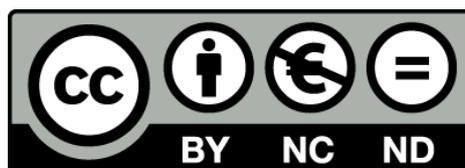


**Dendroecología de *Pinus halepensis* Mill.
en Este de la Península Ibérica e Islas Baleares:
Sensibilidad y grado de adaptación
a las condiciones climáticas**

Montserrat Ribas Matamoros



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 3.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 3.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0. Spain License.**



DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE ECOLOGÍA AVANZADA BIENIO 1999-2001

**DENDROECOLOGÍA DE *PINUS HALEPENSIS* MILL.
EN ESTE DE LA PENINSULA IBERICA E ISLAS BALEARES:
SENSIBILIDAD Y GRADO DE ADAPTACIÓN
A LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Tesis presentada por **Montserrat Ribas Matamoros** para optar al título de Doctora por la Universidad de Barcelona.

El presente trabajo se ha realizado bajo la dirección de la **Dra. Emilia Gutiérrez Merino** (Universidad de Barcelona).

Barcelona, Junio del 2006



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

De todos los factores abióticos que afectan la distribución geográfica de los tipos de vegetación, el clima es probablemente el más importante (Tuhkanen 1980, Box 1981, Walter 1984, Sowell 1985, Woodward y Williams 1987, Brzeziński *et al.* 1993, Bailey 1995, Hammond y Yarie 1996). Peñuelas *et al.* (2004a) sostienen que, los regímenes climáticos delimitan la distribución de las especies y de los biomas a través de los límites específicos de cada especie con respecto a la temperatura y a la disponibilidad de agua; y Watson *et al.* (2001) consideran el clima como el principal factor que determina el funcionamiento de los ecosistemas. En consecuencia, el estudio del grado de alteración del funcionamiento y estructura de los ecosistemas a causa de los cambios en el clima (y de los mecanismos y procesos implicados en esta respuesta) tiene gran interés. No obstante, la complejidad y multitud de factores que interactúan en los sistemas requieren investigaciones que consideren las distintas escalas de los diferentes procesos ecológicos (desde los que tienen lugar a nivel fisiológico hasta los que se producen a nivel de comunidad).

En la actualidad, el cambio climático es un hecho plenamente aceptado por la comunidad científica (IPCC 1996). Si bien es cierto que no es el primero que ocurre en la Tierra, tiene como peculiaridad que está siendo acelerado por la actividad humana. Uno de los efectos más claros y conocidos de esta actividad antrópica a nivel global es el aumento en la concentración atmosférica de los gases del efecto invernadero, especialmente el CO₂, el cual se asocia al incremento de temperatura que se está produciendo a nivel planetario y que se ha acentuado desde los años 70 (IPCC 2001). La temperatura de la superficie del planeta en este último siglo ha aumentado en promedio 0,6°-0,7° C (Gates 1994, Walther *et al.* 2002); si bien en muchos lugares de nuestro país, dicho aumento ha superado con creces 1° C (Piñol *et al.* 1998, IPCC 1996, 2001, Peñuelas *et al.* 2002). Destacan dos periodos de mayor calentamiento: 1910-1945 y desde 1976 hasta la actualidad (Jones y Moberg 2003). Según Hansen *et al.* (2002) la tasa de aumento ha sido de 0,15° C por década en los últimos 30 años. Además, tanto la *World Meteorological Organization* (WMO 1998) como el grupo de investigación sobre el clima del Reino Unido (*Climate Research Unit*, CRU) afirman que los últimos 10 años, con excepción del 1996, han sido los más cálidos a nivel global del planeta desde que existen registros instrumentales (1861) (<http://www.cru.uea.ac.uk/>). Además, el Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático en su informe del 2001 advierte que, a la complejidad del cambio climático hay que añadir otro componente del mismo: el aumento de variabilidad del clima y la frecuencia de los acontecimientos climáticos extremos (IPCC 2001). La importancia de este aumento en la variabilidad para la conservación de los ecosistemas se asienta en el hecho que, a pesar que los seres vivos pueden presentar una elevada capacidad de adaptación a los cambios, podrían no tener tiempo de aclimatarse, especialmente cuando nos referimos a especies longevas como son los árboles.

Los resultados de diversos Modelos de Circulación General (GCM) predicen un calentamiento de magnitud similar al valor promedio global (1,2° – 3,5° C) y

una disminución general en las precipitaciones, que junto con un acusado cambio en el régimen de las mismas, aumentará la frecuencia e intensidad de las sequías y de las lluvias torrenciales (Wigley 1992, Watson y Zinyowera 2001, Palutikof *et al.* 2002, Sumner *et al.* 2003, Folland *et al.* 2004). Esta circunstancia es más manifiesta en la zona de clima mediterráneo (Piñol *et al.* 1998, Peñuelas y Filella 2001) donde, además, gran parte de los ecosistemas naturales están relegados a zonas montañosas, de suelos poco desarrollados y con marcadas diferencias climáticas según el relieve y la altitud. Todo ello, les hace especialmente sensibles al cambio climático y a otros efectos del cambio global, como por ejemplo los cambios en los usos del suelo, que inciden directamente en un aumento espectacular del número de incendios forestales manteniendo los ecosistemas en fases iniciales de la sucesión.

