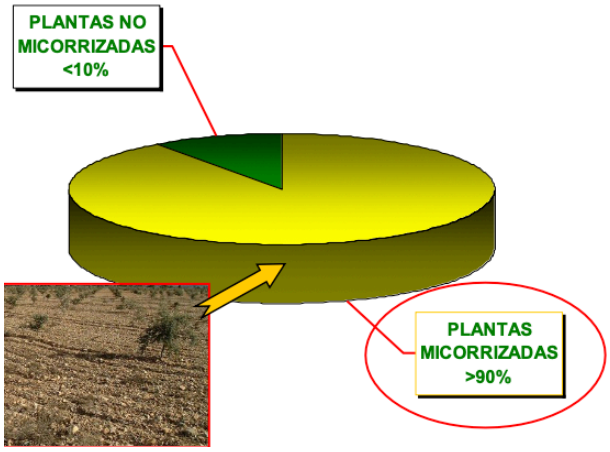
## DIFUSIÓN EN EL REINO VEGETAL

Más del **90% de las plantas** son micorrizadas:

- **70%** obligadas.
- **12%** facultativas.
- **18%** no micorrícicas
  - (familias como *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*).

→ Aparecen en todos los grupos de plantas terrestres, desde **briófitos** y **pteridófitos** hasta **gimnospermas y angiospermas**.

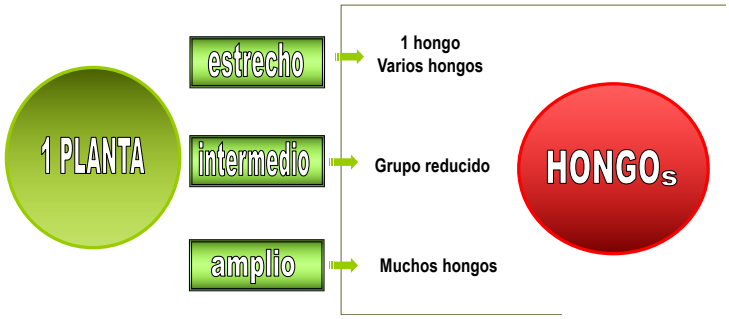
→ Incluso se han hallado micorrizas en **la Antártida** (*Glomus antarcticum*).

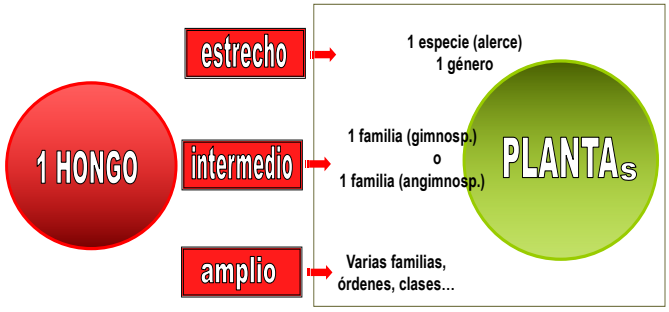



## COMPATIBILIDAD Y BENEFICIOS

Cada micorriza depende de la **compatibilidad entre hongo y planta**, que puede ser:

- **Estrecha:** un hongo con una sola especie.
- **Amplia:** un hongo con varias familias vegetales.




→ **Beneficios ecológicos:**

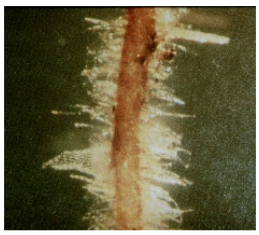
- Mayor superficie radicular
- Aumento de la rizosfera
- Movilización de nutrientes minerales
- Aumento de biomasa aérea y radical
- Aumento de la capacidad de absorción de agua
- Producción de fitohormonas
- Protección frente a patógenos del suelo
- Mejora estructural del suelo
- Reducción de efectos tóxicos

## TIPOS DE MICORRIZAS

Existen varios tipos según la estructura de la raíz y el tipo de hifas.

