

HOJAS DIVULGADORAS

Núm. 19/85 HD

LA GRAFIOSIS DE LOS OLMOS

JUAN PAJARES
Ingeniero de Montes

LUIS GIL
Dr. Ingeniero de Montes



633.377-248.219.28

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

LA GRAFIOSIS DE LOS OLMOS

Los olmos, reunidos por los botánicos dentro del género *Ulmus*, agrupan a una treintena de especies difundidas por las regiones templadas y tropicales de Europa, Asia y Norteamérica. El gran número de variedades, junto a la hibridación y a su amplia utilización, hacen difícil, en algunos ejemplares, su adscripción a una determinada especie. En España son conocidas y citadas tres especies de olmos, aunque poco se sabe sobre la presencia y distribución de otras subespecies y variedades.

Nuestro olmo más común es el olmo campestre o álamo negro, *Ulmus carpinifolia* Gleditsch, que crece espontáneo o cultivado por toda la península. Es abundante en las zonas rurales y como árbol ornamental, en las dos Castillas, Andalucía, Extremadura y Aragón y escasea en las zonas más áridas del Levante.

El olmo de montaña, *Ulmus glabra* Hudson, más alto y frondoso que el campestre, es el más abundante en el norte de Europa, pero en nuestro país es escaso y sólo se encuentran ejemplares aislados en las montañas de la mitad norte peninsular, asociados a otras especies montaraces como robles, hayas, arces, etc.

Una tercera especie es el *Ulmus procera* Salisbury, conocida como olmo inglés, si bien algunos autores piensan que fue introducida en las islas británicas en tiempos antiguos. Esta especie se cita como existente en España, aunque su presencia no es bien conocida, quizás debido a su semejanza con el olmo campestre, aunque aquél posee más talla y hojas de mayor tamaño.

Desgraciadamente, una grave amenaza se cierne en la actualidad sobre estos árboles. La grafiosis, en su forma más virulenta, comienza a extenderse por nuestro país. Esta enfermedad, causada por un hongo, *Ceratocystis ulmi* (Buis.), también conocido como *Ophiostoma ulmi* (Schwarz) Nanaf., ataca a todas nuestras especies de olmos y es capaz de matar rápidamente a un árbol vigoroso en pocas semanas. Desde que la grafiosis hizo su aparición ha ocasionado la muerte de millones de olmos en Europa y Norteamérica,

con las consiguientes pérdidas y deterioro para el paisaje de numerosos países. En España, donde su incidencia no era relevante hasta comienzos de la presente década, hemos comenzado a observar la magnitud de su efecto devastador.

HISTORIA Y EVOLUCION DE LA ENFERMEDAD

La grafiosis fue detectada por primera vez, dentro de Europa, en Holanda, en 1919, donde arrasó las plantaciones existentes del *Ulmus*×*hollandica*, por lo que es conocida en la literatura como enfermedad del olmo holandés o enfermedad holandesa del olmo (Dutch Elm Disease, DED, en la literatura anglosajona).

Seguidamente la enfermedad se extendió por Francia y Bélgica, y posteriormente por el resto de Europa, llegando en los años treinta a nuestro país. La botánica holandesa M.B. Schwarz identificó en 1921 al hongo causante, que vive exclusivamente sobre los árboles de los géneros *Ulmus* y *Zelkova* y cuya facies asexual o imperfecta se conoce como *Graphium ulmi*, de donde deriva el nombre castellano de la enfermedad.

La opinión más generalizada supone la procedencia del hongo de la parte oriental de Asia, puesto que olmos de estos lugares como el *U. pumila* L., el *U. wilsoniana* Schun. o el *U. parvifolia* Jacq. son altamente resistentes a la enfermedad, lo cual indicaría que estas especies y el hongo han coexistido en equilibrio en el este asiático durante varios miles de años. Esta es la razón de que estas especies, tras la aparición de la grafiosis, hayan sido ampliamente utilizadas y formen parte importante, en particular la primera, de nuestros parques y calles.

Una vez conocido el agente causante se descubrió que éste era transportado y propagado por unos insectos, los escolítidos del olmo, que se alimentan de la corteza interna de los olmos debilitados, moribundos o recién muertos.

La propagación de la enfermedad y la magnitud de su difusión está íntimamente ligada a la existencia de estos insectos. Ellos siempre existieron viviendo sobre los olmos sin suponer un peligro para su supervivencia, formando parte de un sistema ecológico en equilibrio. La aparición del hongo trastocó este equilibrio al establecer una nueva combinación insecto-patógeno en la que ambos resultan beneficiados a expensas de su acción conjunta, mortal para los olmos.



Fig. 1.—Hasta la aparición de la cepa agresiva, la grafiosis no había supuesto un grave problema en nuestro país. Los olmos se recuperaban después de perder algunas de sus ramas superiores.

Las esporas del hongo están mal adaptadas para ser dispersadas por el viento por lo que difícilmente podrían penetrar en los árboles si no es a través del efecto vector de los insectos. A su vez, el hongo debilita y mata un gran número de olmos que constituyen un material apropiado para que los escolítidos se reproduzcan en ellos, de manera que al incrementarse su hábitat de cría, se produce un gran aumento de sus poblaciones.

La enfermedad ocasionó importantes pérdidas en Europa y Norteamérica, pero, por razones desconocidas, comenzó a declinar a finales de la década de los treinta y sus daños se redujeron notablemente, de manera que, sin llegar a desaparecer, pasó a ser considerado un problema endémico. En España sólo provocó la muerte de algunos olmos, pero éstos eran generalmente árboles envejecidos o debilitados por la acción de insectos defoliadores u otras plagas, siendo lo más frecuente que la infección se detuviese después de matar algunas ramas, casi siempre de la parte superior de la copa, lo que no impedía que el árbol se recuperase en los años siguientes.

Sorprendentemente la enfermedad vuelve a aparecer a finales de los años sesenta con renovada virulencia. Se declaran nuevos focos, la tasa de mortalidad se eleva desproporcionadamente y las poblaciones de olmos se ven drásticamente disminuidas por la muerte de millones de ejemplares en Europa y América. El estudio del patógeno revela que se trata de nuevas cepas del hongo mucho más agresivas, capaces de matar rápidamente los árboles más vigorosos.