Cada vez son más abundantes los estudios científicos que ponen de manifiesto que el cambio climático está afectando directamente a todos los niveles de organización de los ecosistemas. Como hechos más destacables, entre otros, el aumento de CO₂ puede producir un aumento en la fotosíntesis (Peñuelas *et al.* 1995, López *et al.* 1997), acelerar la renovación de hojas en perennifolios (Gracia *et al.* 2001, Sabaté *et al.* 2002), provocar alargamientos en los períodos de crecimiento y actividad de los organismos (Peñuelas *et al.* 2004b), y aumentar la producción en algunos ecosistemas (Ogaya *et al.* 2003). Por otro lado, también pueden darse limitaciones causadas por otros factores, como por ejemplo, por el mayor estrés hídrico causado por una mayor evapotranspiración consecuencia del aumento de la temperatura (Barbéro *et al.* 2000). En cambio, la velocidad de la descomposición de la materia orgánica se vería favorecida por una mayor actividad metabólica de hongos y bacterias. En el caso de los bosques, este proceso sería además favorecido por una disminución de la densidad de la madera, tal y como se ha puesto de manifiesto en distintas especies de coníferas a lo largo de amplias zonas de Eurasia y Norte América (Briffa *et al.* 1998a, Briffa y Matthews 2002). Como consecuencia, se están produciendo modificaciones en el calendario anual de actividad y reposo de los organismos (fenología), desajustes en las interacciones entre especies y cambios significativos en la dinámica de poblaciones (IPCC 2001, Peñuelas *et al.* 2002).

Todos estos estudios indican que el efecto del cambio climático es complejo y no homogéneo, varía según las regiones y las especies, ya que éstas responden de manera individual a la temperatura, a la concentración de CO₂ y a los factores ambientales en general. No obstante, tal y como sostienen Peñuelas *et al.* (2004c), el calentamiento y la disminución de las precipitaciones previstos para las próximas décadas, de producirse, afectarán a la fisiología, fenología, crecimiento, reproducción, establecimiento, y finalmente la distribución de los seres vivos, y por lo tanto, a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

Dentro del contexto del estudio de los cambios ambientales rápidos, como el que se está produciendo en las últimas décadas, son necesarios registros de alta resolución (al menos anual) que recojan los efectos del cambio climático sobre los bosques (Bazzaz 1996, Cherubini *et al.* 2003). En este sentido, los anillos de crecimiento de los árboles son una fuente de datos ambientales muy valiosa porque la actividad del *cámbium* (tejido meristemático secundario responsable del crecimiento en grosor) es muy sensible a las condiciones del entorno, y en los anillos

de crecimiento queda compilada la información de todos los acontecimientos que han afectado al árbol a lo largo de toda su vida con resolución anual e incluso estacional (Fritz 1987). La gran sensibilidad del cámbium y la resolución de este tipo de registros junto con la elevada longevidad de los árboles hacen que toda esta información, convenientemente analizada, sea una herramienta muy adecuada para el estudio de procesos ecológicos y ambientales.

La dendrocronología (del griego *dendro* = árbol y *cronos* = tiempo) se ha aplicado con éxito al estudio de clima actual y del pasado (Fritts 1976, Creus – Novau 1991, Creus *et al.* 1997, Fernández y Manrique 1997) basándose en que la variabilidad interanual del clima afecta a todos los árboles de una misma región de forma simultánea, de manera que las secuencias de los anillos de crecimiento de los distintos árboles de una misma zona presentan una elevada sincronía. Esta respuesta común de los árboles permite identificar años climáticamente característicos durante los cuales la influencia del clima sobre el crecimiento ha sido más acusada. Por otro lado, la dendrocronología también es particularmente útil en ecología (dendroecología) para el estudio de procesos muy diversos y en particular aquellos que comprenden escalas temporales largas (reconstrucción de la historia del bosque y sucesión, producción forestal, régimen de perturbaciones, determinación de las condiciones climáticas y ambientales que limitan el crecimiento, y predicción de la respuesta de los bosques al clima) (Bosch y Gutiérrez 1999).

En las regiones con clima templado, la actividad del cámbium se detiene durante la estación fría, de manera que su crecimiento radial tiene un patrón claramente anual, formándose un anillo de crecimiento cada año. Esta regularidad en el crecimiento de las especies leñosas ha permitido profundizar en el conocimiento de su fenología, y así, poder utilizar los registros de los anillos de los árboles para reconstruir la respuesta de los bosques a los cambios ambientales en el pasado y hacer predicciones de futuro (Cherubini *et al.* 2003). En la región mediterránea, la gran variabilidad climática interanual causa que los patrones de crecimiento de la vegetación no siempre sean tan claros y regulares. Varios trabajos hacen patente la existencia de respuestas fenológicas y fisiológicas, que bajo las condiciones climáticas mediterráneas, quedan reflejadas en la anatomía de la madera como cambios intraanuales de densidad (anillos múltiples o falsos anillos), los cuales dificultan la datación de los anillos de crecimiento (Gindel 1964, Schiller y Cohen 1995, 1998). Este conjunto de factores explicarían la escasez de estudios dendroecológicos en la región mediterránea. No obstante, algunos trabajos realizados en el sur de Italia (Attolini *et al.* 1990) y sur de Francia (Nicault 1999) han mostrado la eficacia de los seguimientos del crecimiento en grosor del para establecer, cómo aprovecha la vegetación los periodos intraanuales climáticamente favorables para completar su ciclo anual de crecimiento en zonas con clima mediterráneo. En este sentido, consideran además que el crecimiento radial es un parámetro ecológico-funcional que integra distintos procesos ecofisiológicos de la planta (transpiración, absorción de agua y nutrientes, crecimiento, repartición de recursos, etc.).

Los registros y el seguimiento de parámetros ecológico-funcionales en la vegetación, deben realizarse durante un período de tiempo relativamente largo para conocer, con más precisión, su respuesta a la variabilidad del clima (Montoya

y López 1997). Con respecto a este último punto, este tipo de estudios permiten conocer no sólo el patrón de actividad en el crecimiento que la variación estacional del clima genera (Montenegro 1987, Oliveira *et al.* 1994), sino también la evolución de la vegetación después de acontecimientos climáticos extremos, los cuales son frecuentes en las regiones con clima mediterráneo (Montoya 1995).