| Tipo principal | Características | Ejemplos de plantas |
|---|---|---|
| **Ectomicorrizas (ECM)** | Forman un **manto externo de hifas** y penetran **entre** las células corticales (red de Hartig). | Pinos, encinas, hayas, abedules, sauces. |
| **Endomicorrizas (VAM o AM)** | No forman manto; las hifas penetran **dentro** de las células corticales formando **arbúsculos** y **vesículas**. | Gramíneas, leguminosas, la mayoría de angiospermas. |
| **Ectendomicorrizas** | Mixtas; presentan rasgos de los dos tipos anteriores. | *Arbutus*, *Monotropa*, *Pyrola*. |
| **Ericoides** | En *Ericaceae* (brezos). | Plantas de suelos ácidos. |
| **Orquideoides** | En orquídeas; esenciales para la germinación de sus semillas. | *Orchis*, *Phalaenopsis*. |
| **Monotropoides** | En plantas sin clorofila; se alimentan indirectamente de árboles vecinos. | *Monotropa*, *Pterospora*. |

## Diapositivas 49–63 – ECTOMICORRIZAS







Participan **Ascomycota y Basidiomycota** (*Tuber*, *Boletus*, *Lactarius*, *Amanita*, *Pisolithus*).

Forman estructuras típicas como el **manto micelial** y la **red de Hartig**.

En el bosque, cada raíz micorrizada muestra formas muy variables (dicotómicas, coraloides, tuberculoides).

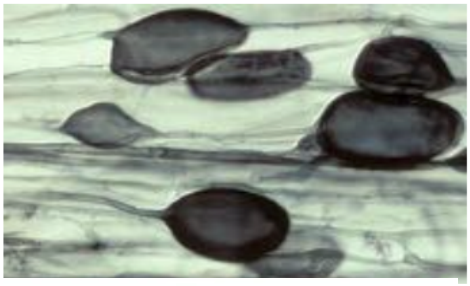
Ejemplo clásico: *Pisolithus tinctorius* con *Quercus ilex*.

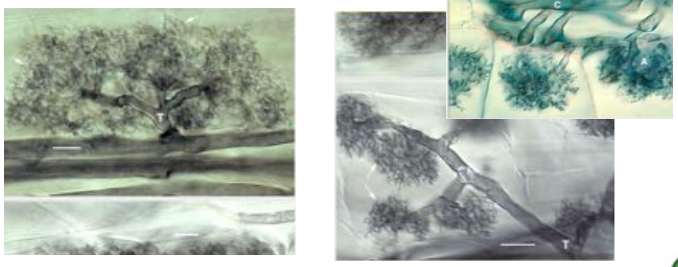
## ENDOMICORRIZAS

Hongos antiguos (sin fase sexual conocida), del grupo **Glomeromycota** (*Glomus, Gigaspora, Scutellospora*).

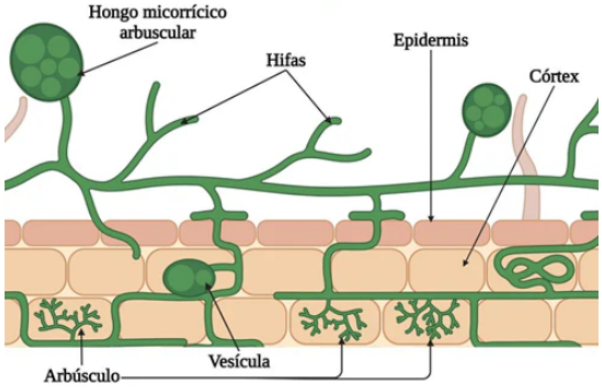
Forman estructuras como:

- **Arbúsculos:** ramificaciones intracelulares efímeras donde ocurre el intercambio.
- **Vesículas:** reservas nutritivas en raíces viejas.





Arbúsculos




- **Hifas intrarradicales e intercelulares.**

Sus esporas (20–1000 µm) son visibles al microscopio y se aíslan del suelo por **tamizado**.

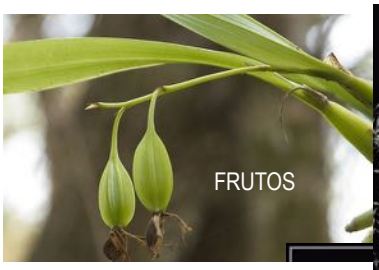
## MICORRIZAS ORQUIDEOIDES

Las **orquídeas** (unas 15.000 especies) dependen totalmente del hongo para germinar, ya que sus semillas carecen de **endospermo**.

El hongo (p. ej. *Rhizoctonia*, *Ceratobasidium*, *Tulasnella*) aporta los nutrientes necesarios al embrión (protocormo).

Esta simbiosis es **obligada** y puede mantenerse durante toda la vida de la planta.









## MICORRIZAS MONOTROPOIDES

Son **plantas sin clorofila**, como *Monotropa uniflora* o *Pterospora*, que obtienen carbono de árboles cercanos a través del hongo intermediario (*Russula* u otros Basidiomicetos).