Las investigaciones de los últimos años han demostrado que *C. ulmi* se encuentra extendido por Europa, Norteamérica, suroeste y centro de Asia y que se trata de tres subpoblaciones o grupos aislados.

dos por barreras genéticas que dificultan el cruzamiento entre ellas. La variedad menos patógena o cepa no agresiva es la responsable de las primeras epidemias y la actual mortalidad se debe a las denominadas cepas agresivas que presentan dos variedades: la raza eurosiberiana (EAN) y la norteamericana (NAN).

Cada subgrupo posee sus propias características y rango de variación. El aislamiento reproductivo tiene lugar fundamentalmente entre las cepas agresivas y la no agresiva. La raza NAN, extendida por toda América del Norte, penetró en Inglaterra a finales de los años sesenta, a través de troncos infectados procedentes de Canadá, y de allí se extendió hacia el este llegando a Italia, Yugoslavia y recientemente a la península Ibérica y a los países nórdicos. La raza EAN, procedente del este, avanza hacia el oeste y actualmente afecta a los países centroeuropeos, península balcánica, Italia e Irlanda.

La principal diferencia entre los grupos reside en el distinto grado de virulencia que muestran en su ataque. En experiencias realizadas inoculando las tres clases del patógeno en el olmo inglés (*U. procera*), la cepa no agresiva produjo un marchitamiento de la copa del 10 al 35 por 100, siempre seguido de la recuperación del árbol al año siguiente, mientras que la inoculación de la raza NAN provocó una defoliación que oscilaba entre el 80 y el 100 por 100 y siempre conducía a la muerte del árbol, y la raza EAN ocasionaba la muerte del 60 al 100 por 100 de la copa, con algunas recuperaciones ocasionales.

PROPAGACION DE LA ENFERMEDAD

Los insectos transmisores

Existen diversas especies de escarabajos responsables de la propagación de la enfermedad, insectos en cuyo cuerpo el hongo encuentra un medio adecuado para el transporte de sus esporas. Varían de una región a otra, siendo todos ellos coleópteros escolítidos. En Europa, los dos escolítidos vectores de la grafiosis más importantes son *Scolytus scolytus* (F) y *Scolytus multistriatus* (Marshall), conocidos respectivamente como los escolítidos europeos del olmo, grande (unos 7 mm) y pequeño (3,5 mm). En el norte de Europa interviene, además, una tercera especie de tamaño intermedio, *Scolytus laevis* Chapuis, mientras que en el centro y sur del continente participan también en la transmisión, aunque con menor significación, otras especies más pequeñas del mismo género, *Scolytus kirschii* Skal.,

Scolytus ensifer Erch, *Scolytus pygmaeus* (F.) y *Scolytus sulcifrons* (Rey). En Norteamérica, el principal propagador es *S. multistriatus*, que fue introducido en el continente americano procedente de Europa a principios de siglo, mucho antes que la enfermedad y, en menor medida, el escolítido nativo del olmo americano, *Hylurgopinus rufipes* (Eich.).

En nuestro país, y hasta la fecha, sólo se ha comprobado la implicación en el proceso de transmisión de *S. scolytus*, *S. multistriatus* y *S. kirschii*, aunque podrían estarlo también algunas de las otras especies del género que habitan en la península. Además de las anteriores, existen otras dos especies en Europa que viven habitualmente en las ramas pequeñas de los olmos, *Pteleobius vittatus* (F.) y *Pteleobius Kraatzi* (Eich.). Si bien algunos las suponen vectores del hongo, no parece, por el momento, que su efecto sea apreciable.

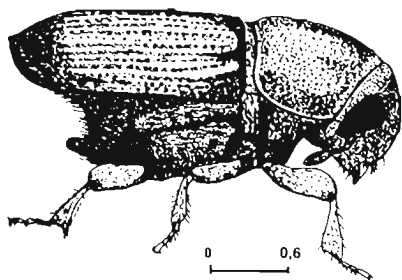


Fig. 2.—*Scolytus multistriatus* (Marsham).

Todas las especies del género *Scolytus* poseen hábitos y ciclos biológicos similares. Se trata de insectos que viven a expensas de los olmos moribundos, debilitados o recién muertos, lo que constituye el material sobre el que van a reproducirse. Los adultos horadan unos túneles que atraviesan la corteza de los olmos hasta llegar a la región del cambium que separa el floema del xilema funcional. En su interior, macho y hembra se aparean; inmediatamente después la hembra excava una galería longitudinal, siguiendo la dirección del eje del árbol, en cuyas márgenes realiza unas incisiones o nichos donde deposita los huevos. Normalmente son monógamos, pero en algunas especies se ha observado poligamia facultativa en la que el macho puede fecundar a varias hembras.

A los pocos días se produce la eclosión de los huevos y nacen unas pequeñas larvas que comienzan a escavar galerías individuales en dirección perpendicular a la materna. Al cabo de unas semanas, de acuerdo con las temperaturas, y tras pasar por varias fases, las

larvas construyen unas cámaras de pupación, próximas a la corteza externa, donde se transformarán en pupas y, posteriormente, éstas en insectos adultos que escavan un corto túnel para salir al exterior.

Estos adultos son inmaduros, es decir, sus órganos sexuales no están completamente desarrollados. Para conseguirlo proceden normalmente a una alimentación de maduración que efectúan comiendo en las ramillas de los olmos sanos, a donde vuelan tras la emergencia y cuando las condiciones ambientales les son favorables.

La alimentación en ramillas no constituye, por sí sola, ningún problema para la supervivencia del olmo, ya que éste se recupera con facilidad de los daños ocasionados. Pero cuando el insecto transporta las esporas del hongo, por haberse desarrollado en un olmo infectado, la alimentación de maduración constituye el eslabón fundamental en el proceso de transmisión de la grafiosis puesto que es aquí cuando se produce la inoculación de las esporas del hongo a los árboles sanos.