OBJETIVOS

El objetivo principal que se plantea en el presente trabajo es determinar la plasticidad del crecimiento radial del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) frente al clima. Más concretamente, evaluar el grado de adecuación del crecimiento en grosor del tronco de las masas forestales de esta especie, a las distintas condiciones climáticas que se encuentran dentro de su área de distribución en España. Dicho propósito se aborda mediante el análisis de las series de crecimiento radial y su relación con el clima a distintas escalas temporales y espaciales.

Una primera perspectiva se basa en el seguimiento (realizado con resolución casi quincenal) del crecimiento radial del pino carrasco en una localidad situada dentro del Parc Natural del Garraf (Barcelona, Catalunya). La finalidad de este seguimiento es precisar el grado de ajuste de las tasas de crecimiento radial del pino carrasco a la variabilidad climática inter e intraanual. Dicho de otro modo, delimitar los períodos de actividad y reposo del crecimiento en grosor del tronco y definir qué factores climáticos controlan la formación de los anillos de crecimiento. Los objetivos parciales que se plantean son:

- (i) Establecer el patrón temporal del crecimiento radial (períodos de crecimiento y reposo).
- (ii) Determinar el grado de ajuste del crecimiento radial de la especie a la variabilidad climática inter e intraanual a lo largo de los 10 años del seguimiento.
- (iii) Identificar los factores que determinan las tasas de crecimiento en grosor del tronco, sus efectos en las sus características anatómicas del anillo de crecimiento y, la periodicidad con la que dichos anillos se forman.

Los resultados derivados de este seguimiento intensivo del crecimiento radial constituirán una base sólida para la interpretación de los resultados obtenidos en el estudio dendroclimático del pino carrasco en España, el cuál se basa en una red de cronologías del grosor de los anillos de crecimiento lo más extensa posible (temporal y espacialmente). Los objetivos en los que se desglosa este segundo propósito son los siguientes:

- (i) Establecer una red de localidades representativa del área de distribución de la especie, de los bioclimas en los que habita y del tipo de masas forestales que encontramos en España; y describir,

detalladamente, el clima de cada una de ellas, sus peculiaridades y sus tendencias temporales.

- (ii) Caracterizar ecológicamente los bosques españoles de pino carrasco, mediante:
 - La descripción de la estructura demográfica de edades y por tamaños y de las características actuales de las masas forestales (densidad, área basal, estructura espacial, etc.).
 - La reconstrucción de su historia reciente (últimos 100 años) y obtención de su régimen de perturbaciones.
- (iii) Establecer las relaciones entre el crecimiento (series del grosor de los anillos) y las condiciones climáticas locales, y de su variación a lo largo del este de la Península e Islas Baleares, resaltando el grado de adecuación del crecimiento radial del pino carrasco al clima en las distintas regiones bioclimáticas en las que se halla.
- (iv) Analizar la variación espacial de los patrones de crecimiento radial de la especie en España y de su relación con el clima a escala regional; y valorar el grado en que dichas variaciones regionales pueden estar relacionadas con fenómenos de circulación atmosférica de escala global (teleconexiones climáticas).
- (v) Contrastar la estabilidad temporal de las relaciones crecimiento-clima a escala local y regional.

La interpretación de los resultados obtenidos proporcionarán una visión global y precisa, de la respuesta al cambio climático que pueden tener los bosques españoles de pino carrasco; la especie más importante en el paisaje español de baja altitud, no sólo por el área de territorio que ocupa sino por su importante función ecológica (ej. prevención de la erosión y pérdida de suelo y recuperación del entorno natural después de perturbaciones, especialmente incendios).

ANTECEDENTES

Gracias a la concesión del proyecto de investigación FOR91-0689, en julio de 1993 se inició el seguimiento del crecimiento y fenología cuantitativa de algunas de las especies mediterráneas más emblemáticas a lo largo de un gradiente climático atlántico-mediterráneo (*Quercus ilex*, *Quercus coccifera*, *Arbutus unedo*, *Pistacea lentiscus*, y *Quercus faginea*). Los resultados aportaron conocimientos sobre las adaptaciones morfológico-funcionales de las especies más extendidas en nuestro territorio y mostraron la adecuación de este tipo de datos para conseguir los hitos propuestos (Villar-Salvador *et al.* 1997). Sin embargo, la breve duración del trabajo de campo no permitió entender la plasticidad y el grado de adaptación a los cambios en las condiciones ambientales. Por este motivo, se

continuó el seguimiento, aún cuando el proyecto había concluido, y se añadieron dos especies de coníferas (*P. halepensis* en Garraf (Barcelona) en abril de 1995 y *Pinus sylvestris* en Prades (Tarragona) en febrero de 1996).

Por otro lado, la concesión del proyecto europeo de investigación ENV4-CT97-0641 permitió establecer una red de cronologías distribuidas en la Península Ibérica bastante representativa de los pinares de la Península. Las especies consideradas fueron *Abies alba*, *Pinus uncinata*, *P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. halepensis*. La principal finalidad del proyecto era poner de manifiesto cómo varían los factores climáticos que limitan el crecimiento radial de las principales especies de coníferas europeas para predecir su respuesta a las condiciones climáticas futuras. Los resultados obtenidos mostraron que: (i) la gran variabilidad climática espacial de la Península Ibérica quedó reflejada en el conjunto de cronologías, pero la densidad de la red no fue suficiente para representar dicha variabilidad espacial para la mayoría de las especies estudiadas; (ii) que la respuesta al cambio climático es específica de cada especie; y (iii) que el siglo XX presenta dos periodos climáticamente distintos: la primera mitad del siglo se considera como un periodo de bonanza climática en comparación con la segunda mitad que presenta una elevada variabilidad, motivo por el cual se ha denominado como la crisis climática del siglo XX (Font-Tullot 1988, Gutiérrez *et al.* 1998, Tardif *et al.* 2003). Dado que la variabilidad climática del territorio español no quedaba representada en las 15 cronologías que se obtuvieron de pino carrasco, la red fue ampliada hasta las 27 que componen la red actual, algunas de las cuales cubren los últimos 150 años y muchas abarcan todo el siglo XX, aumentando así su valor dendroclimático.