La asociación es tripartita: **árbol – hongo – planta aclorofílica**.

## CONCLUSIONES Y BENEFICIOS

Las micorrizas:

- Incrementan la biomasa vegetal y la fertilidad del suelo.
- Aumento de la rizosfera
- Movilización de nutrientes
- Aumento de biomasa aérea y radical
- Aumento de la capacidad de absorción de agua
- Producción de fitohormonas
- Protección frente a patógenos
- Mejora estructural del suelo
- Reducción de efectos tóxicos
- Permiten la supervivencia en suelos pobres.
- Protegen frente a sequías, patógenos y metales pesados.
- Son esenciales en la sucesión ecológica y en la repoblación forestal.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

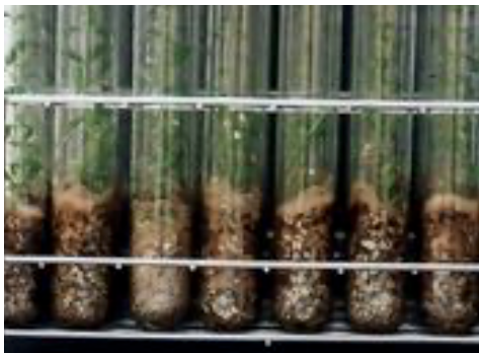
El conocimiento micorrícico tiene grandes aplicaciones:

1. **Cultivo in vitro:**
    - De especies simbióticas como *Tuber melanosporum* (trufa negra).
    - Conservación genética en **bancos de germoplasma**.
2. **Síntesis experimental:**
    - En laboratorio o vivero se inoculan raíces de plántulas con hongos específicos.
    - En viveros forestales se emplean *Pisolithus tinctorius*, *Rhizopogon*, *Glomus* spp.





3. **Aplicaciones agrícolas y ecológicas:**
    - Fertilizantes biológicos (*Glomygel*, *Geomygel*).
    - Restauración de suelos degradados.
    - Producción de plantas truferas o micorrizadas con hongos comestibles (trufas, boletos, níscalos, etc.).



# CUADRO COMPARATIVO DE TIPOS DE MICORRIZAS

| TIPO DE MICORRIZA | ESTRUCTURA | HONGOS ASOCIADOS | PLANTAS HUÉSPED |
|---|---|---|---|
| Ectomicorrizas | Manto miceliar externo. Red de Hartig entre células corticales. No penetran el interior celular. | Basidiomicetos (Boletus, Amanita, Lactarius, Russula, Suillus, Cortinarius). Ascomicetos (Tuber, Terfezia). | Árboles y arbustos leñosos: Pinus, Quercus, Fagus, Betula, Picea, Abies. |
| Endomicorrizas (arbusculares) | Sin manto externo. Hifas penetran en células corticales. Formación de arbúsculos y vesículas. | Glomeromycota (Glomus, Gigaspora, Acaulospora, Scutellospora). | Mayoría de plantas vasculares: gramíneas, leguminosas, cultivos agrícolas. |
| Orquideoides | Hifas intracelulares formando pelotones. Simbiosis obligatoria en germinación. | Basidiomicetos (Rhizoctonia s.l., Ceratobasidium, Tulasnella, Sebacina). | Orquídeas: Orchis, Ophrys, Dactylorhiza, Phalaenopsis. |
| Ericoides | Hifas finas en células epidérmicas. Sin manto externo. | Ascomicetos (Hymenoscyphus, Oidiodendron). | Ericaceae: Erica, Calluna, Vaccinium, Rhododendron. |
| Monotropoides | Estructura ectomicorrícica. Red de Hartig. Relación tripartita árbol–hongo–planta. | Basidiomicetos ectomicorrícicos (Russula, Tricholoma, Lactarius). | Plantas aclorofílicas: Monotropa, Pterospora, Sarcodes. |
| Arbutoides | Manto miceliar externo con penetración intracelular limitada. | Basidiomicetos (Lactarius, Russula, Thelephora). | Ericaceae leñosas: Arbutus unedo, Arctostaphylos. |

### IDEAS CLAVE PARA ENTENDER EL CUADRO

- **Ectomicorrizas** → típicas de **bosques templados y mediterráneos**, esenciales en árboles.
- **Endomicorrizas (AM)** → las **más extendidas** en la biosfera (≈90 % de las plantas).
- **Orquideoides** → **obligatorias** para la germinación de las orquídeas.
- **Ericoides** → especialización extrema para **suelos ácidos y pobres**.
- **Monotropoides** → plantas **parásitas indirectas** del sistema micorrícico.
- **Arbutoides** → formas **intermedias**, muy interesantes desde el punto de vista evolutivo.