Aunque esta maduración sexual en las copas de los olmos sanos la realiza una gran parte de la población de insectos, diferentes observaciones indican que no se trata de un comportamiento obligatorio, pues pueden completarla mientras construyen las galerías para reproducirse.

Por lo tanto, bien directamente después de la emergencia o bien después de su maduración sexual en las ramillas, los insectos se dirigen a localizar los olmos apropiados para reproducirse en ellos, olmos muertos o moribundos en los que el flujo de savia está ausente o ralentizado y son incapaces de producir sustancias tóxicas para los insectos, que podrán evolucionar favorablemente en su interior. Estos olmos difunden en el aire unos compuestos químicos volátiles, diferentes de los emitidos por los olmos sanos, que son detectados a gran distancia por los insectos en vuelo y los induce a encaminarse hacia el árbol emisor, lo que hacen en gran número, bien por que la población de insectos es grande o porque el número de olmos apropiados es pequeño, de manera que logran vencer la resistencia del olmo y colonizarlo rápidamente.

Además, una de las especies consideradas, *S. multistriatus*, posee un atractivo químico denominado feromona de agregación que es exhalada por las hembras al llegar a los troncos donde van a reproducirse. Esta feromona refuerza los aromas emitidos por el árbol y provoca una fuerte atracción sobre los individuos de la especie que se encuentran en la proximidad y se desencadena un ataque masivo.

De las tres especies vectoras de la grafiosis en España, *S. scolytus* es el primero que inicia sus vuelos y posee, al menos, dos generaciones anuales; la primera emerge, según los climas, desde mediados a finales de la primavera y da lugar a una segunda que vuela en la mitad del verano; *S. multistriatus* tiene su emergencia 2 ó 3 semanas más tarde que el anterior y, como él, también desarrolla dos generaciones al año, una de fines de primavera a comienzos del verano y otra desde finales del verano a comienzos del otoño. *S. kirschii* es el más tardío de los tres y emerge unas semanas más tarde, si bien no se conoce con certeza el número de sus generaciones anuales en nuestro país. Esta profusión de especies transmisoras de la enfermedad y el número de generaciones anuales hacen difícil que un olmo debilitado temporalmente pueda librarse de la terrible enfermedad.

El ciclo del hongo

El agente patógeno es un hongo ascomiceto cuyo ciclo biológico posee dos etapas reproductivas, una asexual y otra sexual, con generación de esporas en ambas. La fase asexual o imperfecta (= *Graphium ulmi*) se desarrolla a partir de las esporas transportadas por los escolítidos, que dan lugar a hifas, filamentos tabicados que se alargan, ramifican y entrecruzan y cuyo conjunto constituye el micelio del hongo. Este micelio crece en los vasos del xilema del olmo y da lugar, a través de la formación de conidios, a la emisión de esporas asexuadas que, rápidamente, se difunden por la savia y ascienden por los vasos hacia la parte superior del olmo, permitiendo la aparición del micelio en otras partes del árbol. Aparte de esta forma de reproducción, la fase asexuada se caracteriza por formar unos cuerpos de fructificación denominados sinemas, compuestos de multitud de hifas entrecruzadas en su base, rematadas por un pedúnculo de aproximadamente un milímetro de longitud que se ensancha en su extremo y contiene gran cantidad de esporas, las sinemiosporas. Estas, al germinar, pueden dar lugar a hifas sexuadas, de manera que cuando hifas compatibles se encuentran, se fusionan y dan lugar a la formación de la fase sexual (= *Ceratocystis ulmi*), que se caracteriza por generar unos cuerpos de fructificación denominados peritecios, semejantes a una botella de unos 0,5 mm de longitud con un estrecho y largo cuello, en cuyo interior se forman unas esporas que se agrupan en ocho y que se denominan ascosporas, originadas tras un

proceso de reproducción sexual (fecundación después de una meiosis). Mientras que conidios y sinemiosporas (formadas tras mitosis normales), dan lugar a micelios genéticamente idénticos a los que los originaron, las ascosporas representan nuevas combinaciones genéticas diferentes y pueden originar cepas de características diferentes.

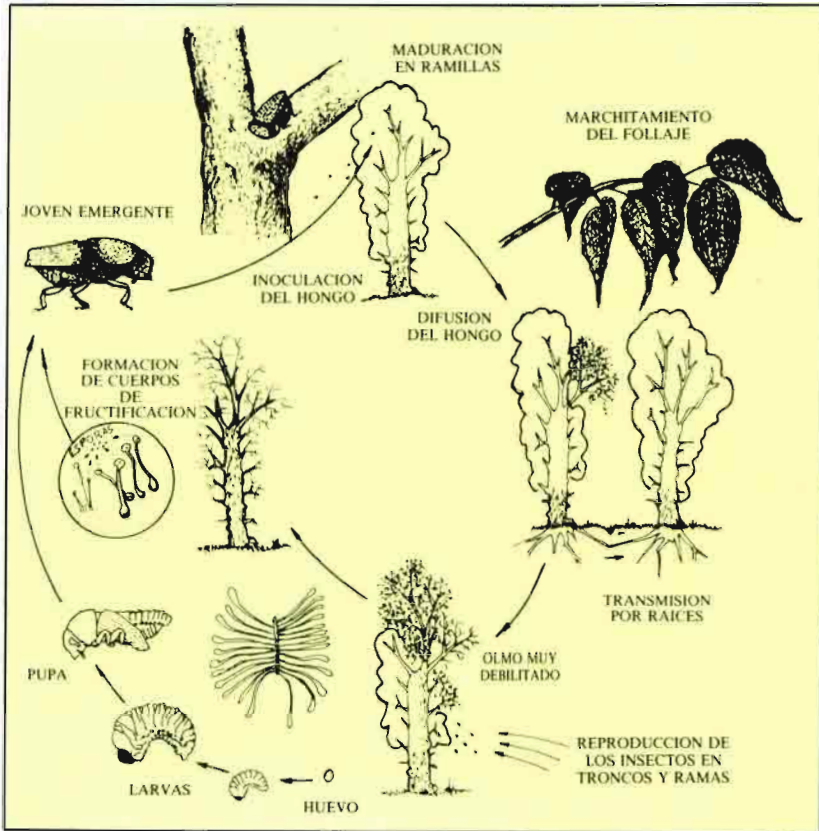


Fig. 3.—Ciclo de la enfermedad.