JUSTIFICACIÓN

El interés que está suscitando el *P. halepensis* desde hace tiempo, como una de las especies forestales puramente mediterráneas más resistentes a la sequía, no nos puede pasar desapercibido. Ni tampoco podemos olvidar la gran capacidad que posee para establecerse en terrenos inhóspitos para la mayoría de especies arbóreas. Estas cualidades le imprimen un gran valor en climas áridos y semiáridos, dónde la restauración de la cubierta vegetal no es sencilla. En este sentido, la amenaza de la actual crisis climática (aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones que conllevarían el alargamiento de la duración de la sequía estival), junto con la dominancia de los suelos pobres (al menos en la mitad oriental de la Península) sugieren la utilización del pino carrasco en lugar de otras especies más codiciadas para los trabajos de repoblación y lo convierten en un buen candidato para conservar la superficie forestal española en el futuro. Según Gracia *et al.* (2002) en los sitios con déficit hídrico, que representan la mayor parte de los ecosistemas terrestres de España, se pueden esperar cambios importantes que van desde la reducción de la densidad de árboles hasta cambios en la distribución de especies. En este sentido, los trabajos de Lloret y Siscart (1995) sugieren que ante la actual perturbación climática, los pinares de pino carrasco parecen ser firmes candidatos a ocupar el lugar de algunos encinares actuales, aunque tampoco

descartan que *P. halepensis* esté exento de afecciones inducidas por el estrés hídrico y la elevación de las temperaturas.

Quizás del pino carrasco, como de otras especies forestales, se conozcan más algunos aspectos relacionados con la fisiología, gracias a estudios basados en experimentos realizados durante un intervalo de tiempo corto (horas o algunos días) y en someter a algunos individuos (generalmente plántulas) a condiciones de laboratorio específicas controladas. Pero existen todavía muchos aspectos relacionados con su crecimiento y desarrollo (períodos de actividad y reposo del crecimiento radial y longitudinal, distribución de recursos, dinámica foliar, formación de los anillos de crecimiento) que todavía no se conocen bien, que son la base para la interpretación funcional de su respuesta a las condiciones ambientales, y que por lo tanto, devienen básicos para entender su grado de adaptación y respuesta al clima. En este sentido, seguimientos detallados y realizados durante períodos de tiempo largos (más de 10 años), de parámetros ecológico-funcionales que integren distintos aspectos del funcionamiento fisiológico de la planta, pueden proporcionar dichos conocimientos, que a su vez son la base para parametrizar los modelos fenológicos sobre los que se basan las predicciones.

Distintos estudios demuestran que *P. halepensis* mantiene y combina distintas estrategias de control del agua para mantener su actividad bajo condiciones hídricas adversas (Oppenheimer 1968, Borghetti *et al.* 1998, Martínez-Ferri *et al.* 2000, Ferrio *et al.* 2003, Oliveras *et al.* 2003, Atzmon *et al.* 2004). Calamassi *et al.* (2001) encontraron que el pino carrasco cierra los estomas tan pronto como el déficit de agua en el suelo ocurre (potencial hídrico entre -0,8 y -1,6 MPa) demostrando que es más sensible a la disponibilidad de agua en el suelo que otras especies. En este sentido, Pereira y Chaves (1993) consideran que bajo las condiciones mediterráneas, una respuesta inmediata de las plantas a la sequía es crucial a la hora de prevenir una deshidratación severa de los tejidos y la pérdida de las hojas. No obstante, en las especies que, como el pino carrasco, "evitan" la sequía (*drought-avoiding species*), la asimilación de carbono es suprimida durante los períodos de déficit hídrico debido al cierre de los estomas (Martínez-Ferri *et al.* 2000); hecho que podría quedar reflejado en una disminución de las tasas de crecimiento radial durante los meses estivales. Sin embargo, se sabe muy poco si su crecimiento (de madera, brotes, raíces, etc.) se detiene en realidad durante los periodos estivales de máximo estrés: cuando las temperaturas son más altas y las precipitaciones son mínimas o nulas, y de su capacidad de reiniciarlo como respuesta a unas condiciones ambientales más favorables (lluvias de verano y/o otoño). Una detallada comprensión de los mecanismos de respuesta de los árboles a la sequía es un prerequisite para hacer predicciones del impacto del cambio climático en los bosques mediterráneos.

Por otra parte, parece ser que su mecanismo para soportar las bajas temperaturas invernales consiste en detener su actividad (Neman y Trabaud 2000). La confirmación de la existencia de un umbral térmico por encima del cual se produce crecimiento sugeriría que el período de crecimiento de esta especie podría alargarse como respuesta al aumento de las temperaturas relacionado con el cambio climático, en especial, si consideramos que este aumento se debe principalmente a un aumento de las temperaturas mínimas (Gates 1994, Dessens y

Bücher 1995, Camarero *et al.* 1998). Para prevenir las posibles alteraciones, que el cambio climático puede causar en el desarrollo de las masas forestales de *P. halepensis* es importante determinar, de forma precisa, su patrón de crecimiento y las causas que lo generan, y con ello, evaluar el grado de adaptabilidad fenológica de la especie. Por otro lado, establecer los factores ambientales que se relacionan con las tasas de crecimiento radial en cada momento del año es la base para la interpretación de relaciones estadísticas entre el crecimiento y el clima (análisis dendroclimáticos).