# TEMA 6 – INTOXICACIONES PRODUCIDAS POR HONGOS

## CONCEPTO DE MICOTOXINA

Las **micotoxinas** son **compuestos de bajo peso molecular** producidos durante el **metabolismo secundario** de algunos hongos.

Causan una **respuesta tóxica en vertebrados**, incluso en **bajas concentraciones**.

La vía principal de entrada es **alimentaria**:

- Por **consumo directo** de alimentos con mohos.
- O por **productos contaminados solo con la toxina**, aunque el hongo haya desaparecido.

◈ Importante: no todos los daños causados por hongos implican micotoxinas.

## TIPOS DE TRASTORNOS

Las intoxicaciones se agrupan en tres grandes bloques:

1. **Por hongos microscópicos (mohos y micotoxinas).**
2. **Por setas comestibles (mal estado o mal cocinadas).**
3. **Por setas venenosas o psicoactivas.**

### ⇒ TRASTORNOS CAUSADOS POR HONGOS MICROSCÓPICOS

Pueden causar:

- **Alergias por contacto o inhalación de esporas.**
- **Intoxicaciones alimentarias** por micotoxinas.

| GÉNERO FÚNGICO | TOXINA PRINCIPAL | EFECTO TÓXICO | ALIMENTOS CONTAMINADOS |
|---|---|---|---|
| *Aspergillus flavus* / *A. parasiticus* | Aflatoxina | Cáncer hepático | Cacahuetes, maíz, arroz |
| *Penicillium viridicatum* / *P. nordicum* | Ocratoxina | Daño renal | Cereales, quesos, carnes curadas |
| *Penicillium expansum* | Patulina | Daño hepático y pulmonar | Frutas y quesos |
| *Fusarium graminearum* | Tricotecenos | Trastornos digestivos y nerviosos | Cereales |

### ⇒ 2. TRASTORNOS POR SETAS COMESTIBLES

El peligro no siempre proviene de especies tóxicas, sino de:

- **Mala manipulación:** guardarlas en bolsas de plástico, comerlas crudas o en conserva en mal estado.
- **Estado de la seta:** muy madura, helada, parasitada o recogida en zonas contaminadas (carreteras, vertederos).

Estas pueden acumular **metales pesados** (arsénico, plomo, mercurio, cadmio) y producir **intoxicaciones crónicas**.

◈ **Estas son las más comunes:**

## PAXILLUS INVOLUTUS

Causa una **alergia alimentaria grave** por sensibilización progresiva (tras varias ingestas).



- Síntomas (0,5–2 h): cólicos, vómitos, hemólisis, ictericia, oliguria, dolor renal.
- Puede producir **fracaso renal** y muerte.
- No tiene toxinas conocidas.
- **Tratamiento:** sintomático.
-

## TRICOLOMA EQUESTRE



Produce **síndrome rabdomiolítico** (daño muscular).

- Toxina: desconocida.
- Provoca destrucción de fibras musculares cardíacas.
- **Tratamiento:** sintomático.

## COPRINUS ATRAMENTARIUS



Produce **síndrome coprínico**, sólo si se mezcla con alcohol.

- Toxina: **coprina**.
- Síntomas (minutos–1 h): enrojecimiento, calor, taquicardia, colapso circulatorio.
- No mortal, y se resuelve solo.



## HELVELLA SPP.

Produce intoxicación por **monometilhidracina** (citotóxica, hemolítica).

- Termolábil → desaparece al cocer.
- Síntomas: vómitos, diarrea, mareos y luego daño hepático.

## MORCHELLA SPP. (COLMENILLAS)



Contienen toxinas **desconocidas y termolábiles**.

Causan dos síndromes:

1. **Gastrointestinal:** 5 h tras la ingesta.
2. **Neurológico:** 12 h, con temblores y ataxia.

Evitable con buena cocción.

### ⇒ TRASTORNOS POR SETAS VENENOSAS Y PSICOTRÓPICAS

## REGLAS FALSAS

Por muchos argumentos que se den, no existen métodos simples para distinguir las setas venenosas: la **única regla válida es conocer la especie**.