Durante el ciclo anual de la enfermedad, el hongo existe en dos fases distintas: una patógena que incluye la invasión y propagación por el xilema del árbol hospedador, al que provoca la muerte y otra saprófita en que se alimenta del floema del árbol muerto y durante la cual entra en contacto con las galerías reproductoras desarrolladas

por los insectos, en cuyo interior va a formar los cuerpos de fructificación y, con ellos, las esporas que transportarán los escolítidos cuando emerjan.

La fase patógena presenta mayor virulencia cuando tiene lugar la infección al comienzo del rebrote del olmo, pues en esta época el árbol forma los vasos de la madera de primavera, formados por células de gran tamaño, por cuyo interior el hongo se mueve con rapidez y llega fácilmente a las partes superiores desde el punto de inoculación. Cuanto más próximos al tronco se encuentren los puntos de infección, la enfermedad progresará más rápidamente. La madera formada en verano, al contrario, presenta vasos más estrechos y pequeños, lo que limita la difusión de la savia y con ella la del hongo que transporta y, por consiguiente, hace que el olmo sea menos sensible a la acción del patógeno en esa época.

Sin embargo, el hongo que se encuentra en el xilema no queda encerrado en los vasos del último anillo, sino que se mueve regularmente hacia la corteza, dando lugar a la fase saprófita que se alimenta de tejidos recién muertos, pero todavía frescos. Esta corteza interna, el floema, constituye el material idóneo para que los escolítidos puedan reproducirse y a sus expensas se alimenten las larvas. Estos escolítidos llegan en su mayoría después de haberse alimentado en las ramas en las cuales han inoculado el hongo, y es lógico pensar que muchos transporten aún parte de la carga de esporas, las cuales serán introducidas en la corteza y colonizarán el floema alrededor de las galerías de cría. Bien procedente de su expansión desde el xilema, o introducido directamente en el floema por los insectos, el resultado es que en las galerías de estos insectos el hongo forma los cuerpos de fructificación coincidiendo con el desarrollo de los insectos, de manera que las esporas entran en contacto con el cuerpo del escarabajo y éste las transportará cuando emerja. Si la muerte del árbol y su colonización se producen a finales de verano, y entonces los insectos pasan el invierno en el interior del árbol, se forma una gran cantidad de esporas que quedan en reposo y que en la primavera siguiente darán lugar a una recolonización del floema por el hongo.

Para su propagación a distancia el hongo depende del efecto vector de los escolítidos, pero en árboles próximos el proceso de infección puede conducirse a través de las raíces desde los árboles enfermos a los sanos. Este tipo de transmisión es especialmente peligroso en los poblamientos densos y en los setos y linderos dónde los olmos normalmente surgen como retoños o brotes de raíz

de un sistema radical común. En las plantaciones alineadas, en paseos y riberas, las raíces de los olmos vecinos se injertan entre sí y el hongo se propaga de uno a otro, matándolos sucesivamente.

La acción del patógeno

Producida la infección comienza el amarilleamiento progresivo del follaje, marchitamiento y necrosis y, en último término, la muerte del árbol; las ramas afectadas van muriendo desde su extremo; las ramillas más jóvenes se secan y dirigen sus puntas hacia abajo, adoptando un característico aspecto de cayado que se observa claramente en el invierno.

Si el ataque de la variedad agresiva tiene lugar en primavera, normalmente el árbol entero morirá en el verano y, si sobrevive, morirá casi con seguridad en la primavera siguiente, como resultado de la extensión del hongo a los nuevos anillos de crecimiento. Cuando los olmos son atacados por la variedad no agresiva, únicamente mueren unas pocas ramas y el árbol suele recobrar el follaje al año siguiente. En las zonas donde la variedad agresiva está extendida, las recuperaciones son muy raras. La rapidez en la aparición y evolución de los síntomas depende de diversos factores: vigor, edad y genotipo del árbol, condiciones edáficas y climáticas, época del año en que se produce la infección y, sobre todo, virulencia del patógeno y cantidad de infecciones producidas.

Una vez en el interior del sistema vascular del árbol, la acción del hongo ocasiona un bloqueo de los vasos del xilema que conduce al marchitamiento de las ramas superiores por déficit hídrico.

La interferencia en el movimiento del agua tiene lugar en las punteaduras de los vasos por donde fluye el agua desde los vasos de la rama a los vasos de las hojas; cuando el aporte de agua resulta insuficiente para compensar las pérdidas por transpiración entonces los orgánulos celulares resultan dañados y las hojas se marchitan.

En los estudios sobre la fitotoxicidad de las sustancias producidas por *C. ulmi* se encontraron dos sustancias, la cerato-ulmina y la peptidorhamnmannana, que parecían jugar un papel importante en la acción patógena del hongo, aunque la presencia de estas sustancias en los árboles enfermos sólo se pudo demostrar para la última. Este compuesto es la toxina responsable del cese del flujo de agua. Se supone que la mayor agresividad de la nueva cepa está relacionada



Fig. 4.—El hongo destruye los vasos por donde circula la savia, paralizando el suministro de agua. Aparece un característico anillo oscuro formado por los vasos afectados.

con su mayor rapidez y capacidad para producir toxinas, del orden de unas 100 veces más.

Además, el hongo segrega enzimas que degradan la pared celular de los vasos y ocasionan la muerte de las células de parénquima; los trozos de pared desprendidos, junto a los contenidos celulares dispersos, bloquean, a su vez, los poros de las punteaduras, al mismo tiempo que proporcionan al hongo nutrientes para su crecimiento. Finalmente, las células del parénquima próximas a los vasos producen gomas que obturan por completo la luz del vaso. Se piensa que, aunque es innegable el efecto de las toxinas bloqueando el flujo de agua, el papel completo de la acción patógena del hongo sólo es parcialmente conocido.