A corto plazo, los impactos directos de los cambios en el clima sobre la vegetación están controlados por la plasticidad fisiológica de las especies, es decir, por la capacidad de adaptación fisiológica de un genotipo a la heterogeneidad ambiental (Rehfeldt *et al.* 2001). En este sentido, la gran variabilidad de situaciones climáticas acontecidas en los últimos años atendiendo a la duración, intensidad y momento del año en el que se produce el hecho climático desfavorable, proporcionan un conjunto de "escenarios naturales" muy apropiados para analizar la respuesta del pino carrasco a la elevada variabilidad climática, cuáles han sido los factores más favorables y desfavorables para su crecimiento, y en definitiva, para predecir la respuesta de los bosques actuales a las condiciones climáticas futuras que los modelos pronostican. Podemos citar como ejemplos de perturbaciones climáticas recientes la sequía extrema durante los veranos de 1994 y de 2003, las heladas en el mes de mayo del año 1997 y el frío intenso y sostenido en diciembre de 2001. Entender cómo *P. halepensis* ha respondido a distintos tipos de perturbaciones climáticas sería importante porque cada año se producen diferentes fenómenos climáticos que rompen todas las medias históricas de los registros meteorológicos, en particular durante las últimas décadas (IPCC 2001). Además, muchas de las series dendrocronológicas de pino carrasco obtenidas en el presente estudio cubren los últimos 100 años, y algunas los últimos 150 años, permitiendo estudiar los procesos ecológicos y ambientales que han afectado las masas forestales de *P. halepensis* en España dentro de un marco temporal más amplio y con resolución anual.

EL PINO CARRASCO

Taxonomía y descripción morfológica

El grupo *halepensis* del género *Pinus* representa uno de los tres grupos que conforman la sección *Halepensisoides*. Dentro de éste, la mayoría de los taxónomos consideran como legítimas dos especies: *Pinus halepensis* Mill. (pino carrasco) y *Pinus brutia* Ten. (pino brutia). Una revisión de su posición taxonómica puede encontrarse en Barbéro *et al.* (2000), y en Ne'eman y Trabaud (2000) se presenta una clave clara y concisa para distinguir morfológicamente estas dos especies.

El pino carrasco es un árbol que por lo general presenta un porte mediano y tortuoso, aunque puede llegar a los 22 m de altura bajo condiciones ecológicas favorables. La corteza es grisácea en los troncos jóvenes, y pardo-rojiza en los árboles viejos, sobretodo en la base del tronco. La copa, al principio es cónica y se vuela irregular con la edad a causa del desigual desarrollo de las ramas

principales en direcciones divergentes. Siempre aparece muy clara y abierta, a causa de la escasa persistencia del follaje, que apenas excede de los dos años. Florece de marzo a mayo, aunque en inviernos suaves y localidades abrigadas llega a florecer en febrero. Las piñas son muy numerosas, ovoides-cónicas (5-12 cm) y pedunculadas (1-2 cm); maduran durante el verano del segundo año y suelen persistir varios años en el árbol, viéndose con gran abundancia en la copa. El sistema radical, aunque puede llegar a estar bien desarrollado, suele ser superficial e irregular, con gran profusión de raíces secundarias en localizaciones con suelos rocosos y pobres (Ceballos y Ruíz de la Torre 1979).

Como especie pionera que es, el pino carrasco es poco longevo (según los datos publicados), pudiendo vivir 200 ó 250 años, si bien por lo general no suele pasar de 150-180. Su gran capacidad de expansión se debe en gran parte a su abundante fructificación anual y a sus piñones, de tamaño pequeño y con gran potencia germinativa (Costa *et al.* (eds.) 1998).

Distribución geográfica actual

El pino carrasco encuentra su área de distribución natural en la cuenca circummediterránea, ocupando una superficie aproximada de 3,5 millones de hectáreas. Predomina en la región mediterránea occidental, puesto que en la parte oriental encontramos masas forestales de su especie vicariante *P. brutia* (Figura 1).

Se trata de la especie del género *Pinus* más ampliamente repartida por todo el Mediterráneo. Sus pinares más extensos se presentan en el norte de África (principalmente en Argelia) y en la Península Ibérica. En Francia están muy extendidos por el litoral provenzal y en Italia se encuentran sólo en el sur y en las islas de Cerdeña y Sicilia. En la costa balcánica septentrional es rara su presencia, mientras que en Grecia se vuelve más abundante, especialmente en el Peloponeso occidental.

P. halepensis y *P. brutia*, a pesar de ser ecológica y genéticamente muy similares, raramente coexisten. Solamente cohabitan en dos pequeñas regiones de Grecia, en el sureste de Anatolia y en el Líbano, dónde se hibridan de forma natural (Ne'eman y Trabaud 2000).

Se distinguen cuatro razas o subgrupos distintos: la europea occidental (España, Francia e Italia), la europea oriental (el área de los Balcanes, este de Italia y Libia), la marroquí y la norteafricana (Argelia y Túnez). No obstante, estudios sobre la variabilidad genética de la especie, basados en flavonoides y otros marcadores genéticos, solamente distinguen dos grupos de poblaciones de pino carrasco: uno en la región occidental (España, Francia, Italia y desde Marruecos hasta Libia), y otro en la región más oriental de su distribución actual (Schiller *et al.* 1986, Morgante *et al.* 1998, Gómez *et al.* 2001). Dentro de su área de distribución actual, la tendencia decreciente en el contenido en flavonoides del este al oeste sugiere que su origen se encuentra en la región oriental, y que, posteriormente, invadió el norte de África y Europa. No obstante, la existencia de poblaciones aisladas de pino carrasco en Asia Menor y en el Próximo Oriente, al

límite oriental de la cuenca Mediterránea, añaden cierta polémica a la hora de determinar los patrones de distribución de la especie en el pasado y sus vías de migración (Schiller *et al.* 1986).

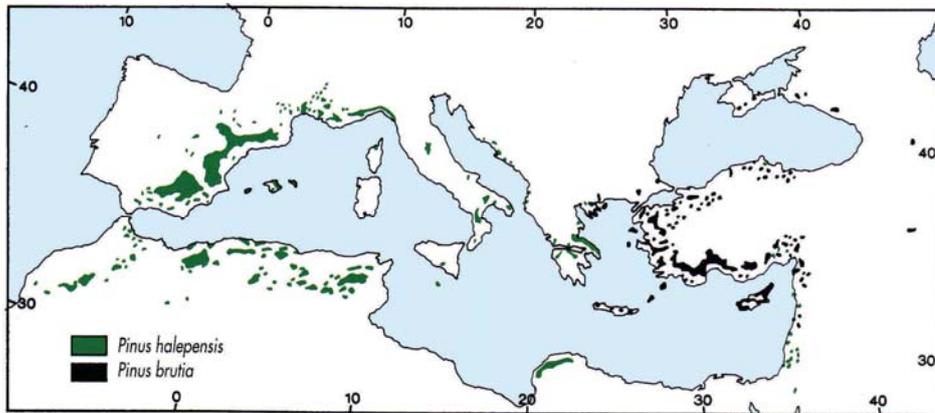


Figura 1. Distribución geográfica mundial de *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus brutia* Ten. Imagen modificada de Costa *et al.* (eds.) (1997).

El papel de *P. halepensis* en la dinámica de la vegetación ha sido debatido durante mucho tiempo. En la actualidad, se considera que en bioclimas húmedos y subhúmedos, y en los pisos de vegetación meso y localmente supramediterráneos, el pino carrasco forma estadios transicionales de vegetación que, generalmente, evolucionan hacia comunidades climácicas dominadas por especies esclerófilas (normalmente del género *Quercus*). Sin embargo, en bioclimas áridos y semiáridos en los cinturones termo, y especialmente en el mesomediterráneo, el pino carrasco suele formar masas preforestales o preestéticas climácicas (Túnez, Marruecos y zona presahariana) (Ne'eman y Trabaud 2000).

En la actualidad, las diferencias en los usos del territorio dentro de la cuenca Mediterránea determinan tendencias distintas en el área de distribución de *P. halepensis*. En el norte, sobretodo en Francia y España, el abandono de los campos de cultivo y las políticas de reforestación están causando un aumento de las masas forestales de esta especie (por ej., su área de distribución ha pasado de 5.000 ha a 200.000 ha en Provenza desde principios de s. XX); mientras que en el sur, principalmente en Marruecos y Argelia, la extracción de madera para diversos fines (carbón, construcción de casas, etc.) junto con la elevada presión ganadera y la recurrencia de incendios están causando una disminución drástica de estos bosques (Barbéro *et al.* 1998).

Localizaciones

En Marruecos no es una especie demasiado abundante; ocupa alrededor de unas 60.000 ha formando pequeñas masas aisladas repartidas desde la Cordillera del Gran Atlas hasta el Océano Atlántico, pero siempre protegidas de las influencias oceánicas (Barbéro *et al.* 2000). Según la clasificación de Emberger la

mayoría de éstas poblaciones naturales se encuentran en el piso bioclimático subhúmedo; el resto, están en el piso semiárido.

El pino carrasco es muy común en Argelia, donde constituye masas forestales de gran importancia (855.000 ha). Es dónde encuentra su máxima altitud, pudiendo llegar en el Atlas Sahariano a los 2.200 m. Predomina en el piso semiárido templado y fresco, aunque también se encuentra en el subhúmedo cálido y fresco.

En Túnez es muy abundante, se podría decir que él solo constituye la mayoría de las masas forestales existentes a lo largo de la cordillera central de Túnez. Ocupa una superficie aproximada de 340.000 ha situadas en el piso bioclimático semiárido templado y fresco, donde la continentalidad del clima es más acusada.

En Libia es una especie poco abundante. Las masas naturales sólo se encuentran en la vertiente mediterránea y no son pinares en buen estado. Se encuentran en el piso semiárido superior templado. En Egipto, sólo se encuentra en plantaciones de parques y jardines.

Las poblaciones (no demasiado abundantes) de pino carrasco en Jordania suelen constituir bosques climáticos sobre las formaciones margosas o margo-calcáreas. Sin embargo, también se encuentra algunas veces sobre terra rossa. Ocupa el piso bioclimático subhúmedo templado. En Israel, forma masas disjuntas presumiblemente relicticas, pero hay más de 35.000 ha de repoblación (Lev-Yadun *et al.* 1981, Liphshitz y Mendel 1987).

En el Líbano es poco abundante. Se mezcla en el norte con *P. brutia*, y se encuentra en el piso bioclimático subhúmedo cálido y templado.

El pino carrasco en Siria y Turquía es una especie muy rara en su estado natural, siendo reemplazado con frecuencia por *P. brutia*. En Turquía sólo existe un bosque de esta especie de 500 ha que pertenece al piso bioclimático subhúmedo templado (Lipschitz *et al.* 1979).

El pino carrasco se encuentra muy disperso en Grecia, pero ocupa una superficie que supone casi el 15% de la superficie forestal total del país (334.000 ha). Se encuentra en el piso bioclimático subhúmedo y semiárido (Barbéro y Quézel 1976).

En general, y a lo largo de toda la costa adriática balcánica, el pino carrasco no se aleja del litoral desde Albania hasta Croacia, dónde se encuentra el punto más septentrional del área de distribución de esta especie.

La especie es poco abundante en Italia, ocupando alrededor de unas 20.000 ha situadas principalmente en el sur. Se encuentra en los pisos bioclimáticos húmedos, subhúmedos y semiáridos (Pignati 1982, Schiller y Brunori 1992).

En Francia, el pino carrasco es una especie de gran importancia. Ocupa 180.000 ha las cuales se localizan en la zona mediterránea (Nicault 1999), y su presencia natural en Córcega (St. Florent) y Cerdeña todavía está sujeta a debate.

El pino carrasco en España

El pino carrasco se encuentra repartido a lo largo de toda la costa mediterránea española, penetrando en el interior a través de algunos valles encajados y protegidos del Sistema Ibérico, de las Sierras Béticas, del valle del Ebro y del Prepirineo, alcanzando su presencia natural en varios puntos del centro peninsular (Figura 2). Las masas de pino carrasco españolas son las más importantes en extensión de toda la distribución geográfica mediterránea, cubriendo entre 800.000 y 900.000 ha (lo que supone un tercio del total mundial de su área natural), que se reparten a lo largo de un amplio abanico de situaciones climáticas (Costa *et al.* (eds.) 1998). Además, su gran capacidad colonizadora y su amplitud de hábitat explican que haya sido utilizada en numerosos trabajos de repoblación (450.000 ha) entre 1940 y 1980 (Gil *et al.* (eds.) 1996) en lugares en los que muy pocas especies podrían prosperar debido a la escasa profundidad de los suelos, a determinadas características edáficas (Folch 1986), a la falta de agua, o a las temperaturas demasiado extremas. La repoblación artificial ha añadido 300.000 ha, con máximas superficiales en Murcia, Valencia, Zaragoza, Teruel, Jaén y Granada. La mayoría de estas repoblaciones se han realizado con fines de conservación del suelo y del agua (Olarieta *et al.* 2000). No obstante, también ha sido difundido por muchas regiones occidentales que le eran extrañas como la cuenca del Duero (Valladolid, Palencia, Salamanca), la cuenca media del Tajo (Madrid y Toledo), Ciudad Real y Andalucía central (Córdoba y Cádiz).

A continuación se detalla el área de distribución de la especie en España relacionándola con la diversidad de condiciones climáticas existentes.

Bajo condiciones climáticas semiáridas (litoral suroriental, tierras bajas de la Bética oriental y valle del Ebro) el pino carrasco aparece disperso sobre un estrato arbustivo más o menos denso, sin llegar nunca a definir una estructura de bosque cerrado. Este tipo de pinares ocupan grandes extensiones en la vertiente costera de algunas montañas del sur de Andalucía, desde el nivel del mar hasta los 1700 m de altitud. A pocos kilómetros al sur de la ciudad de València, dónde las condiciones climáticas son también semiáridas, se encuentra el conocido pinar del Saler, ejemplo de bosque psammófilo del litoral oriental.

En las Pitiüses (Eivissa y Formentera) y en la parte basal meridional de Mallorca se dan condiciones de clima mediterráneo de tipo semiárido, que favorecen el predominio de los pinares de pino carrasco como elemento forestal principal. El nombre de Pitiüses se debe a la gran extensión que seguramente debieron presentar antiguamente los pinares de pino carrasco.

En la Depresión del Ebro, zona de marcada aridez climática y dónde se producen fuertes inversiones térmicas, los pinares de pino carrasco aparecen predominantemente en las partes elevadas de los montes circundantes donde las mínimas invernales son menos extremas.

En la parte basal de la Bética oriental, donde se dan condiciones esteparias de extremada aridez, es frecuente observar ejemplares de pino carrasco, de crecimiento moderado, restos de lo que pudo ser una masa forestal propiamente dicha.

Bajo condiciones climáticas de menor xericidad, el pinar se asienta en las exposiciones sur y este, más caldeadas. Al sur de las montañas de Segura y Cazorla, y desde la provincia de Jaén hasta Murcia, se extienden bosques de pino carrasco aclarados, con un sotobosque termófilo y rico en especies arbustivas. En Mallorca estos pinares se encuentran en las vertientes meridionales de la Serra de Tramuntana y en algunas zonas del centro de la Isla; en Menorca los pinares de *P. halepensis* se localizan tanto en el litoral meridional, como en el centro y norte. También se encuentran estas formaciones en la mitad septentrional de Eivissa.

En el litoral catalán más septentrional, el pino carrasco aparece en los acantilados aunque no es tan abundante como el pino piñonero. El pinar de *P. halepensis* vuelve a ser abundante en las partes basales de las montañas interiores de clima algo más contrastado (desde el Bages hasta el tramo inferior del río Ebro).

Distribución paleogeográfica

El área actual de distribución de las coníferas en el Mediterráneo procede del Cuaternario, tal y como señaló Quézel en 1986. Los primeros restos fósiles que han podido identificarse como Gimnospermas en la región mediterránea han sido localizados en varios depósitos del Cretácico inferior (hace unos 100 millones de años), y pertenecen casi exclusivamente al género *Cedrus*. Pero no es hasta el Oligoceno superior, e incluso principios del Mioceno, cuando empiezan a aparecer restos fósiles de microfloras atribuibles a los antecesores de las actuales especies mediterráneas (Cámara 1999).

Durante el Plioceno inferior (5 -3,5 millones de años), las formaciones forestales eran densas y estaban dominadas por taxones de carácter subtropical. Posteriormente (3,2 millones de años), se producen una serie de cambios climáticos con una progresiva disminución de las precipitaciones estivales e instalación de un ritmo climático de tipo mediterráneo. En este momento llegan a dominar el paisaje las coníferas (esencialmente *Pinus*).

Las fluctuaciones típicas cuaternarias (que corresponden a la fase glacial-interglacial) son el resultado de fenómenos de pluviosidad-xericidad. Éstos, determinan la extensión de densos bosques caducifolios o perennifolios en las fases más o menos húmedas, y de formaciones esteparias en las fases secas. Estos acontecimientos hicieron desaparecer casi por completo la antigua vegetación tropical terciaria en Europa.

La distinción en regiones bioclimáticas era, ya desde el Tardiglacial (hace al menos 13.000 años), muy similar a la actual. Parece, que los pinares xerófilos en el ámbito mediterráneo alcanzan cierta importancia coincidiendo con épocas de transición climática, constituyendo formaciones abiertas que anteceden o suceden a los *Quercus*, según se trate de un período de recuperación o regresión térmica, respectivamente. Según Cámara (1999), los datos palinológicos específicos concernientes al pino carrasco indican que, en el pasado, se localizaba en las

regiones templadas boreales, más septentrionales que las de hoy en día. Tanto *P. halepensis* como *P. brutia* debían ocupar, a finales del Terciario, un área común, pero el pino carrasco debió avanzar más hacia el norte que el pino brutia y llegar incluso hasta el mar Báltico (según indican los restos fósiles hallados). Posteriormente, los cambios climáticos que tuvieron lugar al final del Terciario y principios del Cuaternario, pudieron favorecer a *P. brutia* en el medio oriente (Anatolia, Irak, Siria e Irán) debido a su mayor resistencia de éste al frío, es decir, a la continentalidad y la altitud. Por otro lado, estas alteraciones habrían favorecido al pino carrasco en la otra región de su área geográfica (Europa meridional), en detrimento del *P. brutia*, como consecuencia de la aparición de un clima más cálido y extremo.

Características ecológicas generales

El pino carrasco figura como una de las especies con una amplitud ecológica más grande, presentando gran plasticidad, es decir, que un mismo genotipo presenta fenotipos muy variados dependiendo de la expresión del medio. De esta manera, distintas regiones de procedencia de *P. halepensis* muestran diferentes niveles de resistencia a las heladas, de potenciales hídricos límite, o incluso a los ataques de insectos (Gil *et al.* (eds.) 1996).

Los pinares de pino carrasco ocupan una banda altitudinal amplia, relacionada con un gradiente latitudinal también considerable (entre 46° y 32° de latitud, Figura 1). *P. halepensis* se desarrolla según Quézel (1986), en los pisos termo y mesomediterráneos, es decir entre 0 y 300-600 m snm. en el Mediterráneo septentrional, y entre 0 y 1200-1400 m snm. en el Mediterráneo meridional. No obstante, en ocasiones penetra en el piso supramediterráneo alcanzando altitudes superiores (2600 m snm. en el Atlas, y más de 2000 m snm. en los Aurès).

Puede crecer en todo tipo de sustratos, se encuentra sobre yesos en los Monegros, crece sobre calizas compactas y diaclasas calizas de terra rossa en Provenza y ciertas localidades argelinas y marroquíes (Quézel *et al.* 1992), y ocasionalmente también puede encontrarse sobre esquistos y gneis. No se han encontrado en la bibliografía citas de localizaciones de carrasco sobre granitos. Las formaciones en que predomina son las margas terciarias y calizas secundarias, con el óptimo en depósitos terciarios y cuaternarios arenosos más o menos sueltos. No obstante, no debe considerarse el pino carrasco como una especie de carácter calcícola puesto que, a igualdad de condiciones, no huye de los suelos silíceos y neutros. Se presenta con profusión sobre suelos calizos y básicos porque es donde encuentra menos competencia con otras especies arbóreas. Tampoco se trata de una especie exigente con el contenido en materia orgánica en el suelo y suele vivir en terrenos con pedregosidad muy variada (Folch 1986).

Es la especie forestal que se distingue por su gran resistencia a la sequía. Crece con sólo 200 mm de precipitaciones anuales, bioclima árido (Ceballos y Ruíz de la Torre 1979), llegando a soportar en la Península Ibérica totales anuales cercanos a 150 mm, como sucede en la Sierra de Cartagena. En las regiones del

norte peninsular, durante algunos períodos invernales, soporta temperaturas de hasta -20°C , mientras que en el sur de España, en verano, tolera temperaturas de hasta 50°C . Aunque encontramos sus formaciones en localidades con precipitaciones totales anuales que oscilan entre los 200 mm y los 1500 mm, parece que su desarrollo óptimo lo encuentra entre 350 y 700 mm anuales (pisos bioclimáticos semiárido y subhúmedo). Desde el punto de vista térmico, si aplicamos estrictamente el criterio de Emberger de la media de las mínimas del mes más frío, el pino carrasco puede aparecer en localidades con valores comprendidos entre -3°C y 10°C . En España, el límite inferior se amplía hasta $-4,6^{\circ}\text{C}$ y el superior se reduce a $8,8^{\circ}\text{C}$ (Cámara 1999). De esta manera, se pone de manifiesto la clara termicidad de esta especie, que prefiere temperaturas medias del mes más frío próximas a los 8°C .

En la Península, las características climáticas y el carácter pionero de la especie reducen su área de distribución al este Peninsular, en zonas de baja altitud y donde las condiciones edáficas y climáticas son poco favorables para la mayoría de las especies forestales (Folch 1986, Costa *et al.* (eds.) 1998). Debido al hábitat que ocupa, el estado de conservación de estas comunidades boscosas es con frecuencia precario. Quizás sea la conífera que ha estado más afectada por la actividad antrópica debido a la intensa transformación que las tierras bajas del mediterráneo han sufrido por parte del hombre (sustitución por campos de cultivo o pastos, quemas y roturaciones periódicas de control del matorral, incendios, etc.). Por último, cabe resaltar su gran papel en la protección de la erosión de la cubierta del suelo y en la colonización de campos abandonados y zonas afectadas por incendios. Además, la comunidad vegetal que dicha especie compone, confiere las condiciones necesarias para el establecimiento de otras especies vegetales; así, el pino carrasco proporciona las condiciones de umbría que las plántulas de encina requieren para establecerse y sobrevivir.