## CLASIFICACIÓN GENERAL

| Tipo de veneno | Síndrome | Ejemplos de especies |
|---|---|---|
| **Protoplasmáticos** | Faloidiano, Orellánico, Giromitrínico | *Amanita phalloides*, *Cortinarius orellanus*, *Gyromitra esculenta* |
| **Irritantes gastrointestinales** | Resinoide | *Entoloma lividum*, *Lactarius torminosus* |
| **Efectos neurológicos** | Muscarínico, micoatropínico, alucinatorio | *Amanita muscaria*, *Psilocybe spp.*, *Inocybe spp.* |

## SÍNDROME FALOIDIANO (HEPATOTÓXICO)

- Causado por *Amanita phalloides*, *Lepiota helveola*, *Galerina marginata*.

**Toxinas principales:**

- **Amatoxinas (amanitinas):** muy estables al calor y digestión.
- **Falotoxinas y virotoxinas.**

- Una sola seta puede matar a un adulto (dosis letal: **5–10 mg**).

**Síntomas y fases evolutivas:**

1. **Incubación (0–12 h):** sin síntomas.
2. **Fase coleriforme (12–24 h):** diarreas, vómitos, deshidratación.
3. **Mejoría aparente (24–48 h):** falsa recuperación.
4. **Fase visceral (72 h):** insuficiencia hepática y renal.

**Tratamiento hospitalario:**

- Lavado intestinal, carbón activo, sueros, vitamina K, silimarina, penicilina G.
- Si el daño hepático supera el 70%, requiere **trasplante**.

## SÍNDROME ORELLÁNICO (NEFROTÓXICO)

- Causado por *Cortinarius orellanus*.
- Toxinas: **orellanina y cortinarina**.
- **Latencia:** 2–17 días.
- Síntomas: sed, dolor renal, poliuria, anuria, insuficiencia renal irreversible.

## SÍNDROME GIROMITRÍNICO (HIDRACÍNICO)

- Causado por *Gyromitra esculenta*.
- Toxina: **giromitrina**, que libera **metilhidracina** (hepatotóxica y cancerígena).
- Síntomas: vómitos, ictericia, delirios, hemólisis.
- Tratamiento: **vitamina B6, carbón activo y purgantes.**

## SÍNDROME GASTROINTESTINAL (RESINOIDE)

- Causado por especies diversas como:
- *Entoloma lividum*, *Clitocybe nebularis*, *Lactarius torminosus*, *Russula emetica*, *Boletus satanas*, *Omphalotus olearius*, *Agaricus xanthoderma*, etc.
- **Síntomas (15 min–4 h):** vómitos, diarrea, cólicos.
- Tratamiento: rehidratación y carbón activo.

## SÍNDROME MUSCARÍNICO

- Provocado por *Inocybe* y *Clitocybe*.
- Toxina: **muscarina**.
- Síntomas: sudor, cólicos, bradicardia, visión borrosa.
- **Tratamiento:** atropina.

## AMANITA MUSCARIA Y A. PANTHERINA

- Contienen **ácido iboténico** y **muscimol** (neurotóxicos).
- Síntomas (0,5–3 h): euforia, confusión, ataxia, sueño prolongado.
- Usadas tradicionalmente por chamanes siberianos ("soma").
- **Tratamiento:** sintomático, no usar atropina.

## PSILOCYBE SPP. (SÍNDROME ALUCINATORIO)

- Contienen **psilocibina y psilocina**, análogas a la serotonina.
- Especies: *Psilocybe cubensis*, *P. semilanceata*, *P. mexicana*, *P. zapotecorum*, *P. azurescens*.
- Efectos: distorsión de la percepción, alucinaciones visuales, cambios de humor, pérdida de coordinación.
- Duración: **3–6 horas**.
- Riesgo: episodios psicóticos o suicidas.

## USO HISTÓRICO

- Ya en las culturas **Capacha (Jalisco)** y **Maya**, se representaban hongos en cerámica y piedra.

Los mexicas los llamaban **"teonanácatl" (hongos sagrados)**.

El fraile **Bernardino de Sahagún** (s. XVI) describió su uso ritual y los efectos alucinógenos en la *Historia general de las cosas de Nueva España*.

## CULTIVO Y COMERCIO




- Países como Holanda, Canadá y EE. UU. fueron pioneros en esta venta.

- Hoy día existe un **mercado global de hongos alucinógenos**, tanto online como en **tiendas grow shops**:
  - Se venden kits de cultivo ("panes"), esporas y micelio (*Psilocybe cubensis*).