Fig. 5.—Después de la inoculación, pronto aparecen los primeros síntomas. Las ramas atacadas comienzan a secarse y mueren.

SUSCEPTIBILIDAD Y RESISTENCIA A LA ENFERMEDAD

Los estudios llevados a cabo en las últimas décadas indican que no parece existir ninguna especie de olmo que posea una resistencia total a la grafiosis agresiva. La mayoría de las especies asiáticas poseen diversos niveles de resistencia que en algunas llegan a ser muy altos, como en *U. pumila* L. (originario de Siberia y Asia central), *U. wilsoniana* Schm. (China) y *U. parvifolia* Jacq. (este de Asia), lo cual las ha hecho objeto de gran interés en muchos programas de mejora genética.

Los olmos que viven en Norteamérica se muestran particularmente susceptibles a la enfermedad, especialmente *U. americana* L.; *U. crassifolia* Nutt. presenta cierta resistencia a la enfermedad, y se desconoce la respuesta de las especies mejicanas *U. divaricata* Mueller y *U. mexicana* (Liebm.).

Todas las especies y variedades de olmos que crecen en Europa son sensibles a la enfermedad. Sin embargo, la evolución de la epidemia en Gran Bretaña ha mostrado una incidencia significativamente mayor en *U. procera* que en las otras especies presentes, *U. glabra* y *U. carpinifolia*; esta mejor respuesta a la enfermedad no se sabe si es debida a la resistencia intrínseca al hongo o a una menor preferencia en el ataque de los escolítidos, los cuales se dirigirían bien por atracción química (emisión de productos químicos por el árbol) o física (color del follaje, rugosidad de la corteza, etc.) hacia el *U. procera*. Estas preferencias quedan anuladas cuando el alto nivel de la población de insectos demanda una gran cantidad de material hospedador.

Una vez que el hongo se ha introducido en un olmo, las posibilidades de resistencia dependen del genotipo del árbol, pues la resistencia a la grafiosis se encuentra controlada por numerosos genes.

Los mecanismos de resistencia que puede desarrollar un olmo atacado por grafiosis son diversos. Una primera manera sería impedir la progresión del micelio e incluso matarlo mediante la emisión al interior de los vasos de compuestos antifúngicos secretados por el árbol. En efecto, se sabe que se producen unas sustancias denominadas fitoalexinas, si bien, hasta el momento, no se ha detectado una rápida acumulación de éstas en los olmos más resistentes, lo cual no quiere decir que no intervengan en la resistencia.

La rápida formación de tilosas es también un eficaz mecanismo de defensa, cuando ésta tiene lugar antes de la formación de esporas

asexuadas o de su difusión por la savia. Los vasos afectados, sobre todo los de menor diámetro, son sellados y la infección queda localizada y limitada al punto de inoculación.

Además se ha observado en los olmos infectados un fenómeno de compartimentalización mediante la formación de zonas de barrera compuestas por parénquima. Tales barreras se sitúan entre el xilema infectado y el cambium intacto de manera que aíslan las partes deterioradas y permiten la regeneración de tejido sano.

La comparación de los árboles resistentes frente a los susceptibles ha mostrado que los primeros poseen vasos de menor diámetro y longitud, lo que representa una desventaja para la difusión del hongo y facilita su bloqueo. Esta característica se encuentra en consonancia con el hecho de que la mayor susceptibilidad de los olmos se produzca al inicio del crecimiento anual, cuando se forma la madera de primavera de vasos largos y anchos. Además, los olmos resistentes presentan sus vasos reunidos en pequeños grupos, separados entre sí por tejido de parénquima que limita la expansión lateral de la enfermedad.

EL CONTROL DE LA ENFERMEDAD

Desde la aparición de la grafiosis en Europa y Norteamérica, la mayoría de los países afectados han venido estudiando y aplicando un conjunto de medidas de control encaminadas a lograr la detención y erradicación de la epidemia y a conseguir restaurar las menguadas poblaciones de olmos. Esta serie de medidas pueden agruparse en tres clases: tratamientos dirigidos a contener la enfermedad, tratamientos curativos sobre los olmos infectados y utilización de especies resistentes.

Control de la expansión

Desde que se supo que la transmisión de la grafiosis estaba basada en la acción de los escolítidos vectores quedó claro que el grado de infección y la rápida extensión de la enfermedad dependía del tamaño de la población de estos insectos. Aunque los escolítidos responsables tienen en el olmo su principal árbol hospedador, en su ausencia son capaces de reproducirse en otras frondosas, por lo que su erradicación es prácticamente imposible. De todas formas, las

mejores medidas de control de la enfermedad son, por el momento y en nuestro país, todas las encaminadas a reducir drásticamente sus poblaciones y a evitar la propagación de escolítidos portadores de esporas de la grafiosis agresiva a zonas no atacadas.

El método básico de todos los programas de control es el saneamiento de los árboles afectados. Se ha de evitar que los insectos dispongan de madera fresca que les albergue y permita su reproducción, así como destruir aquella dónde se estén desarrollando antes de que se produzca la emergencia de la nueva generación. Los métodos de saneamiento exigen la inmediata y total destrucción de todos los árboles que presenten síntomas evidentes de infección o hayan muerto recientemente. La rapidez en tomar estas medidas hará que el saneamiento se limite a unos pocos árboles; la demora originará pérdidas mayores, incluso totales.

La madera extraída debe ser quemada o, al menos, descortezada o fumigada con un insecticida antes de que se desencadene el vuelo de los escolítidos presentes en su interior. Los tocones deberán ser eliminados o convenientemente tratados por medio de productos que maten las raíces, como la sal sódica del ácido metilcarbámico, conocida por metam. Si la madera permanece sin tratar en los lugares donde ha sido cortada o se transporta y almacena en otras zonas alejadas, supone un gravísimo riesgo; con frecuencia los primeros focos aparecen en zonas próximas a serrerías.

Han sido numerosos los intentos de control químico de la difusión de la enfermedad evitando la maduración de los escolítidos, mediante el empleo de insecticidas aplicados a las copas de los árboles. La alta toxicidad y los efectos residuales del más eficaz de ellos, el DDT, hizo que fuese sustituido por otros como el metoxicloro, pero problemas de contaminación ambiental y otros inherentes a su aplicación hacen que su efectividad quede limitada. Ciertos insecticidas de contacto, como el lindano, pueden ser efectivos contra los escolítidos; sin embargo, su empleo entraña riesgos de contaminación ambiental.

Se han probado también insecticidas sistémicos que, al ser aplicados al árbol son absorbidos y movilizados por todo su interior. De ellos, el dicrotofos ha supuesto un eficaz control para *S. multistriatus*, pero ha resultado tóxico para los olmos a las dosis recomendables, por lo que está prácticamente desechado.

Otro tipo de posible control es el uso de inhibidores químicos de la alimentación en las ramillas. En Norteamérica se han buscado tales

productos a partir de extractos del floema de árboles no hospedadores de los escolítidos del olmo. En las pruebas realizadas se encontró uno, la «junglona» extraída de *Carya ovata*, bastante eficaz. Se sabe, además, que extractos de otras especies como *Pinus sylvestris*, *Juglans nigra*, *Morus alba*, *Quercus* spp inhiben la alimentación de *S. multistriatus*; pero no se han proseguido los ensayos con estas sustancias.

Uno de los métodos de reciente auge es la captura masiva de los insectos con trampas de feromona. Hasta el momento, únicamente se ha logrado indentificar y sintetizar la feromona de *S. multistriatus*, que se compone de tres sustancias que actúan conjuntamente. La feromona se deposita como cebo en diversos modelos de trampas que se instalan en los árboles. Aunque llegan a capturar miles de ejemplares y consiguen reducir la tasa de infección, su eficacia destructora no es suficiente, pues atraen fundamentalmente a los insectos ya maduros sexualmente y siempre quedan insectos que logran penetrar en los árboles enfermos y desarrollar una alta generación. Los mejores resultados se obtienen en zonas dónde escasea el material hospedador apropiado, lo que puede lograrse con un adecuado saneamiento.

Los árboles trampas son también un medio válido para reducir las poblaciones de los insectos. Consiste en inyectar productos como el ácido cacodílico en árboles enfermos o cuya eliminación es aconsejable. El árbol muere rápidamente y los insectos son atraídos masivamente, con ayuda de cebos de feromonas, para reproducirse en él, pero la generación que se inicie morirá por la fuerte desecación del floema ocasionada por el producto.

El hongo *Phomopsis oblonga*, encontrado en el floema de olmos moribundos, es un antagonista de los escolítidos. Su acción es doble: reduce el material hospedador, pues los escolítidos rechazan los árboles dónde se encuentra, y, en caso de que tales árboles sean colonizados, disminuye drásticamente el número de adultos que logran emerger. Para que *P. oblonga* ocasione un efecto apreciable sobre los insectos es necesario que se encuentre muy extendido por toda la corteza, lo cual ocurre en pocas ocasiones.

Otros mecanismos biológicos que actúan sobre las poblaciones de insectos son los fenómenos de parasitismo y predación. Es innegable la acción de nematodos, ácaros, himenópteros y cléridos en la reducción de las poblaciones de escolítidos, pero su utilización en un programa organizado de control no parece viable por el momento.

Cualquier programa de control requiere siempre el saneamiento de la masa; si no se limita el suministro del material, ningún otro método conseguirá reducir los niveles de enfermedad. Como los escolítidos pueden volar varios kilómetros, la labor de saneamiento deberá hacerse en grandes superficies, por lo que es necesaria una acción común y coordinada.

Pese a que la efectividad de los métodos de control ha sido puesta en duda, gran número de ejemplos (Holanda, Chicago, Brighton, etc.) avalan que en aquellos lugares donde se mantienen, logran contener la propagación de la enfermedad y reducir significativamente los daños. Por el contrario, donde no fueron realizados o se abandonaron, las pérdidas se elevaron ostensiblemente y la mayoría de los olmos acabó por desaparecer.

Después que la grafiosis agresiva fue detectada en nuestro país, el Estado y las Comunidades Autónomas decidieron tomar las siguientes medidas para disminuir la epidemia en las áreas afectadas y evitar el contagio de aquellas donde aún no existe:

— Eliminación de los pies muertos o atacados de forma apreciable en un radio de 3 a 5 km de las zonas a proteger, antes del vuelo de la próxima generación de escolítidos.

— Destoconado de los pies apeados o tratamiento de los tocones para su desinfección.

— Quema de leñas gruesas y finas antes del vuelo de los insectos; de no poderse efectuar, retirada del material a más de 5 km de una zona con olmos, con tratamiento químico si es necesario.

— Poda de saneamiento de todos los pies a conservar, especialmente en aquellos con síntomas iniciales o con fuerte desequilibrio entre la copa y el sistema radical por vivir en situaciones poco favorables.

— Vigilancia intensiva de olmos y olmedas a partir de junio con poda y quema de nuevas ramillas atacadas y desinfección de las heridas.

— Tratamientos de inyección en ejemplares de gran valor; preventivos, si el riesgo lo aconseja, o curativos si el ataque es incipiente.

— Repetición de estas medidas en los años sucesivos hasta la remisión de la enfermedad en la zona.

Los esfuerzos de control de poco servirán si su aplicación no se hace de forma adecuada y coordinada. Es fundamental asegurar la financiación de los programas, arbitrando ayudas a municipios y

propietarios, única forma de conseguir su imprescindible colaboración. La experiencia europea y americana nos advierte de que el abandono o la pérdida de eficacia de muchos programas ha sido debida principalmente a problemas económicos.

La lucha contra el hongo

Los primeros tratamientos curativos que han venido empleándose contra la grafiosis consisten en lograr embeber los últimos anillos del xilema, desde el tronco a la extremidad de las ramillas, con una dosis suficiente de un producto capaz de detener el desarrollo del hongo en el interior del árbol. Los productos activos empleados son fungicidas sistémicos (transportados por la savia) del grupo del benimidazol, tales como la carbendazima, el tiabendazol o el benomilo; derivados del imidazol como el imazalil, habiéndose empleado también, el propiconazol y otros.