## EFECTOS Y RIESGOS

Efectos iniciales: náuseas, taquicardia, debilidad, distorsión sensorial.
A dosis altas: ansiedad, paranoia, psicosis o agresividad.
Encuestas (Universidad Johns Hopkins):

- 10,7 % de consumidores pusieron su vida en riesgo.
- 2,6 % fueron agresivos.
- 2,7 % requirieron hospitalización.
- Casos documentados de **suicidio y psicosis persistente**.

## ASPECTOS LEGALES

- **EE. UU.**: posesión o tráfico → cárcel y multas.
- **España**: no se permite el comercio ni la tenencia para consumo; las esporas y "kits" están en un limbo legal, aunque **la jurisprudencia los asimila a drogas alucinógenas**.

### ⇒ INTOXICACIONES PRODUCIDAS POR HONGOS

Cuadro resumen completo de los principales síndromes tóxicos producidos por hongos. Se incluyen los tipos de intoxicación, especies responsables, toxinas implicadas, síntomas característicos, tiempo de incubación y tratamiento recomendado.

| TIPO DE SÍNDROME | ESPECIES IMPLICADAS | TOXINA O PRINCIPIO ACTIVO | SÍNTOMAS PRINCIPALES | TIEMPO INCUBACIÓN | TRATAMIENTO OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|---|
| Micotoxinas alimentarias | Aspergillus, Penicillium, Fusarium | Aflatoxina, Ocratoxina, Patulina, Tricotecenos | Daño hepático, renal y digestivo crónico | Crónica | Evitar alimentos contaminados, control sanitario |
| Paxillus involutus | Paxillus involutus | Antígeno desconocido | Cólico, vómitos, hemólisis, insuficiencia renal | 0,5–2 h | Tratamiento sintomático |
| Síndrome rabdomiolítico | Tricholoma equestre | Desconocida | Destrucción muscular, daño cardíaco | Repetida ingesta | Sintomático |
| Síndrome coprínico | Coprinus atramentarius | Coprina (con alcohol) | Enrojecimiento, taquicardia, colapso | Min–1 h | Sintomático; remite solo |
| Toxinas termolábiles (Helvella) | Helvella spp. | Monometilhidracina | Náuseas, diarrea, mareos, daño hepático | 6–12 h | Cocinar bien; tirar el agua de cocción |
| Toxinas termolábiles (Morchella) | Morchella spp. | Desconocida | Síndrome gastrointestinal y neurológico leve | 5–12 h | Cocinar bien; síntomas leves |
| Síndrome faloidiano | Amanita phalloides, Lepiota helveola | Amatoxinas, falotoxinas, virotoxinas | Fallo hepático y renal | 6–24 h | Carbón activo, sueros, silimarina, trasplante en casos graves |
| Síndrome orellánico | Cortinarius orellanus | Orellanina, cortinarina | Sed intensa, dolor renal, fallo renal progresivo | 2–17 días | Hidratación, diálisis |
| Síndrome giromitrínico | Gyromitra esculenta | Giromitrina (metilhidracina) | Vómitos, ictericia, delirio, hemólisis | 6–24 h | Lavado gástrico, vitamina B6 |

| TIPO DE SÍNDROME | ESPECIES IMPLICADAS | TOXINA O PRINCIPIO ACTIVO | SÍNTOMAS PRINCIPALES | TIEMPO INCUBACIÓN | TRATAMIENTO OBSERVACIONES |
|---|---|---|---|---|---|
| Síndrome gastrointestinal | Entoloma, Lactarius, Russula, Boletus | Sustancias irritantes | Vómitos, diarrea, cólicos | 15 min–4 h | Carbón activo, rehidratación |
| Síndrome muscarínico | Inocybe, Clitocybe | Muscarina | Sudoración, cólicos, bradicardia | Min–2 h | Atropina 1–2 mg según gravedad |
| Síndrome panterínico | Amanita muscaria, A. pantherina | Ácido iboténico, muscimol | Euforia, confusión, sueño prolongado | 0,5–3 h | Sintomático; no usar atropina |
| Síndrome psilocíbico | Psilocybe cubensis, P. semilanceata | Psilocibina, psilocina | Alucinaciones, distorsión temporal y sensorial | 30–60 min | Acompañamiento remite sin hospitalización |
| Efectos crónicos o abusivos (psilocibina) | Igual que arriba | Psilocibina y psilocina | Ansiedad, paranoia, psicosis, riesgo de suicidio, flashbacks | Variable | No recomendado en personas con antecedentes psiquiátricos |