Los tratamientos se realizan por inyección, puesto que la pulverización del follaje con el fungicida ha resultado ineficaz. Se practican unos orificios poco profundos, de aproximadamente un centímetro, alrededor del tronco y a la altura de las raíces; se introducen en ellos unas boquillas conectadas por tubos flexibles al depósito donde se encuentra el fungicida. Este depósito dispone de un sistema de inyección por presión, la cual también puede obtenerse si se le mantiene en alto, colgándolo del tronco o de una rama.

Los ramillos reciben de esta manera una dosis de 1 a 10 ppm de materia activa, suficiente para lograr inhibir el crecimiento del hongo, aunque no para impedir la germinación de las esporas, para lo cual se requieren concentraciones superiores a 1.000 ppm. Así pues, el patógeno no muere y podrá reiniciar su desarrollo en cuanto la concentración de la sustancia activa descienda por debajo del umbral de eficacia, lo que obliga a repetir el tratamiento.

Las inyecciones del fungicida deben efectuarse en primavera, inmediatamente después de que la savia haya iniciado su movimiento y antes de que los escolítidos puedan realizar la inoculación del patógeno. Si el árbol presenta ya los síntomas de infección, éstos no deberán superar el 5 ó 10 por 100 del total de la copa para que el tratamiento tenga eficacia.

Por lo tanto, este tipo de tratamiento presenta una serie de limitaciones que impiden el que pueda ser empleado de forma extensiva: detiene el desarrollo del hongo, pero es incapaz de matarlo y no

evita la transmisión por las raíces; además, ciertas cepas de *Ceratocystis ulmi* son resistentes a estos productos; no existe completa seguridad de que el fungicida sea movilizado hasta el extremo superior de los ramillos dónde tienen lugar la mayoría de las inoculaciones; es necesario repetir las inyecciones durante varios años, lo que puede representar fitotoxicidad para el árbol, y, sobre todo, el tratamiento resulta muy caro. Todo ello hace aconsejable su aplicación sólo a olmos de gran valor que se encuentren sanos o poco enfermos.

Desde hace varios años, el control de la enfermedad ha cobrado un esperanzador auge con el descubrimiento de nuevas posibilidades de lucha biológica. Investigadores americanos observaron la aptitud de bacterias del género *Pseudomonas* como eficaces inhibidores del crecimiento de *C. ulmi*. Su acción antagonista parece residir en la capacidad de sintetizar sustancias antimicóticas (péptidos) y quizás también en la avidéz que demuestran por el hierro existente en la savia del árbol lo que priva al hongo de este catión necesario para su subsistencia.

De las diversas especies de *Pseudomonas* fue seleccionada una, *P. syringae*, encontrada en las hojas de la cebada, que mostró poseer un alto poder antagonista y lograba establecerse y permanecer en los olmos, en años sucesivos, después de ser inyectada, migrando por la savia y difundiendo por todo el árbol.

Cuando se realizaron inoculaciones del hongo sobre olmos sanos, se observó que la grafiosis no se desarrollaba en los árboles que previamente habían sido tratados con la bacteria y sí lo hacía en aquellos en que no había sido introducida. Si la inoculación se efectuaba en olmos que ya mostraban los síntomas de la enfermedad los resultados obtenidos variaban desde la recuperación del árbol hasta su muerte, dependiendo del grado de infección y de la época de tratamiento, que mostró ser la más adecuada al comienzo de la movilización de la savia, cuando ésta alcanza su máximo flujo. Así pues, los tratamientos preventivos con la bacteria resultan más eficaces que los curativos. Hasta la fecha miles de olmos han sido inyectados en América y Europa con resultados prometedores.

En Dinamarca se ha identificado *Pseudomonas fluorescens*, común en la naturaleza sobre materia orgánica, que ha demostrado en pruebas de laboratorio ser capaz de excretar sustancias inhibidoras de la germinación de las esporas y del crecimiento del micelio de *Ceratocystis ulmi* y, además, no resulta tóxica para los olmos. En Holanda se experimenta con varias especies de *Pseudomonas* de la rizosfera del trigo y de la patata, que han dado excelentes resultados

en los árboles tratados. En Bélgica han sido descubiertas varias cepas de la bacteria *Bacillus subtilis* que muestran un fuerte antagonismo hacia el hongo, aunque aún no se ha ensayado su comportamiento sobre los árboles. Esta forma de lucha biológica mejora, por tanto, las expectativas futuras de los olmos en estos países y, con ellas, las de nuestras propias especies.

Empleo de especies y variedades resistentes

Independientemente de los métodos de control de la grafiosis, parece que a largo plazo el futuro de los olmos europeos dependerá de la selección e implantación de olmos resistentes. Ya desde los primeros años de la aparición de la grafiosis no agresiva en el continente, se inició la búsqueda de especies o ejemplares resistentes, árboles que serían propagados, y cuyas características de resistencia pudieran incorporarse a los olmos autóctonos mediante cruces e hibridaciones.

Los principales esfuerzos iniciales se desarrollaron en Wageningen (Holanda), Wisconsin (Estados Unidos) y Volgogrado (Rusia).

Los holandeses pronto obtuvieron una primera generación de clones («C. Buissman», 1936; «B. Schwarz», 1947) que fueron muy



Fig. 6.—El ataque es fulminante y el árbol muere en pocas semanas. Los árboles cercanos pronto quedarán infectados a través de las conexiones de sus raíces con las del árbol enfermo.

Fig. 7.—La generación de escolítidos se desarrolla en la corteza interna de los olmos enfermos. Cuando las larvas se convierten en adultos, éstos volarán transportando las esporas del hongo.



difundidos hasta ser sustituidos paulatinamente por los nuevos resultados del programa. Una segunda generación de híbridos procedentes de cruces controlados fue lanzada en 1960 («Commelin») y 1963 («Groeneveld») y plantada también a gran escala.

La aparición de las razas agresivas de la grafiosis redujo considerablemente el abanico de plantas resistentes y obligó a replantear los programas de mejora en los centros holandeses y rusos. Por el contrario, las investigaciones americanas no se vieron afectadas, pues utilizaron desde un principio, al parecer de forma casual, la raza agresiva.

Los olmos asiáticos muestran un gran nivel de resistencia pero, no poseen las características ornamentales (porte, crecimiento, frondosidad del follaje, etc.) de los olmos europeos, por lo que se trató de obtener una serie de híbridos que aunasen la resistencia asiática y las cualidades europeas.

A partir de 1973, después de la aparición de la cepa agresiva, se difundieron nuevos clones, «Lobel», «Dodoens» y «Plantyn»; los tres proceden de diferentes padres europeos, pero la madre es común para todos, el clon denominado «202», que a su vez procede de un cruce controlado de *U. wallichiana* (de la India) × *glabra* «Exoniensis» (de Inglaterra). Muestran una resistencia aceptable, sin llegar a ser completamente satisfactoria; poseen además un conjunto de buenas características, crecimiento rápido, abundante follaje verde oscuro y poca sensibilidad al viento. Un nuevo clon «Clusius», con los

mismos progenitores que «Lobel», se ensaya actualmente y su comportamiento indica que, aunque sus diferencias con los anteriores son pequeñas, mejora todas sus características.

Clones desarrollados en Norteamérica han sido introducidos en Europa, «Sapporo Autumn Gold», «Regal», «Urban», etc. Antes de ser propagados estos clones son ensayados para contrastar su comportamiento en las distintas condiciones ambientales del occidente europeo.

La situación de las investigaciones europeas se ha visto reforzada por el apoyo que supuso, en 1979, la financiación por la Comunidad Económica Europea de un programa sobre la grafiosis. Los esfuerzos aunados de los países comunitarios, en colaboración con las instituciones americanas, tratan de conseguir un conjunto de objetivos que podrían resumirse en los siguientes puntos:

— Obtención de una nueva generación de clones que posean un alto nivel de resistencia, ya que no parece realista exigir a las nuevas variedades una total inmunidad.

— Lograr una mayor base genética en las características externas y en la tolerancia de los clones. Aunque no se espera una mayor agresividad de *C. ulmi* que la de las cepas conocidas, no es aconsejable permanecer a expensas de un pequeño número de clones, además estrechamente emparentados entre sí. Se requieren clones resistentes de orígenes muy diferentes y con buenas y variadas características en su porte, crecimiento y adaptación a las diversas condiciones de los países.

— Establecimiento de parcelas en el campo donde se sitúen los clones seleccionados. Instaladas en las diferentes regiones europeas aportarán información acerca de su comportamiento bajo condiciones locales. A su vez, permitirán el inicio de programas de introducción, selección y empleo de los olmos nativos que puedan conducir a importantes resultados.

En España, excepto la aclimatación del *U. pumila*, recomendada por Benito Martínez en 1945, no se ha llevado a cabo ningún esfuerzo. Con nuestra integración en la CEE, la incorporación al programa europeo será un hecho y nos veremos beneficiados de las investigaciones realizadas en otros países. La instalación en nuestro país de parcelas experimentales donde se ensayen los híbridos holandeses y americanos permitirá observar su comportamiento y deberá propiciar el inicio de programas que muestreen las olmedas peninsulares en busca de ejemplares que reúnan las características más

Fig. 8.—Si no se toman medidas de control, la enfermedad se propaga inexorablemente. Poco a poco aparece un paisaje desolado.



idóneas, bien para su utilización directa en repoblación o para realizar cruces en los que se incorpore la resistencia a la grafiosis.

EL PORVENIR DE NUESTROS OLMOS

Muchos expertos contemplan un futuro para los olmos silvestres europeos nada prometedor. Podría ser similar a la situación que se presenta actualmente en Rumanía, donde la raza EAN hizo su aparición en la década de los cincuenta y cuyas poblaciones, hoy día, subsisten precariamente como rebrotes bajo el continuo ataque de la enfermedad.

Debemos tener en cuenta que la grafiosis agresiva no se trata de una epidemia regional sino que nos encontramos frente a una enfermedad pandémica masiva, extendida a tres continentes, desde California, por Europa hasta el Irán cuando menos, que implica la destrucción de muchas especies de olmos en multitud de habitats, un colosal desastre natural sin equivalentes en nuestra historia.

En España la introducción de la grafiosis agresiva fue detectada al comienzo de esta década y en el lapso de unos pocos años su gravedad ha quedado patente; en el presente ya ha provocado unos daños muy superiores al coste de las medidas que hubieran evitado su aparición, favorecidos por la privilegiada situación de aislamiento de que goza la península. Pero no puede parecernos inusitada la gravedad del problema cuando países como el Reino Unido habían perdido 20 millones de olmos y en nuestro país aún estábamos libres

de la grafiosis agresiva. En este sentido hemos de considerar la alarma y prevenciones ya tomadas para evitar la entrada en Europa del *Ceratocystis fagacearum*, causante en América del marchitamiento de algunas especies de roble, y al igual que la grafiosis transmitido por insectos; su aparición en el continente mediante una importación de madera infectada encontraría especies de escolítidos de nuestra fauna que podrían difundir la enfermedad, con consecuencias, quizás similares a las de la grafiosis sobre nuestros robles y encinas.

Si se llevan a cabo escrupulosamente las medidas de control de la grafiosis, se ha demostrado en Europa que se puede contener la rápida extensión de la enfermedad, aunque no se logre erradicarla. Nuestra mejor oportunidad se encuentra en la urgente paralización de la epidemia en todos los frentes peninsulares, mientras se buscan nuevas y mejores soluciones y se logran olmos resistentes, lo que constituye nuestra mayor esperanza.



MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION

PUBLICACIONES DE EXTENSION AGRARIA
Corazón de María, 8 - 28002-Madrid

Se autoriza la reproducción **íntegra** de esta publicación mencionando su origen: «Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación».