

23 estampas forestales



bosques, montes e ingeniería de montes



José Alberto Pardos Carrión

Fotografías en portada, desde arriba en sentido de las agujas del reloj:

1. Selva pirenaica
2. Micorrizas en pino
3. Aprovechamiento maderero
4. Alcornoque recién pelado
5. Plantación bioenergética
6. Práctica de una pica de resinación
7. Fustal de pino silvestre
8. Corrección de un torrente

Aun imprescindible para su consecución, la aportación de los trabajos reseñados en la bibliografía no hubiera sido suficiente sin la aportación anímica de Mari.

José Alberto Pardos Carrión

ISBN: 978-84-09-05944-7

23 estampas forestales

bosques, montes e ingeniería de montes

José Alberto Pardos Carrión

Ingeniero de Montes

ÍNDICE

<i>Prólogo</i>	1	
 <i>El Bosque</i>		
El bosque, inmensurable e intemporal: una red de vida ..	5	
El bosque/El monte, un sistema sostenible: ecología y gestión	11	
El bosque y los recursos hídricos: hidrología y ecofisiología.....	17	
El bosque urbano	27	
 <i>Los Montes</i>		
Reseña histórica, Mapa Forestal e Inventario Nacional	33	
Parques Nacionales	39	
Clima, suelo y árboles: un triángulo de relaciones mutuas	49	
Hongos, insectos y árboles: una relación multifuncional	57	
Contaminación atmosférica y edáfica. Fitorremediación	65	
Los Incendios en los montes	73	
Montes y plantaciones ante el cambio climático	79	
 <i>Gestión técnica y Restauración</i>		
Selvicultura: Conceptos básicos y tratamientos selvícolas en los montes arbolados	85	
Ordenación de Montes, aprovechamientos y certificación Forestal	97	
Dehesas, pastizales, arbustados y matorrales	105	
Repoblación forestal, producción de planta y mejora genética	111	
La restauración hidrológico-forestal	121	
 <i>Recursos</i>		
La biomasa forestal, fuente energética	129	
Plantaciones forestales: Celulosa.....	135	
La madera, material en la vanguardia de la economía	139	
 Los montes, fábricas de producción de resina, plantas aromáticas y medicinales.....		145
Subericultura e industria corchera, un sector en evolución	151	
El uso recreativo de los Montes. Usos recreativos. Setas y trufas, caza y pesca fluvial.....	157	
 <i>Reflexión final</i>		
La investigación forestal de/en los montes: objetivos, receptores y problemas	165	

Prólogo

La naturaleza, tanto en tierras continentales como en los espacios marinos, ocupa un lugar propio en la literatura científica y técnica, sin olvidar la abundante producción de obras sobre viajes, aventuras, hechos misteriosos, que se desarrollan, de forma singular, en los bosques.

El bosque tiene un atractivo especial para el ser humano que va más allá de la etapa de la niñez y junto al disfrute directo de vivirlo y contemplarlo físicamente, en imágenes o a través de lecturas, la curiosidad puede alcanzar a conocer algo más sobre su constitución y evolución; también, en respuesta a la pregunta de ¿qué se hace?, si algo puede y debe hacerse (intervención técnica) para su preservación y el aprovechamiento de los bienes y servicios que prestan los bosques, más allá del placer de su disfrute, la obtención de madera y la recolección de setas.

Materias propias de la Ingeniería de Montes pueden satisfacer esta curiosidad y responder, con acierto y también con incertidumbres y, en ocasiones, en términos controvertidos en el ámbito científico, a cuestiones que puedan suscitarse ante el manejo de los espacios *naturales* (más bien domesticados) a los que se asigna la denominación de montes. Término, éste, que incluye también formaciones vegetales arbóreas y no arbóreas que no conforman necesariamente un bosque en el sentido científico y, tampoco, en el uso común del vocablo; pero que ha sido y sigue siendo de uso generalizado en el sector forestal español.

En el presente trabajo se ha pretendido responder- sin duda parcialmente- a la cuestión planteada a través de sucintas descripciones de los Montes y sus recursos con la exposición de algunos conceptos básicos que determinan su gestión técnica. La pretensión incluye, o más bien es objetivo destacable, inclinar (*convencer*) a los presuntos lectores potenciales estudiantes de ingeniería u otra carrera universitaria relacionada específicamente con la naturaleza, de que su elección caiga en la Ingeniería de Montes. También, a todo lector curioso que se asome a su lectura, de la necesidad de una concienciación del respeto a los valores naturales y ayuda a la preservación de los montes en sus múltiples funciones y a la valoración de su gestión técnica. I

La información técnica y científica en que se sustenta el texto no ha surgido, obviamente, de los conocimientos del autor. Buena parte de ella se basa en la existente en los textos y publicaciones de índole diversa (no todas científicas) que figuran en la Bibliografía básica que acompaña a cada capítulo. A sus autores no se alude específicamente a lo largo del texto de los temas tratados, pues no se trata de mostrar *el estado del arte de cada materia*, obviamente inasequible para el autor sino de un compendio que proporcione una visión de conjunto de los Montes y su gestión técnica, sin duda incompleta, pero con pretendido rigor.

Tras una larga vida profesional, en buena parte estrechamente relacionada con materias vinculadas a las Ciencias Forestales en la gestión, la docencia y en la investigación, sí cabría atribuirme algunos conocimientos basados en la propia experiencia profesional y arropados por abundantes lecturas, y ... “¡qué pena desaprovecharlos!; pero... *el profesor ya no es el dueño del saber sino un*

gestor formativo. se afirma, repetidamente, como parte del efluvio de información derivado del *internet de las cosas*.

En todo caso, mi atrevida incursión al abordar esta tarea y redactar estas páginas, y no digamos al leer su encabezamiento, con tantos y variados temas de los que trata, podría justificarse refugiándome en la frase proverbial “la experiencia es la madre de la ciencia”; que hemos oído desde la infancia, y repetido en alguna ocasión; también, leída en palabras de Don Quijote: *Paréceme Sancho, que no hay refrán que no sea verdadero, porque todos son sentencias sacadas de la misma experiencia, madre de las ciencias todas*. (Quijote I cap. 21)». Ciencia en el sentido de sabiduría, saber, “mater rerum”.

Con estas premisas in mente han surgido estas 23 estampas Forestales que comprenden buena parte –aunque lejos de ser el conjunto- de los aspectos que conciernen a bosques y montes con formaciones no arbóreas, a su naturaleza, a sus habitantes más genuinos, a su devenir temporal y espacial ante los agentes de perturbación a que están expuestos, a los recursos que contienen y gestión técnica de los mismos; también, a los instrumentos para la restauración y ampliación de la superficie forestal en España, junto con un breve recorrido por las industrias forestales vinculadas directamente a su aprovechamiento, para terminar con una reflexión sobre la investigación forestal en España y su difícil andadura.

La extensión de los 23 capítulos, breve en el ámbito de las materias tratadas, ha motivado la designación de ESTAMPAS como visiones de los aspectos más característicos. Cabe añadir, lo que será obvio para el lector, que aún dentro de la brevedad, el tratamiento dado a los temas es irregular, tanto en contenido como en rigor expositivo: la mano- *la mente*- del autor refleja una escala de afinidades y conocimientos difícil de superar.

Se han agrupado los capítulos del 1 al 22 en cinco bloques. En el primer bloque, con el encuadre común de EL BOSQUE, en dos capítulos se contempla el bosque como un ente vital y ecológicamente sostenible en el concepto tradicional e histórico de bosque; el tercer capítulo se dedica al bosque y los recursos hídricos, y en un capítulo final se habla del bosque urbano (y periurbano).

El resto de capítulos del 5 al 22 se ha encabezado globalmente con el término LOS MONTES por entender que refleja mejor muchos de los aspectos expuestos en los mismos. En un primer bloque, tras una visión histórica de la evolución y estado actual de los montes en España y una específica alusión a los Parques Nacionales, se pasa revista en cinco capítulos a los diferentes agentes físicos y biológicos que conforman el ecosistema monte: clima y suelo, hongos e insectos, contaminantes en atmósfera y suelo y fitorremediación, y los dos grandes perturbadores de los montes: los incendios y el cambio climático.

Los Instrumentos de gestión, componente básico del núcleo central de la Ingeniería de Montes se tratan en tres capítulos bajo el título global de *Gestión técnica*: el primero dedicado a la silvicultura de poblaciones arbóreas con especial incidencia en las masas arboladas de España; en el segundo, se pasa sucinta revista a la normativa de ordenación de Montes, los aprovechamientos forestales de madera y la certificación forestal; en el tercer capítulo se han agrupado la gestión forestal de las dehesas y otras formaciones vegetales existentes en los montes.

La repoblación Forestal, la producción de planta y la mejora genética, y la restauración hidrológico-forestal de los montes en la lucha contra la erosión del suelo y la de ríos y espacios ribereños, instrumentos ambos de la ingeniería ecológica o bioingeniería, forman un tercer bloque, componente esencial del quehacer forestal en la conservación y recuperación de ecosistemas naturales con el título *Restauración*.

Los *Recursos* ocupan los seis siguientes capítulos: producción de biomasa para fines energéticos y plantaciones para la obtención de celulosa, las industrias de la madera, el corcho y la resina, y los usos recreativos de los montes, los recursos micológicos, cinegéticos y fluviales.

Si bien el contenido de todos los capítulos anteriormente referidos (con mayor o menor fortuna, con información escasa, adecuada o excesiva), es constatable (con matices) en la bibliografía que consta al final de cada uno de ellos, el último capítulo, 23, tiene un sesgo personal (vivencias personales y de terceros, juicio propio, opiniones recogidas) con una intencionalidad positiva en su exposición.

Con la incorporación, al inicio de las estampas, de fragmentos de conocidos poemas y breves párrafos de escritos que evocan la singularidad y grandeza de los bosques, se ha pretendido hacerlos más cercanos al lector y, en su caso, aligerar algunos textos de cierta rigidez técnica.

Aun así, tras terminar el último capítulo, han retornado las dudas sobre el interés de su contenido para presuntos lectores, aunque sin duda si lo ha tenido para colmar el empeño del autor en su consecución. También, inevitablemente, ha conducido a evocar recuerdos que la memoria a largo plazo (patrimonio de la vejez) devuelve inesperadamente, dejando un rastro de melancolía, la que expresa Edith Soderman en “Encontraste un alma” ... *“los árboles de mi infancia se yerguen altos sobre la hierba y sacuden la cabeza: ¿Qué ha sido de tí?...*

En Madrid, septiembre de 2018

El bosque, inmensurable e intemporal: una red de vida

*Escuchar a los árboles, los grandes conectores
de la naturaleza, es aprender como habitan las
relaciones que dan origen, sustancia y belleza a
la vida*

(LAS CANCIONES DE LOS ÁRBOLES, D.G. Haskell, 2017)

*El aroma de la leña fresca
Pervirá entre tus recuerdos últimos cuando caiga el velo.
El aroma de la leña fresca y blanca
en la temporada de la savia, cada primavera:
Como si la vida misma pasara, descalza
Y con rocío en el pelo...*

(WE OWN THE FORESTS, Hans Borli)

*En la profundidad del bosque, completamente solos,
mientras el viento sacude la nieve de los árboles y dejamos
atrás los últimos rastros humanos, nuestras reflexiones
adquieren una riqueza y variedad muy superiores a las que
ostentan cuando estamos inmersos en la vida de las ciudades.*

(EL LENGUAJE DE LOS ÁRBOLES. R.D.Thoreau)

En el juego de relacionar palabras entre sí, el vocablo bosque conduciría a árboles para un alto porcentaje de jugadores, y si el juego continuara el vocablo árbol llevaría a grande, alto, grueso, también a viejo o, mejor, a longevo. ¡Los árboles son los grandes protagonistas de los bosques!; y no solo por ser los más visibles, sino por su decisivo papel en la vida del resto de sus habitantes y, especialmente, en la propia existencia en la Tierra del *Homo sapiens*.

El tamaño y la longevidad son dos rasgos que comparten muchas especies de árboles y con los que los caracterizamos a través de imágenes visuales, las que tenemos de los árboles que vemos en el parque, las que recordamos del bosque, intemporal, por el que caminamos, como elemento sustancial de la belleza del paisaje que disfrutamos. De algunos de ellos incluso podemos decir que parecen ser muy viejos, apreciación

visual de algunos síntomas externos de envejecimiento, de vejez; proceso que, sin embargo, no está vinculado estrictamente a la longevidad.

El tamaño (mayor o menor volumen de una cosa) se expresa pródigamente en los más de 100 m de altura de un ejemplar de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) documentada en Australia tras su abatimiento (de muerte natural). Así mismo, son abundantes las referencias a secuoyas (*Sequoiadendron gigantea* y *Sequoia sempervirens*) de los bosques costeros en el Pacífico de EEUU, con alturas cercanas a tal magnitud; a la que también se asoman, compartiendo territorio, rectos ejemplares de pinos ponderosa (*Pinus ponderosa*); también alcanzan gran volumen y altura los alerces de Patagonia (*Fitzroya cupresoides*), conífera del sur de Chile y Argentina. El volumen y peso que llegan a alcanzar sus troncos no las hace competir con los animales más grandes de la Tierra, especies de ballenas que alcanzan los 180 t de peso, pero las superan en longitud (en su caso expresada en altura) y en el peso que gravita unitariamente en la reducida superficie basal de su tronco. Altura y peso, debido a su constitución anatómica (células provistas de pared celular) que no poseen los animales.

La copa de los árboles en algunas especies alcanza en individuos añosos gran volumen (y peso) que soporta el tronco; y también los empujes del viento y su inserción en suelos en pendiente; circunstancias ante las cuales el árbol pone en juego una especial estructura de las paredes celulares del leño (xilema,) acudiendo a su mayor lignificación (madera de compresión) en las coníferas o elasticidad (madera de reacción) en las frondosas.

En muchos de nuestros montes (bosques) y en plazas de pueblos, todavía persisten ejemplares sobresalientes por su volumen, formas singulares del tronco y raíces emergiendo del suelo: encinas, alcornoques, robles, sabinas, tejos, varias especies de pinos, fácilmente reconocibles en las diferentes guías publicadas sobre árboles sobresalientes y singulares. Sirva de ejemplo el ejemplar de “el árbol de los pantanos” o de Moctezuma (*Taxodium mucronatum*), con cerca de 8 m de circunferencia a 1.30 m en el parque de El Retiro de Madrid

El tamaño no va necesariamente ligado a la longevidad. Una especie, en términos comunes, se considera longeva cuando puede vivir muchos años. Las especies arbóreas se mueven en un amplio rango de edades entre apenas unas décadas hasta los 4.850 años medidos en el conocido como Matusalén, ejemplar de *Pinus longaeva* en Sierra Nevada, EEUU; edad a la que siguen las de otras especies de las grandes coníferas del continente americano con edades contrastadas de más de 1.000 años. Y sin olvidar los monumentales baobabs o árboles botella, con ejemplares de la especie africana *Adamsonia digitata* con más de 2.000 años de edad, algunos con nombre propio (Chapman, de Botsuana, o Panke, de Zimbabue,) e inmortalizados literariamente por Saint-Exaspery en “El Principito”.

También en Europa se cita como milenario un ejemplar de tejo (*Taxus bacata*) de un pueblecito del Norte de Gales, edad de la que no andará muy lejos la de algunos de los ejemplares pirenaicos de Añisclo (Huesca) o de Montagut (Gerona). También, en la Península Ibérica se han catalogado ejemplares con cientos de años de pino silvestre y pino laricio, encina y alcornoque; sin olvidar al olivo y al drago tinerfeño de Icod de los Vinos en las Islas Canarias. En la última edición de El Árbol del Año en Europa se ha proclamado como ganador un alcornoque de Palmela (Portugal), plantado en 1874, con

una edad de 234 años, con una producción de corcho para 100.000 tapones, cuando la media se cifra en 4.000.

El envejecimiento, si bien guarda cierta relación con el tamaño y la longevidad, tampoco es estrictamente determinante de dichos caracteres. Se trata de un proceso que no tiene vuelta atrás, que sufrimos todos los seres vivos. A las preguntas de cómo envejecemos y por qué, se ha contestado con más de 300 teorías que explican cómo se pierde la armonía molecular, los tejidos dejan de cumplir sus funciones y el organismo entero se paraliza: daños en el genoma, epigenoma, telómeros y proteonoma y factores antagonistas se barajan como factores más determinantes.

En todo caso, es un proceso complejo e inexorable, pero la longevidad es plástica, susceptible de dilatar el envejecimiento, aunque no de suprimirlo. De hecho, las citas de las personas más longevas, con más de cien años (122 años y cinco meses hasta ahora) suelen ser descritas como de alimentación austera y natural. Un cierto paralelismo puede entreverse en el mundo vegetal: los árboles más longevos se han encontrado en especies de crecimiento lento, sobre suelos poco profundos, pobres en nutrientes minerales, rocosos, cual sucede en el pino Matusalén, ya citado, cuya longevidad se relaciona directamente con un metabolismo bajo, extensible al lento desarrollo de acículas y piñas, con más de cinco años hasta alcanzar la madurez. En contraposición, las especies tenidas como de crecimiento rápido (chopos, eucaliptos) con disponibilidad de nutrientes y agua, muestran mayores tasas de crecimiento y moderada a baja longevidad.

Con las excelencias de tamaño y longevidad no termina la magnificencia del bosque. Si un naturalista, cualquier amante de la naturaleza, se encaramara al extremo de la amplia copa de un elevado ceibo amazónico disfrutaría de la biodiversidad en formas y especies que se ofrecen a su vista. También, con mayor atención y cierta reflexión, ampliaría el placer de la mera contemplación a formularse preguntas (pueden ser centenares y muchas sin respuesta) sobre las relaciones del añoso ejemplar al que está subido con el número y diversidad de plantas y animales que su vista alcanza, muchos en aparente sosiego, pero conectados a través de una red de transmisión de mensajes.

En viaje mental al monte de Valsaín, en la Península Ibérica, y sustituyendo el majestuoso ejemplar de ceibo por un espléndido pino silvestre, rodeado de congéneres, con menos diversidad florística en derredor, si bien con rica vida oculta, el viajero, sin necesidad de subirse a la copa, se preguntaría también qué relaciones, qué posibles interacciones existen entre lo que tiene a la vista y lo que no ve, aunque sepa de su existencia: de hecho, se trata también de otra red de conexiones que tejen, también, una red de mensajes.

En ambos casos, el ceibo de la selva amazónica y el pino silvestre del pinar segoviano, y las poblaciones de animales y plantas a su vista, aún con drásticas diferencias en su ecología y proyección social y económica, comparten por una parte sensación de magnitud y atemporalidad. También, hacen pensar en su condición de emisores y receptores de mensajes (compuestos químicos) entre sí, con el medio físico y con los otros seres vivos del ecosistema. Lo hacen a través de un entramado pluridireccional que los conecta formando una red, que sustenta la propia existencia de

sus participantes y del conjunto del ecosistema forestal, lo que podría denominarse una red de vida.

Otra clase de mensajes, en forma de imágenes, visuales y sonoras, provocan la atención del montañés visitante y le causan admiración y placer, cuando no también sorpresa, y lo distraen de sus cavilaciones sobre la estructura química de los mensajes. ¿No son acaso igualmente admirados y placenteros para el caminante los mensajes, visuales y sonoros que percibe en su recorrido por diferentes formaciones arbóreas?

Los estratos de hojas, que a modo de sombrillas protectoras conforman un dosel de hayas ante la luz cegadora del sol, que retumban como tambores con la lluvia y que, cuando secas, ya en el suelo, crujen al pisarlas; la visión de la copa del añoso pino zarandeado por el viento y el silbido del aire a su través, que hacen revivir el cuadro del genial pintor noruego, en contraste con el armonioso descenso de las sámaras voladoras de un arce, del melódico tintineo de las hojas de un chopo temblón, o del huracán de lluvia amarilla del polen desatado por el viento al abrir los amentos de pinos y abetos; la apariencia sedosa, brillante al sol, de los bolsones de la voraz procesionaria que salpican muchos pinares en invierno; el zumbido de los abejorros polinizadores y su precisión en su misión facilitadora del éxito reproductivo de muchas especies, o el papel del pájaro carbonero en la conquista de nuevos territorios por los abetos, o el de los mirlos que facilitan al paso por su tracto digestivo la rotura de la durmancia de semillas de sabina y su diseminación: todos, son ejemplos de acontecimientos en los bosques que provocan en el presunto montañés, observador de estos hechos, o en el simple lector de esta estampa forestal, una mezcla de asombro y admiración ante la naturaleza.

Arbustados y matorrales, formaciones menores de los montes, no clasificables como bosques, transmiten también placenteras sensaciones de forma y color, no ligadas a tamaño y longevidad: la gama de amarillos que ofrecen las flores de las extensas formaciones de genistas o el rojo lustroso de las bayas que salpican los gayubares en los bordes, ya sin árboles, de quejigares y rodanales; las formas que brindan las matas de la sabina rastrera, en grandes círculos que emergen del manto de las primeras nieves en las alturas del Ibérico; o, allí mismo, el rugido del viento que, cargado de nieve, azota nuestro cuerpo, sin otro medio de combate que sentir el placer de sentir el frío, a la espera del disfrute de otro placer, el del calor y la visión de la leña ardiendo en la chimenea del refugio al que pronto llegaremos.

Más allá de las sensaciones placenteras que la lectura y los recuerdos del bosque han conducido al lector y al caminante su curiosidad científica lo haría retornar a sus anteriores pensamientos sobre la existencia de múltiples (muchas por descubrir) relaciones de los árboles con el resto de habitantes del sistema forestal. Y así, imaginar la ecología como la plataforma del bosque (monte), soporte de las poblaciones de seres inanimados y animados, plantas, animales y microorganismos, conectados por una red canalizadora de mensajes.

Los mensajes emitidos (del medio o de los otros seres vivos e inanimados) generan respuestas en los receptores, que se expresan a través de funciones vitales. Los movimientos de variación en respuesta al tacto y a la luz; la apertura y cierre de los estomas de las hojas en función de la disponibilidad de agua o de CO₂ son ejemplos de

respuestas rápidas a factores físicos; como lo son, a plazo mayor, los tropismos y, en general, los cambios que se traducen en el crecimiento tisular.

Otro tipo de respuestas deriva de la interconexión entre los árboles y otros seres vivos: el mutualismo (con participación de beneficios mutuos entre emisor y receptor (p.e. entre hongos y árboles); de repulsa mediante defensas constitutivas (p.e. presencia de sustancias olorosas, como la resina en pinos, o indigeribles o tóxicos (p.e. piretrinas) para el parásito); formación de zonas necróticas de aislamiento y protección de los tejidos sanos ante el ataque de insectos y hongos; sistemas de defensa más complejos, con la participación triangular del árbol parasitado, el parásito del árbol y un segundo parásito de éste último, que defiende indirectamente al primero; defensas químicas inducidas por el propio parásito (p.e. jasmonatos).

También, respuestas entre congéneres ante la emisión de mensajes aéreos de alerta entre árboles parasitados y sanos; transmisión física por interconexión de tejidos entre dos árboles (injertos entre raíces, incluso entre ramas); fenómenos que, al poder extenderse al rodal y al bosque entero, transmiten la idea de que todos los seres que comparten un mismo espacio natural y una red de vida en común entre ellos funcionan armónicamente como partes de un ente unitario que es el bosque.

A la vista de la ingente capacidad de conexión e intercambio de mensajes mostrada en los ejemplos anteriores, conviene hacer un apunte a modo de aclaración: los árboles (las especies vegetales en conjunto) carecen de sistema nervioso como los animales. Su capacidad sensorial en términos de respuesta a las palabras, la música y sonidos en general, y la percepción de otras sensaciones y sentimientos, no está científicamente probada y no es admitida por la ciencia.

Las respuestas a acciones del exterior que implican alguna clase de movimiento (crecimiento, variación) se producen merced a mecanismos (tropismos, nastias) que implican desplazamientos de corpúsculos intracelulares (mitocondrias) en algunos de sus órganos o cambios de potencial químico por transporte iónico intercelular. Así mismo, el régimen térmico, estacional y diario (suma y alternancia de temperaturas) y la radiación solar (cambios estacionales y día a noche (fotoperiodismo) sirven a las plantas para medir el tiempo y ajustar su fenología a las condiciones ambientales en que pueden vivir. El reloj biológico marca los denominados ritmos circadianos (ajuste a la longitud del periodo de oscuridad de la noche) que rigen el comportamiento de todos los seres vivos ante el periodo de 24 horas de rotación de la Tierra.

El ser humano en su condición de visitante esporádico del bosque y el gestor forestal, con mayor continuidad y frecuencia, son también receptores sensibles a los mensajes de las redes de vida de los bosques. A ello, el técnico añade la condición de emisor de mensajes al bosque a través de una gestión selvícola para la conservación, mejora y aprovechamiento de los recursos del bosque asentada en la ecología y sustentada por las ciencias forestales. De su actuación deben derivarse respuestas positivas (con cierto grado de incertidumbre e imprevisión) en el marco del triángulo ecología-economía-sociología.

Bibliografía básica

CLARK J.R. 1983. Age- related changes in trees. *Arboriculture* 9(8).

HASKELL D.G., 2017. *Las canciones de los árboles. Un viaje por las conexiones de la naturaleza*. Edit. Turner, pp 302.

ISSARTEL J., COIFFARD C., 2011. Extreme longevity in trees: live slow, die old? *Oecologia* 165: 1-15.

MARTIN S., 2005. *Árboles singulares de la España Mediterránea*. Edit. Persea Soluciones Ambientales.

MERILLON J.M., RAMAWAT K.G. (Edit.), 2011. *Plan defense: Biological control. Progress in biological control*. Edit. Springer.

THOREAU R.D., 2017. *Walden*. Edit. ERRATA Naturae.

ZAS R., SANPEDRO I., 2012. *El lenguaje de los bosques. Video documental de divulgación científica*. www.youtube.com/watch?v=K9KA9F4JgQA

El bosque/El monte, un sistema sostenible

: Ecología y gestión forestal

*...El árbol bello dos veces centenario, las poderosas ramas extendidas
cerco de tanta hierba, entrelazando hojas,
dosel donde una sombra edénica subsiste....*
(VIVIR SIN ESTAR VIENDO, Luis Cernuda)

Ambos términos, Monte y Bosque, oídos o leídos, concitan mentalmente la evocación de vivencias (presencia física, lecturas, personas queridas) amén del efecto directo, especial sensación positiva, también de soledad y silencio, en el oyente o el lector. Cabe, entonces, preguntarse ¿qué es un monte?, ¿qué es un bosque?, ¿no son lo mismo? Si no es así ¿en qué se diferencian? y ¿qué contienen o dejan de tener para tamañas evocaciones?

La búsqueda en el diccionario lleva a dos definiciones que en el lector pueden producir cierto desencanto si hubiera pretendido encontrar en las mismas un sentido más poético. En el diccionario de la RAE se define monte como “gran elevación natural de terreno”, y en una segunda acepción como “tierra inculta cubierta de árboles, arbustos o matas”; en la definición de bosque prácticamente se repite la segunda acepción de monte como “sitio poblado de árboles y matas”.

Si nos adentramos en otras fuentes podemos encontrar la definición de bosque como “agrupación extensa de árboles en espesura” en el Diccionario Forestal de la SECF; en el Dictionary of Forestry, CAB, de la Sociedad de Forestales de EEUU, se define un bosque como “ecosistema caracterizado por una cubierta de árboles, de mayor o menor densidad y extensión, formada por rodales que varían en sus características tales como especies, composición, estructura, clases de edad, y procesos asociados, y que comúnmente incluye praderas, cauces de agua, peces y fauna silvestre; en otras fuentes, finalmente, el bosque es entendido como “unidad de producción maderera susceptible de ser medida”, y como “comunidad estable”, incluso considerado en sí mismo como “un organismo”. En todo caso, el término bosque evoca un concepto fisionómico-formación de árboles-, que habría que completar con la exigencia de sustentar unos valores mínimos de superficie ocupada y densidad de los árboles. Por otra parte, la voz española bosque, parece derivar de la germánica Busch que es traducible por bosque,

arbusto, bosquecillo y mata (según el género con el que se use) si bien es más común la voz Wald para bosque (Dicc. Edit. Tortuga Freiburg, Edit. Herder).

Si nuestro camino se adentra por la bibliografía forestal en español, en contadas ocasiones encontraremos usado el término bosque en referencia a las masas forestales, y sí es común usar el término monte al referirse a las formaciones de árboles de cierta extensión (“los incendios en los montes”, “la saca de madera en los montes”, “las plagas en los montes”) y, también, en las denominaciones académicas (Ingeniería de Montes, Ingeniero/a de Montes: lo que no deja de asombrar a colegas de otros países. En la versión electrónica, el DRAE (2015, repite las mismas dos acepciones de ediciones anteriormente mencionadas. La segunda, aunque más imprecisa, se corresponde a la de uso corriente en el sector forestal español: entraña la existencia de una masa arbórea de cierta “consistencia” (abundancia, predominio de árboles, con frecuencia con producción de madera o leñas) de la vegetación arbórea (no agrícola).

Aunque la acepción de monte es correcta y puede encontrarse usada en lo que sigue, es oportuno volver a la definición de bosque como un ecosistema cuya característica principal, que lo diferencia de otros ecosistemas, es su condición de estar formado por un conjunto de árboles que habitan un espacio común y que, en definitiva, forman una sociedad. De hecho, ya en el siglo XVIII, en Alemania, mucho tiempo antes de la formulación en 1935 del concepto de ecosistema por Tansley, al crearse las bases de un tratamiento sostenible de los aprovechamientos madereros en los bosques, se tuvieron como referentes conceptos tomados de las ciencias sociales (Gesellschaftswissenschaft) concibiendo un bosque como una sociedad (Naturgesellschaftswissenschaft). De ahí, que las decisiones que presidieron el aprovechamiento maderero de los bosques tuvieron muy en cuenta principios instaurados socialmente y aplicados en sociología. Con el establecimiento de una rotación en el aprovechamiento maderero (turno de corta) se trataba de asegurar el suministro de madera con la persistencia del recurso: su sostenibilidad; lo que, con el tiempo, dio lugar al desarrollo de la ciencia de la silvicultura con base en una ecología forestal.

En España, es a los Ingenieros de Montes, y técnicos forestales en general, a quienes corresponde la gestión de los montes. Con los conocimientos adquiridos por naturalistas españoles en la Escuela Alemana de Tharandt a mediados del siglo XIX, y transmitidos académicamente en la recién creada Escuela de Ingenieros de Montes, se pusieron en práctica las enseñanzas y técnicas selvícolas adquiridas para el aprovechamiento maderero de los montes, con un amplio espíritu conservacionista.

Las diferentes condiciones ambientales, mayormente climáticas, preponderantes en buena parte del territorio español respecto al alemán, han exigido sustanciales cambios en la gestión forestal y se ha llegado a configurar una silvicultura española (véase el capítulo 12). Y ello, debiendo tener presente los citados principios tomados del ámbito social, que, en su evolución histórica han llevado a las ciencias de la naturaleza a la ciencia, específica que llamamos ecología. Término que agrupa diferentes líneas que la adjetivan: factores ambientales, poblaciones, comunidades, cuyo enfoque sintético actual es el de ecología de los ecosistemas, aplicable al bosque.

La gestión técnica (manejo) del bosque se presenta, a primera vista, como tarea compleja, que genera la propia complejidad del ecosistema expresada en: la

abundancia, multiplicidad física y biológica de sus elementos constituyentes, sus interacciones mutuas, la heterogeneidad espacial y temporal a lo largo de las que se sustenta, la variedad de situaciones que pueden generarse y los constantes cambios climáticos a que puede verse sometido, en muchas ocasiones con gran imprevisibilidad.

Los principios básicos de biología, edafología, física, química, matemáticas, también de disciplinas como estadística (entre otras), adquiridos en la formación universitaria del técnico forestal, se proyectan en una disciplina específica de los estudios de Ingeniería de Montes, la selvicultura, instrumento esencial para llevar a cabo seguidamente una gestión ordenada de los bosques, extensible a otras formaciones vegetales (montes arbolados, plantaciones, pastizales, arbustados, matorrales).

En la aplicación práctica de la selvicultura en el manejo del bosque, el técnico forestal debe guiarse por principios ecológicos, en aras de la conservación del recurso y en el marco de su propio dinamismo, teniendo muy presente la economía, bien en la producción de madera u otro bien tangible (corcho, resina, otros) o no directamente tangible. En los montes productores, el inestable y cambiante equilibrio- ecología-economía- debe dirigirse a la sostenibilidad del recurso en el tiempo y llegar a alcanzar la condición de gestionable sin aportación económica externa.

Este planteamiento no es extensible en sentido estricto a los montes en los que la vegetación no es arbórea o, siéndola, la ocupación de cabida cubierta es baja y no se considera bosque en sentido estricto; o la especie, o las condiciones edáficas o climáticas para sustentar una gestión sostenible con la producción propia no posibilitan un cierto valor económico. Si bien estas restricciones afectan en superficie a buena parte del territorio español, no debe olvidarse la existencia de otros bienes y servicios que proporcionan los montes. De hecho, el concepto de *uso múltiple del monte* ha prendido en la Sociedad, especialmente respecto a la valoración de bienes no tangibles (ver capítulo 22); y, desde hace pocas décadas, han representado un importante valor añadido para las masas arboladas, plantaciones y la vegetación en general, como reservorios y captadores de carbono, hecho aparentemente olvidado anteriormente (*inexistente*) más allá del ámbito académico hasta la amenaza del cambio climático.

Es en los *montes productores*, con aplicación de una selvicultura basada en la conjunción ecología - economía en los que se puede desarrollar una gestión auto sostenible de la masa forestal. No así en los denominados *montes protectores*, espacios en los que, dadas las condiciones topográficas y edáficas, la masa forestal ejerce un especial papel protector del suelo en evitación de su pérdida y generación de perjudiciales avenidas de agua: cabeceras de cuenca hidrográfica, bosques de riberas, proximidad a núcleos urbanos, inclusión en los Parques Nacionales.

Cabe preguntarse cómo puede gestionarse un monte para conseguir una gestión sostenible. En el plano de la ecología debe llevarse a cabo un seguimiento por parte del técnico forestal, con la mayor frecuencia factible (además de las revisiones periódicas marcadas por un Proyecto de Ordenación) del comportamiento del ecosistema bosque, con la toma de datos de sus más significativos componentes (seres vivos e inanimados) y posibles interacciones y competencia por los recursos (espacial, nutricional). Tiene valor disponer de la serie histórica sobre el comportamiento y valores medios de crecimiento anual en los rodales representativos de las diferentes zonas que puedan configurar el bosque. También es útil la constancia de las acciones técnicas llevadas a

cabo (cortas y tratamientos selvícolas en general) y la incidencia de perturbaciones (incendios, cambios meteorológicos profundos, brotes epidémicos de plagas y enfermedades). No obstante, debe tenerse presente que la repetición de pautas de comportamiento, incluso prolongadas en el tiempo, no es ni mucho menos axiomática y que los montes no están determinados por condiciones medias dada su compleja heterogeneidad.

Este seguimiento continuo debe apoyarse en una investigación/experimentación llevada a cabo con independencia organizativa de la gestión técnica, pero en estrecha colaboración a nivel experimental entre los gestores del monte, proveedores de los datos producto de su vivencia diaria de la evolución del ecosistema bosque y su historia, y los investigadores, que con su aporte de conocimientos científicos ayudan a la interpretación de los datos obtenidos y a la toma de decisiones en la planificación de la gestión del recurso y de los ajustes a los cambios relevantes que experimente el ecosistema y, en consecuencia, la masa arbórea.

Los aspectos socioeconómicos deben integrarse en dicha planificación; que en casos de producción excepcional debe llevar a la aplicación de una selvicultura que podemos definir como *selvicultura a la carta* (parafraseando la expresión tan extendida hoy en el ámbito agronómico), con una atención pormenorizada a los efectos ecológicos y económicos de los cambios naturales o derivados de la gestión que experimenta el sistema. Efectos que, con el ejemplo del producido por una entresaca en una masa forestal, conducen a la feliz expresión de Sevilla Martínez de que tras ella *el rodal forestal permanece semejante a sí mismo en el tiempo*. Ello engarza con la sensación de atemporales o intemporales que hacen sentir los bosques a la que antes se ha aludido.

La domesticación de los bosques ha dejado huella de la intervención del hombre, en la que se evidencian consideraciones económicas y sociales que han marcado las pautas de cortas de madera en aras de la sostenibilidad del recurso (no siempre); hecho del que son muestra las practicadas en los bosques alemanes en el siglo XVIII, a las que se ha hecho referencia anteriormente. Sin embargo, una buena parte de la sociedad actual, particularmente la urbanita, al priorizar los valores sociales de los montes (paisaje y actividades recreativas) y resaltar la visión ecológica de la naturaleza, no contempla, o minusvalora su valor económico, y rechaza la necesaria conjunción de ecología y economía para la sostenibilidad de esos valores.

El sector forestal debe contraponer a estas afirmaciones una argumentación sostenida por evidencias científicas de la necesidad de gestionar con fines productivos los ecosistemas forestales en los que la ecología y la conjunción entre sociología y economía posibiliten la aplicación de una selvicultura que optimice sus funciones de forma sostenible. Debe, así mismo, incluir el valor de los bienes y servicios que los montes en general prestan a la sociedad como son el capital suelo, el acervo genético animal y vegetal, la condición de reservorio y capturador de carbono en suelo y masa vegetal, la biodiversidad paisajística y florística y otras externalidades de las que se beneficia, pero que parte de la Sociedad considera regaladas, y por las que no parece dispuesta a pagar.

Es labor del sector forestal en su conjunto hacer ver (convencer) a la Sociedad que los bosques y los montes no solo exigen respeto y colaboración en su conservación,

sino que también su disfrute tiene un precio, que la sociedad debe asumir si quiere seguir beneficiándose de ellos

Las palabras pronunciadas en el Foro de Naciones Unidas sobre los bosques (2000) subrayan su papel en el desarrollo sostenible: *La ordenación, la conservación y el desarrollo sostenible de todos los tipos de bosques son fundamentales para el desarrollo económico y social, la protección del medio ambiente y los sistemas sustentadores de la vida en el planeta. Los bosques son parte integrante del desarrollo sostenible.*

Bibliografía básica

BURTON P.-J., MESSIER C., SMITH D.H. ADENOWICH L.; 2003. *Towards sustainable management of the boreal forest*. NRC Research Press, pp 1039.

DONAIRE J.A., GORDI J., 2003. *Bosque y turismo*. Boletín de la A.G.E. 35, 207-221.

HAMMIT W.E., COLE D.N., 1987. *Wildland recreation. Ecology and Management*. John Wiley & Sons, N.Y. KIMMINS J.P., 2004. *Forest Ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry*, 3rd Edit. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. pp 611.

TERRADAS J., 2001. *Ecología de la vegetación*. Edit.Omega, pp 70

SEVILLA MARTINEZ F., 2015. La predicción en sistemas complejos.: Ciencia y aplicación práctica. *Cuadernos de la SECF*, nº39, 111-137.

VALLADARES F.(edit) 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, pp 587.

El bosque y los recursos hídricos: hidrología y ecofisiología

*Las hojas en los olmos, que algún aire,
Al orear mansamente remueve
Al fondo, sombra azul de unas colinas
Quieta en el cielo alguna nube clara*
(CLEARWATER, L. Cernuda)

El agua de nuestro planeta, solo aparentemente gratuita (cae del cielo) y con la mayor parte en los océanos y mares, extendidos por la tres cuartas partes del mismo, es para la vida en parte del territorio terrestre un bien escaso; incluso en las zonas desérticas es el factor más limitante de la vida terrestre. En el marco vital marcado por las temperaturas es la disponibilidad de agua el principal determinante de la vida.

El estudio de las aguas superficiales y subterráneas de la Tierra, el ciclo de precipitación, la escorrentía, la infiltración y el almacenamiento del agua, evaporación y reprecipitación son objeto de la hidrología. En su ámbito procede aludir al ciclo hidrológico, ciclo natural en el cual el agua se evapora de la superficie de la tierra, en particular de los océanos, hacia la atmósfera, y retorna en forma de precipitación a la tierra. Esta agua que precipita puede hacer camino por escorrentía directa, desde montañas y valles hacia ríos, lagos y mares, pero también puede hacerlo indirectamente, previa infiltración, integrándose a la que ya escurre tras su paso a través de poros, vanos o resquicios de acuíferos que alimentan manantiales.

Los mecanismos fisiológicos que subyacen en las respuestas de las plantas al medioambiente y sus variaciones y, por tanto, del agua, son objeto de estudio en la ecofisiología vegetal; materia implicada, por tanto, en el estudio del papel desempeñado por los bosques en el ciclo hidrológico.

Si bien el agua es consustancial al desarrollo y crecimiento de los árboles, éstos son, así mismo, factores que determinan los recursos hídricos disponibles; y su calidad y los cambios en las condiciones de los bosques pueden alterar sus funciones y poner en riesgo la cantidad y calidad del agua a escala mundial. Los expertos señalan la necesidad de estrategias de gestión y políticas que reduzcan dichos riesgos.

En este capítulo se contemplan los contextos hidrológico y ecofisiológico, con referencias sociológicas, en el que se enmarcan los bosques como factores básicos de los recursos hídricos disponibles en un territorio. En su mayor parte lo expuesto deriva de la información recogida en los capítulos segundo y tercero (citados en la bibliografía de este capítulo) de un informe editado por IUFRO (2018) sobre bosques y agua, en el que se muestran opciones de manejo y gobernanza de los bosques en un planeta enfrentado con el cambio climático, sustentadas por una amplia bibliografía.

La exposición, en lo que sigue, se ha estructurado en una serie de bloques titulados en negrita cada uno de los cuales recoge una información unitaria respecto a tan diversos aspectos tratados en el conjunto. Se abordan primero aspectos hidrológicos, para pasar después a las implicaciones pedológicas y ecofisiológicas, y terminar con una breve alusión a las implicaciones sociológicas del agua en los bosques y a los cambios hidrológicos que pueden derivarse de perturbaciones de toda índole.

Los acontecimientos atmosféricos son determinantes principales de los recursos de agua en los bosques. La precipitación es el mayor determinante del flujo de agua. Sus valores mínimos, la duración, intensidad y frecuencia de lluvias tienen especial significación: absorción y liberación lenta del agua frente a saturación del suelo. La temperatura del aire es también factor significativo, y la interacción de precipitación y temperatura son los mayores determinantes del tipo de bosque y su distribución. . Los fenómenos atmosféricos (nubes, alta radiación, otros) que controlan la fotosíntesis y los patrones de evapotranspiración, influyen también hidrológicamente.

El papel de los bosques (y, en general de la vegetación) en el ciclo hidrológico puede desarrollarse a corto plazo - lo que supone participación de la atmósfera y solo de los sistemas terrestres: A mayor tasa de evapotranspiración, mayor es la superficie terrestre que contribuye al ciclo; superficie que incluye el agua libre, zonas pantanosas, agricultura de riego y bosques. En estos últimos, y en suelos suficientemente profundos, se supone que el potencial de evapotranspiración del lugar se iguala con el grado que permite la precipitación, con poca pérdida a los ríos hasta que se alcanza dicho potencial, lo que no sucede con los otros tipos de vegetación, con una diferencia media favorable al bosque estimada en 200 mm año⁻¹. La frecuencia de valores extremos es tan importante como los valores medios anuales y la pérdida de bosque puede reducir la precipitación y alterar sus variaciones. Las actividades humanas modifican el ciclo hidrológico a través del consumo de agua doméstico, utilización industrial y uso agrícola, así como en su almacenamiento en embalses.

Los flujos de agua en los bosques escalan desde el nivel hoja hasta el de cuenca, si bien los flujos de descarga de agua deben considerarse a menor escala, pues los riesgos de avenidas de agua dependen de esta. En grandes extensiones, a larga distancia, se producen tres flujos unidireccionales que son la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía. En superficies menores, a escala local, se produce un intercambio bidireccional del agua almacenada en el suelo, en las plantas y en la nieve. Los cuatro atributos LAI, profundidad del sistema radical, hojarasca y porosidad del suelo son los determinantes de los efectos de la vegetación en los flujos.

Los bosques pueden influenciar cuatro factores requeridos para que tengan lugar la precipitación: presencia de humedad atmosférica, cambios rápidos de fase de vapor a gotas de agua (nubes), captura local de la humedad atmosférica y flujo en masa del aire húmedo durante y entre los episodios de lluvia, lo que depende de los vientos que prevalezcan. La captación de humedad atmosférica disponible para las plantas puede tener lugar en forma de gotas tan pequeñas que no caen al suelo y son captadas antes por la vegetación en los *bosques de nubes* (p.e. en La Gomera); también en zonas secas, en forma de rocío al aumentar la humedad atmosférica por la noche. Los bosques pueden también afectar la altura y cobertura de las nubes, ralentizar el viento e influenciar la probabilidad de lluvia. Los bosques, en sus márgenes, influyen en la turbulencia y pueden llevar aire húmedo a las alturas, donde es suficientemente frío y puede formar núcleos de hielo y gotas de agua. Los aerosoles y los compuestos VOC (véase capítulo 9) interactúan con material vegetal y actúan como catalizadores de la nucleación. Así mismo, los bosques influyen en los vientos con la resistencia que opone la vegetación a la fricción; así, reducen su velocidad.

Los bosques producen cantidades masivas de humedad atmosférica, mayores que cualquier otro tipo de cubierta. Desde la perspectiva de la humedad en la atmósfera los árboles, y en general la vegetación, son productores, pero su evapotranspiración hace considerarlos consumidores. Una cuestión en exploración es si la reducción de bosque reduce la precipitación a escala continental. Se admite que las interacciones atmósfera vientos en superficie hará que cuanto más alejada de la costa esté una cuenca más dependiente será la evapotranspiración terrestre en ella y menor el impacto de la evaporación oceánica.

El binomio forestación/deforestación no justifica debidamente las situaciones intermedias como son plantaciones, masas defectivas y otros factores; tampoco las transacciones del bosque natural a bosque secundario con exóticas, usos agrícolas, mosaicos urbanos. Todos ellos afectan a la distribución espacial de la cubierta arbórea, que a su vez influye en el comportamiento hidrológico. También existen zonas que no entran en la concepción de bosques naturales a efectos hidrológicos como la laurisilva canaria en que el bosque atrapa la humedad de las nubes; también los bosques en zonas pantanosas, en proximidad de manantiales y los árboles fuera del bosque en plantaciones agrícolas, agroforestales, agroforestería y árboles urbanos. En todo caso, la propuesta de establecer grandes plantaciones de árboles para incrementar la precipitación sigue siendo controvertida.

El microclima se ve afectado por los bosques en función de la zona climática. En los bosques boreales el albedo es bajo en el estío y, también bajo la nieve, lo que contribuye a temperaturas más altas en invierno comparadas con las existentes bajo otros tipos de vegetación; y la cubierta arbórea al reducir el enfriamiento nocturno compensa los efectos del incremento de la evapotranspiración durante el día. En los trópicos las diferencias en el albedo son pequeñas, el enfriamiento debido a la evapotranspiración domina el balance energético y los doseles arbóreos enfrían respecto a otras cubiertas vegetales.

La cubierta foliar protege de la radiación solar directa; y su ausencia incrementa la temperatura del agua y conduce a la reducción de la concentración de oxígeno y

calidad del agua; así como al incremento del gradiente de la presión de vapor y demanda de agua por el árbol. Si los otros determinantes son constantes el aumento de temperatura reduce el flujo en superficie a través del incremento de la evapotranspiración y de la evaporación del agua circulante. La velocidad del viento depende de la altura y de la resistencia opuesta por la vegetación: el aumento de esta y la disminución de la velocidad del viento reducen la transpiración y aumentan el flujo de agua en superficie.

La cubierta forestal y la variabilidad del clima juegan un papel paralelo en las variaciones del rendimiento anual en agua. Dichos efectos pueden ser aditivos o compensatorios según sus influencias direccionales. Los debidos a la deforestación/reforestación son monodireccionales y acumulativos en un periodo específico; mientras que los debidos a la variabilidad climática son multidireccionales. De ahí que la diferencia en la dirección del impacto puede hacer más o menos pronunciados los efectos hidrológicos de la cubierta de bosque.

Bosques, suelos y agua forman un triángulo de intercepciones mutuas. En este contexto desempeñan un papel importante la ecofisiología de árboles y bosques, que junto con factores climáticos y edáficos son factores determinantes del papel de los bosques en el ciclo hidrológico (flujos de agua circulante y balance hídrico, en función de la dinámica del territorio). Los árboles ayudan a la formación y retención de suelo y éste impacta la hidrología del bosque con la retención de agua, infiltración, percolación, y deposición de sedimentos. Son funciones genéricas asignables a los bosques las derivadas de su condición de sistemas hidrológico- sociológicos.

El balance entre infiltración y absorción de agua por los árboles es el mayor determinante del efecto positivo (o no) de la forestación. Cabe preguntarse si en la transmisión de agua en una cuenca menos árboles conducirían a más agua azul (bebida y uso poblacional). La experiencia indica que la eliminación de bosque reduce la evapotranspiración (ET) y aumenta el flujo en superficie, mientras que la reforestación hace lo contrario. Los resultados de una investigación realizada en Canadá evidenciaron que la ratio E_{act}/E_{pot} (E_{act} , evapotranspiración medida; E_{pot} , evapotranspiración potencial) se aproximaba a P/E_{pot} cuando P/E_{pot} era < 1 , indicando que el agua limita ET y el crecimiento de las plantas; dicho valor resultó alrededor de 1 cuando P/E_{pot} era > 1 , lo que indica una ET limitada. Las ratios $E_{act}/E_{pot} > 1$ apuntan a incertidumbres en el cálculo de E_{pot} .

La intercepción del agua por el dosel arbóreo puede contribuir a un mayor E_{act}/E_{pot} del bosque en comparación con otro tipo de vegetación. La composición de especies y la edad influyen en la ratio. La mayoría de los estudios (mayormente en el trópico y subtrópicos) reportan disminuciones en el rendimiento de agua tras la intervención, si bien la mayoría se refieren a plantación más que a restauración con especies nativas de crecimiento lento. Se sugiere que densidades de árboles intermedias mejoran la infiltración e incrementan el uso por los árboles.

La relación entre pérdida de bosque y aumento del riesgo de inundación tiene interpretaciones distintas. La forestación puede reducir la inundación al aumentar de forma rápida la evapotranspiración y conducir a una infiltración más lenta (mejor) al incrementar la macroporosidad del suelo. En zonas templadas, con la fusión de la nieve en primavera o tormentas de estío, la existencia de bosque puede (no siempre) reducir

los efectos de inundación. En sentido opuesto, las cortas de árboles favorecen dichos efectos y la construcción de embalses y canales altera el régimen hídrico.

La liberación de agua almacenada en un periodo seco (efecto esponja) depende del contexto geomorfológico. La asociación entre la calidad del agua y el bosque depende de la existencia de baja cantidad de sedimentos, reciclado de nutrientes (con poca pérdida por escorrentía) y ausencia de contaminación. El mantenimiento de zonas ribereñas con bosque nativo puede reducir efectos negativos.

El bosque facilita la cohesión de las partículas del suelo y evita (al menos, parcialmente) su deslizamiento en las laderas. El dosel de copas reduce la interceptación directa de la lluvia y el contenido en agua en el suelo a través de la evapotranspiración, aunque en el caso de árboles de gran tamaño y peso la acción del viento contribuye a su descalzamiento y al arrastre de suelo, incluso en llanura. En zonas de montaña la cubierta forestal modula el riesgo de avalanchas de nieve (ver capítulo 16). Los bosques con sotobosque (al igual que las plantaciones) presentan tasas de erosión menores, mientras que la eliminación de la hojarasca incrementa la erosión. Incremento al que conducen también las operaciones de aprovechamiento de madera (cortas, vías de saca). En las cuencas de grandes ríos la reforestación se ha asociado con reducción de la erosión y sedimentación (véase capítulo 16).

La estructura y la función de hojas, tronco, ramas y raíces son factores determinantes de los procesos ecofisiológicos mencionados El agua es absorbida mayoritariamente por las raíces, cuya densidad es función del rodal, la especie, la edad y las características del suelo, con respuestas adaptativas al grado de acceso al agua y profundidad (no estática) que puede cambiar dinámicamente a lo largo del año. Las necesidades de agua dependen de la arquitectura de la copa y de la fenología de la especie, con adaptaciones en la capacidad de resistencia a situaciones estacionalmente secas que difieren de forma predecible en función del clima y profundidad de la capa freática.

En el papel de **las copas como determinante hidrológico**, el índice de superficie foliar (LAI) - cociente entre la superficie foliar y el área de la proyección ortogonal de las copas sobre el suelo- es referente a efectos del consumo de agua y actividad fotosintética. Un valor de 1 significa cobertura del suelo e interceptación completa de la luz. En el otro extremo, valores de 5 a 6 señalan un dosel de copas propio de bosques densos en los que solo llega una pequeña porción de luz al suelo. Dichos valores vienen determinados por una serie de atributos físicos del dosel y por las prácticas selvícolas.

Dado que la transpiración (difusión del agua a la atmósfera) tiene lugar a través de los estomas repartidos por la superficie foliar, ésta se correlaciona con el uso del agua: a mayor LAI, mayor es el potencial de transpiración. Aunque no está directamente correlacionado con las tasas de transpiración, sí lo está con el déficit en la presión de vapor. De ahí que el LAI de un rodal forestal tenga efectos significativos en su hidrología.

Con la edad y una mayor copa, aumenta la extracción de agua del suelo, lo que da lugar a cambios a las diferentes profundidades del suelo que afectan la infiltración, la recarga de agua y, en última instancia la escorrentía, así como el flujo de agua a través del árbol y la evaporación en superficie.

La fenología, la mezcla de especies y las pautas de desarrollo de los parásitos condicionan el consumo de agua por el árbol y marcan sus variaciones estacionales e influyen en la hidrología del bosque. La variación en la longitud y profundidad de penetración de las raíces entre especies diferentes tiene importancia en la dinámica de la humedad del suelo: Los rodales mixtos evitan la competencia entre raíces de las diferentes especies al usar diferentes capas del suelo en diferentes tiempos del año. Así mismo influyen los cambios en las pautas de desarrollo temporal de plagas y enfermedades

Las raíces son determinantes de la dinámica del agua en el suelo. En las raíces el agua se mueve desde las capas húmedas de suelo a las secas; proceso que se puede producir desde la superficie del suelo hacia el interior, así como sentido inverso (**efecto esponja**). Por la noche, con los estomas cerrados y ausencia (casi) de transpiración, el agua puede rehidratar zonas secas; en suma, tiene lugar una redistribución hidráulica, que es función del suelo, de la estructura del sistema radical y del gradiente de potencial de agua del árbol, pudiendo contribuir en 17 a 18% al total de agua transpirada, y más al final del verano. Dicho efecto esponja puede también aumentar la supervivencia de los brinzales y mantener la transpiración del dosel superior durante la sequía de verano.

El concepto de profundidad de enraizamiento asume que por encima de cierta profundidad del suelo toda el agua está disponible y deja de estarlo por debajo de la misma, en donde el agua está como recarga subterránea de agua. Tal asunción permite estimar la capacidad de almacenamiento de la zona de raíces. Una estima basada en un abundante número de captaciones estima un rango de 25 a 250 días con tasas de evapotranspiración de 2 mm. día⁻¹ en ausencia de precipitación.

La porosidad (espacio entre las partículas y agregados del suelo) **define la capacidad de infiltración de los suelos**, que pueden mostrar según las regiones, escasa o alta capacidad de infiltración, en todas las combinaciones posibles con altas/ bajas precipitaciones, dando lugar a un rango de suelos desde aquellos con escasa retención de agua a los suelos saturados y potencialmente encharcados, conducentes a mortandad vegetal. El tamaño y la distribución de los poros, la abundancia de poros verticales y horizontales, son igualmente determinantes hidrológicamente. Los suelos arenosos presentan alta capacidad de infiltración y escasa de retención, extremo opuesto al de los suelos arcillosos. Si el suelo tiene un amplio rango de porosidad puede mantener una infiltración y una retención equilibradas. La pérdida de cubierta forestal reduce la capacidad de absorber y retener agua: al principio aumenta el tamaño de los poros cuando las raíces se descomponen se facilita la infiltración, luego se colapsan y se reduce la infiltración (ver capítulo 7).

La hojarasca constituye una interfase crítica para la hidrología forestal. A corto plazo almacena agua y protege a la superficie del suelo de la capacidad erosiva de del impacto directo del agua de lluvia. A largo plazo influye en la infiltración y porosidad. Las características de los árboles y las prácticas de manejo la condicionan. En ausencia de hojarasca la evaporación del suelo es muy significativa en la evaporación total del bosque y es difícil a nivel de cuenca distinguir entre evaporación del suelo o humedad interceptada por la transpiración del dosel de hojas. Globalmente, la transpiración se

ha estimado en $64 \pm 13\%$ de la evapotranspiración. Solo $38 \pm 28\%$ del agua de la superficie terrestre procede del pool de agua accesible a la planta, el resto es agua del flujo que discurre en superficie.

Un último elemento que participa en los efectos esponja en el suelo es **la capa freática**, afectada por factores bióticos y abióticos y cuya composición isotópica es diferente de la del acuífero. La capa freática puede estar afectada indirectamente por el acuífero. Si el agua del acuífero se usa para actividades humanas el agua entra en el ciclo hidrológico dinámico mientras que el acuífero del que el agua se origina puede quedarse reducido o vacío permanentemente.

En el paisaje forestal **son destacables una serie de funciones genéricas asignables a los sistemas hidrológico-sociológicos**: transmisión de agua, anulación de los picos de flujos, liberación del agua almacenada y soporte del flujo en periodos secos, mantenimiento de la calidad del agua; funciones dependientes de la topografía, como son la estabilidad de las pendientes y la evitación de deslizamiento en laderas, control de la pérdida de suelo por erosión, efectos microclimáticos sobre la humedad atmosférica, y la calidad del aire, protección en las zonas de costa contra tormentas y tsunamis, infraestructuras ecológicas y lluvias. Las complejas interacciones entre aspectos sociológicos y ecológicos dan lugar a derechos, conflictos, emergencia de instituciones forestales, con influencia en los regímenes de los flujos de agua en superficie. Cobra especial importancia el **concepto de servicios ecosistémicos**, basado en el tipo de beneficios humanos derivados del funcionamiento de los ecosistemas, en el que se combinan las reglas con los incentivos económicos.

Ante perturbaciones intensas, y ante el cambio climático, diversos factores biofísicos son **determinantes del cambio producido en las interacciones entre los bosques y el agua**. Cualquier factor que incremente la superficie foliar y tiempo de apertura de los estomas dará lugar a mayor difusión de agua a la atmósfera y al enfriamiento del aire; y lo inverso sucederá si el factor reduce la transpiración. Ambos sucesos estarán acompañados de ganancia y pérdida, respectivamente, de carbono. De ahí el uso de la superficie foliar y el LAI para valorar el uso del agua del bosque y el rendimiento en agua; también, el índice NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada y el área que ha sufrido perturbaciones naturales.

Los determinantes de cambio pueden ser de corta duración y tener, o no, consecuencias a largo plazo para el uso del agua y su rendimiento: por ejemplo, el fuego, de corta duración puede tener impactos a largo plazo sobre la cantidad de agua y su calidad, mientras que el impacto de una avenida de agua suele tener un reducido impacto temporal. Las plagas y enfermedades tienen un impacto sobre el cambio a medio plazo. A largo plazo, el nivel de ozono puede incrementar el uso del agua al mantener los estomas abiertos.

El incremento global en la precipitación y el aumento térmico han acelerado el sistema hidráulico, y, a menor escala, los cambios regionales pueden persistir durante años. La frecuencia del determinante del cambio puede ser muy impactante en la alteración de la cantidad y calidad del agua; y, en general, el aumento en la variabilidad del clima intensificará la frecuencia de las perturbaciones (ver los capítulos 8,9 y 10).

El árbol, como ente individual, es el común denominador de cualquier determinante de las relaciones agua/bosque; sin embargo, dado que los impactos de los cambios en los recursos hídricos tienen mayor extensión espacial, a efectos operativo se maneja una unidad de respuesta hidrológica (HRU) que puede ser a nivel continental, regional y de cuenca.

Las cuencas, de tamaño y topografía variables, son la escala más usual en la que pueden observarse los cambios en los recursos hídricos consecuencia de las prácticas de manejo de las mismas, pues en ellas son muy importantes los procesos de evapotranspiración asociadas con la cuenca (p.e. reducción de la escorrentía por implantación de una plantación). El estado inicial del bosque y los episodios de cambios que haya experimentado con anterioridad tienen influencia en los determinantes del cambio. Así mismo, debe tenerse presente la tendencia de cambio, difícil en todo caso de presumir, pero que puede condicionar el manejo técnico del bosque.

La polución puede actuar en ambos sentidos. La deposición de nitrógeno incrementa la superficie foliar y reduce el rendimiento en agua. En el estado de saturación, conduce a mortalidad y reduce dicha superficie. Puede asimismo provocar la eutrofización de las aguas. El ozono puede regular la absorción de CO₂ y la pérdida de agua haciendo menos eficiente su uso por los árboles.

Se ha estimado, a raíz de la incidencia de grandes incendios, que el 40% de las emisiones de todo el carbón negro proviene de la quema de biomasa incluido los incendios en los bosques. Dicha deposición sobre la nieve incrementa la temperatura en 1°C lo que tiene un efecto sobre la fundición de la nieve más significativo que el incremento de CO₂ (ver capítulo 10).

Los determinantes del cambio de uso de la tierra han aumentado globalmente. El debate sobre la escala en la que la intensificación agrícola disminuye o aumenta la deforestación está estrechamente conectada con los sistemas socioecológicos.

Los procesos de cambios demográficos pueden conducir a que las cubiertas forestales queden sometidas a transiciones en sentido opuesto, con consecuencias hidrológicas importantes que afectan a las poblaciones humanas de la zona y a la urbanización; ésta, siempre asociada con la reducción de las cubiertas arbóreas. La disminución de la población rural puede ser una oportunidad para la regeneración del bosque, pero también la urbanización asociada a cambios en los estilos de vida ejerce presión sobre la producción forestal.

El cambio climático, en suma, puede alterar la estructura del bosque y su composición lo que puede exacerbar o mitigar sus efectos sobre los procesos hidrológicos (ver capítulo 11). No obstante, la gestión forestal futura presenta gran incertidumbre.

Bibliografía

JONES J.A. *et coordinating lead authors*, 2018. Forest Landscape Hydrology in a “New Normal” Era of Climate and Land Use Change. En: *Forest and Water on a Changing Planet: Vulnerability, Adaptation and Governance Opportunities. IUFRO World Series Volume 38*, pp 81-100.

MC NULY S.G. *et coordinating authors*, 2018. Determinants of the Forest-Water Relationship. En: *Forest and Water on a Changing Planet: Vulnerability, Adaptation and Governance Opportunities. IUFRO World Series Volume 38*, pp 61-80.

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA, 2014. *Diccionario de Ingeniería*. RAI.

VAN NOORDWIJK M. *et coordinating lead authors*, 2018. Climate- Forest-Water People relations: Seven System Delineations. En: *Forest and Water on a Changing Planet: Vulnerability, Adaptation and Governance Opportunities. IUFRO World Series Volume 38*, pp 27-60.

El bosque urbano

*¡Son los bosques, los bosques que regresan! Aquellos
donde el amor, volcado, se pinchaba en las zarzas
y era como un arroyo feliz, encandecido*

de pequeñas estrellas de dulcísima sangre.

(RETORNOS DE LO VIVO LEJANO, Rafael Alberti)

En el ámbito de las ciencias naturales y en el de las profesiones en las que confluyen los conocimientos teóricos sobre la naturaleza con su gestión técnica, al término bosque cabe añadirle un adjetivo con el que se especifican determinadas características, pero sin perder las propias del concepto de bosque en términos de caracteres geográficos, superficie, origen y estructura de la masa arbórea y aprovechamientos, que con matizaciones incluye plantaciones; y que, también en un sentido más amplio, nos lleva al término montes (cuestión ya aludida en otros capítulos).

Las denominaciones de bosques urbanos y periurbanos rompen con esta concepción histórica del bosque, los amplían e integran en la vida diaria de los habitantes de los núcleos urbanos como componentes propios de la ciudad. Las coberturas arbóreas, más o menos extensas, existentes en las urbes en forma de parques y jardines, plantaciones lineales en calles y avenidas, en plazas y aquellas de mayor extensión en los márgenes de las poblaciones, componen la infraestructura verde urbana en cuyo ámbito surge la nueva concepción del bosque en el ámbito urbano.

El origen de la infraestructura verde de las ciudades puede verse en la concepción norteamericana, de urbe *in rus- the country in the town* -que rigió en los primeros asentamientos, considerados como espacios de integración social, los *town green* utilizados para funciones básicas (cementerio, pastizal comunal y catalizador del núcleo urbano), que evolucionaron, ya en el siglo XIX, a un sistema de intercalación de edificios y parque, reforzando la relación paisaje -ciudad. Paralelamente en Europa (Londres, París, entre otras grandes urbes) surgió el movimiento del parque urbano que luego inspiró la creación de los primeros parques norteamericanos urbanos, el primero el Central Park neoyorkino; y ya a caballo con el siglo XX el sistema de parques regionales. Ya a comienzos del último tercio del siglo, preconizado por movimientos

ecologistas en algunos países (EEUU, China, Reino Unido), se desarrolló el concepto de *urban forestry* y de bosques urbanos y periurbanos. En 2002, se celebró en Shanghai el primer Simposio Internacional sobre bosques urbanos y periurbanos. En él, se trazaron líneas para su planificación, diseño y mantenimiento, para lo cual se subrayó la necesidad de contar con aportaciones científicas de muy variadas disciplinas (ecología de ecosistemas, paisajismo, biogeoquímica, geografía y ciencias sociales).

Las elevadas cifras de población urbanita (más del 50% de la población mundial, en aumento), en contraste con el reducido espacio terrestre que ocupa (3% de la superficie terrestre), el alto porcentaje de energía que consumen (78%) y la elevada emisión de CO₂ (60%), han levantado una voz de alarma en la FAO y conducido a impulsar la bioeconomía a través de valorizar y propulsar zonas forestales en las ciudades y sus alrededores.

Se requiere un nuevo urbanismo basado en promover las relaciones ecológicas, en el cual participan los bosques urbanos. El bosque urbano, en palabras de Carreiro et al (citado en la bibliografía) constituye una jerarquía espacial asentada en árboles individuales, corredores de árboles (calles, carreteras) y redes (aparcamientos, bloques de viviendas, espacios verdes, campos de golf) agregados o fragmentados, dentro y fuera de las ciudades, que no deben restringirse al entorno urbano.

En el ámbito europeo, con el nuevo concepto de urbanismo ecológico - *landscape urbanism* se propende a crear y gestionar infraestructuras verdes tanto a nivel territorial (comunidad autónoma) como municipal. Y se define la infraestructura verde como “una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad de asentamientos rurales y urbanos”. En principio, En Europa, la Agencia Europea del Medio Ambiente pone en marcha la implantación de infraestructura verdes, y ha dictaminado normas de obligado cumplimiento por parte de las comunidades autónomas para la elaboración de planes de gestión técnica de las infraestructuras verdes.

El bosque urbano debe considerarse parte integral del paisaje urbano, un sistema dinámico, en mosaico, con una perspectiva ecológica, que cumple una amplia gama de funciones vitales: mitigación del CO₂ mediante su captura y almacenamiento de carbono en los tejidos vegetales, eliminación de contaminantes del aire (NO₂, SO₄-2, Cl-, otros) ahorro energético, reducción de pérdida de suelo y contribución a su restauración, prevención de sequía e inundaciones.

Las copas de los árboles moderan los cambios térmicos acusados de la atmósfera de común vivencia por el hombre, contribuyendo al enfriamiento del aire en el estío al absorber parte de la radiación luminosa; copas que en las frondosas de hoja caediza al dejar pasar los rayos solares en invierno favorecen un aumento térmico. De hecho, árboles colocados adecuadamente alrededor de los edificios pueden llegar a reducir en un 30% las necesidades de aire acondicionado en el estío; y en climas fríos, al proteger

las casas del viento, pueden ayudar a ahorrar la energía utilizada en calefacción entre un 20% y 50%.

Así mismo, los bosques urbanos y periurbanos permiten aumentar la resiliencia y calidad de las cuencas hidrográficas y las reservas de agua al evitar la erosión, limitar la evapotranspiración y filtrar los contaminantes. Incluso, en algunas zonas geográficas, plantaciones urbanas de frutales puede contribuir a una mayor disponibilidad de alimentos en su interior.

En este marco de actuación, “los bosques urbanos y periurbanos serían conectores y columna vertebral de estrategias de planificación verde”, como subraya el autor de uno de los trabajos incluidos en el nº 131 (1er trimestre, 2018) de la revista MONTES. En esta acertada aportación de la revista se destaca, el papel y posibilidades que pueden desempeñar las cubiertas arbóreas y se incluyen diversas iniciativas ya en marcha en España en diversas ciudades, iniciativas animadas por el propósito de construir territorios más próximos a la naturaleza, con una visión de ciudades biofílicas, término usado para expresar el amor apasionado de la vida y todo lo viviente

Al editorial del mencionado número de MONTES bajo el título de “Bosques y ciudades sostenibles” siguen aportaciones sobre el tema comenzando por la de la Directora General de Gestión del Agua y Zonas verdes, a la que siguen artículos de índole generalista: “Gestión municipal de la infraestructura verde municipal”, “Los bosques urbanos como recurso de las ciudades biofílicas”, “Principales retos en la implementación de la infraestructura verde urbana”, “Un, dos,...echando cuentas con los bosques urbanos”, “Construcción con madera y sostenibilidad en las ciudades del siglo XII... y siglos venideros”, “Innovación y nuevas perspectivas en los bosques urbanos”, “La colaboración público-privada: elemento clave para el desarrollo y mantenimiento de nuestra infraestructura verde urbana”.

En otro conjunto de aportaciones, en la mencionada revista, se alude específicamente a ciudades o territorios nacionales concretos: En el bosque urbano y la planificación estratégica en la ciudad de Madrid”, “Programa de impulso de infraestructura verde urbana de Barcelona”, “Una experiencia a escala local de infraestructura verde: el camino de Zaragoza”, “Málaga renueva su infraestructura verde”, “Integración de medidas para conservación de la biodiversidad en los parques”, “Experiencia de Santander, Vitoria- Gastez: de la infraestructura verde territorial a la infraestructura verde de barrio”, “Singularidad de montes periurbanos de Patrimonio Nacional: monte de El Pardo y Bosque de la Herrería”, “La gestión municipal de dos parques forestales madrileños de muy diverso origen. La Casa de Campo y el parque forestal de Valdebebas-Felipe V” y “Servicios ecosistémicos del verde urbano en ciudades mediterráneas”.

En este contexto, la aplicación del programa *i Tree Eco* posibilita el análisis cuantitativo de datos sobre los efectos de la polución en el arbolado por diferentes contaminantes atmosféricos y también sobre la captura y almacenamiento de carbono; así mismo, permite el análisis estructural (inventario, distribución de especies, parámetros funcionales del desarrollo foliar), la modelización de la predicción de impactos climáticos y por parásitos) y análisis de riesgos y de costes-beneficios. Su

aplicación a la Comunidad de Madrid ha facilitado estimaciones numéricas sobre los beneficios reportados por el arbolado existente, cifrado en 5,7 x 106 árboles.

El concepto de bosque urbano no implica la aplicación estricta de una selvicultura tradicional operativa en los montes arbolados; y sí, en cambio, tener presente la arboricultura, el cultivo de los árboles sin fines productivos, sino por el placer y agrado (amenity), que suministra su presencia, sin fin productivo directo alguno. Es en los países anglosajones donde se ha desarrollado con mayor amplitud, y en ellos se han fundado sociedades privadas en cuyo marco se tratan (y publican) un amplio repertorio de temas tanto técnicos como financieros. Solo en Gran Bretaña se estima en más de 100 millones el número de árboles existentes en el ámbito urbano, lo que, por otra parte, significa una importante producción viverística que acarrea movimiento dinerario.

La producción de árboles en vivero para su implantación urbana y su posterior conservación tienen en la arboricultura un poderoso aliado y a ella, y a la copiosa bibliografía existente (científica, técnica, de práctica operativa) es aconsejable recurrir.

Existe una serie de aspectos que, en términos generales, merecen especial atención: época y ejecución correcta de la plantación, edad y estado sanitario, forma y dimensiones de la planta, y tipo de envase para el trasplante y condiciones físicas del suelo donde se lleve a cabo la plantación, con especial atención al drenaje y compactación.

Así mismo debe tenerse en cuenta la elección de la especie arbórea, su longevidad y desarrollo y su capacidad reproductiva (muchas veces causante de trastornos en el viandante, incluso daños, por la abundante caída de flores y frutos). La elección de especie, es necesario hacerla también en relación con la función que se desea tenga (plantación lineal, parque, jardín, espacio de mayor dimensión) que entrañará una mezcla de frondosas y coníferas, agrupaciones de una única especie, en línea, en mezcla con arbustos, otras disposiciones.

La estabilidad de los árboles, ligada a una correcta plantación y a la propia configuración del sistema radical de la planta de vivero frente al viento es asunto de extrema importancia; los posteriores cuidados culturales, entre los que figura una poda programada (muy costosa, pero necesaria), no drástica y desestabilizadora, son esenciales tanto para el buen desarrollo del árbol como para su estabilidad (puede ser muy dañino el exceso de agua, tanto en la pudrición de raíces como en la estabilidad del árbol).

Ambos, un buen estado nutricional (la aplicación de un fertilizante y un riego tras la plantación contribuyen a crear un arraigo más poderoso) y, especialmente, un buen estado sanitario a lo largo del tiempo, son aspectos clave para la conservación prolongada del arbolado; sin olvidar que los árboles envejecen y con el paso del tiempo pierden vigor (pérdida de ramas), ahuecado del tronco por podredumbre del duramen, y capacidad de resistencia a agentes físicos y a plagas y enfermedades, de cuya detección precoz se debe estar muy pendiente, tratando de aplicar una lucha integrada contra las mismas; y cuando sea necesario, proceder a su corta (sin temer a falsos

ecologismos), cuidando de tratar los tocones con un fungicida para evitar se conviertan en focos de esporas de hongos nocivos; e, inmediatamente, proceder a la inmediata sustitución de los pies suprimidos.

Cabe añadir, a fuer de ser reiterativo, que todas estas medidas y otras que se tomen en la configuración y el mantenimiento de los bosques urbanos deben tener presente el objetivo primario de su concepción: crear un paisaje de convivencia del hombre con la naturaleza a través de las infraestructuras verdes.

Bibliografía básica

AUTORES de los artículos mencionados, en el mismo orden de su mención, 2018. GARCÍA SAN GABINO B., BERGUA F., CALAZA P., DEL POZO C., ALVAREZ D., ESTEBAN M., DEMIGUEL A. Y LECHÓN J.I., DOMINGUEZ S., SIGÜENZA F.J, BAUTISTA N., Y MORCILLO A., RULL C., MANSO L, et al, GUTIERREZ J., DOMINGUEZ B., ROJO E., DEL POZO C., MUÑOZ A., CENTENERA M.A. Y SORIA S., MARLÉS J. *Revista MONTES, nº 131, primer trimestre 2018: Bosques y ciudades sostenible.*

BERRIZBEITIA A., HECHT R., MUÑOZ A., 2008. La idea del paisaje en USA: de naturaleza a ciudad. En *“Retorno al paisaje”*, Edit.: J.F. Mateu y M. Nieto, EVREN, pp 243-282.

CARREIRO M., YONG-CHANG SONG, JIANGUO WU(Edts) 2008. *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspective*. Springer

DIVERSOS EDITORES y AUTORES, 1951-2018. *IPPS, The International Plant Propagator's Society*, USA, 60 volúmenes.

HODGE S.J.,1991 (Edit). *Research for practical arboriculture*. Forestry Commission, Bulletin 97.

USA FOREST SERVICE, 2005. *i-Tree Eco, Tool for Assessing and Management* (version 6, 2014).

Reseña Histórica, Mapa Forestal e Inventario Nacional

*En mi patria hay un monte.
En mi patria hay un río. Ven conmigo,
La noche al monte sube, el hambre baja al río.*
(EL MONTE Y EL RÍO, Pablo Neruda)

La ocupación y destrucción de las áreas forestales en España ha sido una constante a lo largo de la Historia: uso agrícola y ganadero, incendios, guerras, la propia evolución de la Sociedad, dan cuenta de ello. En lo que sigue se da una breve panorámica de la evolución histórica de la cubierta forestal española y un recorrido histórico que ha llevado a la confección del actual Mapa Forestal de España, para terminar con una alusión al Inventario Nacional. La información expuesta a continuación es en gran parte la obtenida en la obra titulada Mapa Forestal de España, dirigida por el profesor Juan Ruiz de la Torre, ilustre maestro de la flora forestal española, citada en la bibliografía adjunta.

Las primeras referencias, constatadas, a los montes ibéricos, se han encontrado en la Geografía de Estrabón. En ella se hace mención de la encina, las bellotas y el carbón vegetal y del uso de madera en la construcción de navíos: Disposiciones encaminadas a impedir la destrucción de los montes, y a perseguir a los causantes de incendios y al establecimiento de un diezmo por el aprovechamiento de bosques y prados en régimen comunal, se remontan al medievo. En la España musulmana el gran desarrollo alcanzado por la agricultura repercutió negativamente en la atención prestada a los espacios forestales, si bien existen referencias específicas al uso de madera para la confección de artesanados y diversos ingenios militares. En los Reinos Cristianos, junto a las referencias a la roturación de terrenos para la extensión de cultivos, abundan las concernientes a las masas arbóreas y a su adehesamiento y a la fuerte demanda de madera para la construcción de galeras, núcleos urbanos, leñas y carbón vegetal; existen, también, referencias de acciones repobladoras llevadas a cabo por iniciativas reales.

El gran desarrollo que adquiere la trashumancia, fortalecida con la creación del Concejo de la Mesta supuso un grave perjuicio para los montes, agravado con el advenimiento de la Edad Moderna por el apoyo de la realeza a la ganadería y el aumento del consumo de madera para la construcción naviera durante los reinados de los reyes de la Casa de Austria. Con la dinastía de la casa de Borbón continuó la necesidad de

suministro de madera para la flota española y la roturación de montes, con muy limitadas acciones de repoblación.

En 1833 se promulgaron las Ordenanzas de Montes, consideradas el primer código forestal español, precursoras de las leyes de montes vigentes hasta mediado el siglo XX; veinte años después se creó el Cuerpo de Ingenieros de Montes y por un Real Decreto se dividió el territorio nacional en Distritos Forestales. La ley de desamortización o ley Madoz, exceptuaba de la desamortización a montes que se consideraron y clasificaron como Montes Públicos, publicándose el primer Catálogo de los mismos.

Años después se aprueba la primera ley española relativa al fomento de la repoblación con alusión específica a la repoblación de rasos, claros y calveros mediante diseminación natural; también, años más tarde, se estableció un plan de repoblación (que no pudo llevarse a cabo), y se aprobaron las instrucciones para realizar proyectos de ordenación, un nuevo Catálogo de Montes y, ya a principio del siglo veinte, se creó el Servicio Hidrológico Forestal para la lucha contra la erosión y evitación de riadas e inundaciones.

La reforma del Cuerpo de Ayudantes de Montes, la creación del Cuerpo de Guardería Forestal del Estado, la de un Centro de Experimentación Forestal y la figura de los Parques Nacionales, junto con La Ley de Defensa del Monte relativa a la conservación y defensa de la riqueza forestal, fueron sancionadas por diversas leyes promulgadas en las primeras décadas del siglo XX. En años siguientes se creó el Consejo Superior de Caza, Pesca Fluvial y Parques Nacionales y se sentaron las bases del Patrimonio Forestal del Estado. También, se promulgaron la ley de refundición y de asignación de funciones y transferencia desde otros servicios a este organismo, y normas para la realización de trabajos selvícolas en los Distritos Forestales y diversas disposiciones relativas a las fincas de propiedad particular con aprovechamientos maderables. Así mismo se impulsaron repoblaciones de especies de crecimiento rápido por parte de propietarios privados en Galicia y País Vasco. La tarea de restauración de los montes cobró impulso con la nueva Ley de Montes de 1957 y su posterior Reglamento.

La repoblación de más de tres millones de hectáreas hasta 1980 modificó el paisaje forestal; pero la magnitud y frecuencia de los incendios fueron (siguen) segando decenas de miles de hectáreas de masas arbóreas naturales y de repoblación y, también, de arbustados y matorrales. La excesiva carga de biomasa sustentada, las quemadas provocadas, intencionadas o por descuido, a pesar de la ingente labor del Servicio Especial contra Incendios Forestales creado al respecto, dotado con brigadas especializadas y modernos equipos tanto de detección como de combate, han convertido los incendios en el factor de principal atención política en la conservación de las masas forestales.

Son destacables los Decretos Ley de los años 70 del pasado siglo por los que se suprimen los Distritos Forestales y el Patrimonio Forestal del Estado y se crea el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), organismo que asumió la mayoría de las competencias de los organismos suprimidos. Se desgajaron algunas

competencias de industrias forestales, la investigación forestal y el servicio de plagas: en suma, un cambio radical, perjudicial para la Administración Forestal.

El ICONA continuó su labor de gestión de montes catalogados y espacios naturales protegidos, así como otras relacionadas con la repoblación forestal, trabajos selvícolas e incendios. Con la instauración del régimen autonómico, las Comunidades Autónomas asumieron las competencias sobre los montes y los aprovechamientos forestales. Éstos han descendido, si bien se ha vuelto a la primitiva vocación forestal de terrenos con una agricultura marginal, ahora abandonada, lo que ha permitido nuevas repoblaciones con fondos PAC (Política Agraria Comunitaria) de la Comunidad Europea.

A lo largo del siglo XX hubo varias iniciativas para llevar a cabo **el Mapa Forestal de España**, que por falta de presupuesto solamente llevaron a culminarse en algunas provincias con empeño personal de algunos ingenieros, cual es el caso de los mapas de las provincias de Lérida, Málaga y algunas islas del archipiélago de las Canarias. En cualquier caso, no fue hasta 1965 cuando se publicó, y presentó en el Congreso Forestal Mundial celebrado en Madrid, un Mapa Forestal de España dirigido por el profesor Luis Ceballos. El trabajo de campo lo llevaron a cabo (con escasos medios) tres ingenieros de Montes durante el periodo 1959 a 1962; dos personas transfirieron la información de los mapas provinciales hechos en el terreno a escala 1:200.000 a la escala definitiva 1:1.400.000 en la que se publicó. El mapa consta de 21 láminas que incluyen 19 especies arbóreas autóctonas, dos exóticas y una lámina dedicada a los matorrales. Una descripción botánica y ecológica y una tabla con datos de temperaturas acompaña a cada lámina.

La evolución social en usos y aprovechamientos del campo, en especial los derivados de la agricultura, la ganadería y, también, los específicos del sector forestal (la madera cortada, leñas, biomasa con fines energéticos, resinas entre otros) ha conducido a cambios en la composición y, a veces formas, de las cubiertas forestales. La disponibilidad de mayor financiación por parte del Ministerio de Medio Ambiente, la implicación específica del ICONA y de la Secretaría General del Ministerio, ha hecho posible la elaboración del actual Mapa Forestal de España bajo la dirección del profesor Juan Ruiz de la Torre, con la colaboración de un amplio plantel de técnicos y científicos.

La ingente obra, publicada en 2002, incluye un volumen con un estudio detallado en el que se trata el medio físico, las causas de la evolución de la cubierta forestal a lo largo de la historia, con reseña de la flora y la vegetación, el tratamiento actual y deseable de las cubiertas forestales, fotografías y otros anexos. En el capítulo de flora y para la relación de especies incluidas, se ha adoptado explícitamente la clasificación de Máximo Laguna en árboles, arbustos y diferentes clases de matas. En el capítulo de vegetación, tras la enumeración de los Tipos Estructurales Zonales diferenciados en la península, Baleares y Canarias, se presenta una sinopsis de la vegetación española; en ella destaca la detallada información sobre los bosques (alta montaña, coníferas del tipo taiga, caducifolios mesófilos, subesclerófilos y esclerófilos), a la que sigue la concerniente al resto de Tipos Estructurales.

El mapa propiamente dicho está publicado a escala 1:1.100.000. En él figuran con diferentes colores los Tipos Estructurales Zonales y niveles correspondientes y las especies incluidas en ellas se muestran con las iniciales de sus nombres. Junto al mapa global del territorio español, la obra comprende mapas individuales de cada provincia a la que acompañan sendos estudios con una detallada información geobotánica.

También el Inventario Forestal Nacional de España tiene unos antecedentes históricos que se remontan a Estrabón y a diversos documentos sobre los montes como son el Libro de la Montería, en el siglo XIV, la Descripción y cosmografía de España de Hernando Colón, en el XVI, y la clasificación general de los montes públicos de 1859, que se integró como Estadística Forestal de España en el Anuario del Ministerio de Agricultura a partir de 1940.

En la información oficial del Ministerio se define un Inventario Forestal Nacional como el proyecto encaminado a obtener el máximo de información posible sobre la situación, régimen de propiedad y protección, naturaleza, estado legal, probable evolución y capacidad productora de todo tipo de bienes de los montes de un país.

El Inventario Forestal Nacional es un inventario continuo, con periodos decenales de revisión. Iniciado en 1965, se han elaborado tres inventarios forestales nacionales correspondientes a los periodos 1966-75, 1986-1996 y 1997-2007; actualmente se está llevando a cabo el 4º Inventario con varias provincias terminadas, con mapas a escala 1:25.000. Con motivo del 50 aniversario se montó un video explicativo, con excelentes fotografías de libre entrada en la RED. Son destacables algunas cifras globales: 90.000 parcelas de inventariación (que sirven de referencia en inventarios sucesivos) con apeo de árboles; un millón de árboles inventariados de los 7000 millones de árboles que ocupan 18 millones de hectáreas, que suponen el 36% de la superficie nacional.

En el inventario llevado a cabo se han tenido presentes una serie de objetivos generales: Suministro de información sobre edad y evolución de los ecosistemas forestales, Sistema para la participación de la ciudadanía en el ámbito forestal, Información en la red europea de comunicación ambiental y Estudio de la evolución de los montes españoles. En ellos se encuadran con mayor detalle doce objetivos específicos en los que se contemplan datos dasométricos, crecimiento, biodiversidad, aspectos económicos, los montes como sumideros de carbono. Por otra parte, en el último inventario se han introducido mejoras en términos de mayor detalle en los muestreos, mejores equipos de medición y de manejo de datos; sin olvidar los criterios seguidos en inventarios anteriores: la provincia como unidad territorial, ciclo de diez años para su repetición, sistema SIG de alto nivel, métodos estadísticos y plasmación de resultados asequible a personas no expertas.

Bibliografía básica

BAUER E., 1980. *Los Montes de España en la historia*. Ministerio de Agricultura, Madrid.

CEBALLOS L., 1966. *Mapa Forestal de España*. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Madrid.

ICONA, 1965. (varios colaboradores). Inventario Forestal Nacional: 1º (1966-75), 2º (1986-1996), 3º (1997-2007 y 4º (parcial) 2008--. Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General del Ministerio. ICONA.

RUIZ de la TORRE J., 2002. *Mapa Forestal de España*. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.

Parques Nacionales

*Saeta voladora
cruza, arrojada al azar,
sin adivinarse donde
temblando se clavará;
hoja que del -árbol seca
arrebata el vendaval
sin que nadie acierte el surco
donde a caer volverá ...
(RIMAS Y LEYENDAS, (Gustavo Adolfo Bécquer)*

Los espacios naturales de especial singularidad por sus valores ecológicos y culturales requieren una especial preservación con un específico ordenamiento legislativo y actuaciones técnicas que la sustenten. Este es el sentido que condujo a la creación en Europa de Natura 2000, red ecológica de áreas de conservación de la biodiversidad, que consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) establecidas de acuerdo con la Directiva Hábitat y de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).

La participación de España en la red Natura 2000 cuenta con 1.219 lugares de interés nacional para con ellos configurar las zonas de especial conservación (ZEC), estructuradas en cuatro regiones biogeográficas, que unidos a las zonas de especial protección de aves (ZEPA) suman un total de 12,4 M has, un 23,4 % del territorio nacional.

La figura de los Parques Nacionales, responde a esta concepción como sede de ecosistemas que albergan geología, flora y fauna con singularidades que propician valores estéticos, recreativos, educativos y científicos cuya relevancia requiere especial atención. Declarados de interés general del Estado, los Parques Nacionales se integran en una Red de Parques Nacionales representativa de los principales sistemas naturales; sus objetivos son definidos por Ley (2014) y en el Plan Director de la Red de Parques Nacionales, instrumento básico de planificación y ordenación de los mismos, aprobado por Real Decreto en 2016.

El cumplimiento de más de cien años de la declaración de la primera Ley de Parques Nacionales en España y las sucesivas leyes que han dado lugar a la actual existencia de quince Parques Nacionales, con una superficie total cercana a 400.000 ha marcan un hito en las disposiciones legales de conservación de la naturaleza en España. Con motivo del centenario en la Revista MONTES (nº126, 2016) se ha dado una amplia información de las disposiciones legales que rigen la RED de Parques Naturales, que se complementa con entrevistas a dos técnicos especialistas en el ámbito de los Parques, el análisis de ocho directores de Parques Nacionales y una encuesta de opinión a profesionales del sector. También se abordan diferentes aspectos de carácter legal, histórico, técnico y científico con amplia información sobre las características geográficas de los parques nacionales, de los sistemas naturales- terrestres (27) y marinos (11)- representados en los mismos, geodiversidad y biodiversidad, así como referentes a su creación, problemas inherentes a su conservación y gestión e impacto social. A esta buena praxis no son ajenas la integración de los Parques Naturales en la Red Natura 2000, reconocimiento en parte de ellos de Reserva de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad y certificaciones en el ámbito del Turismo Sostenible, entre otros reconocimientos.

Los 15 espacios naturales integrados en la Red se distribuyen en 19 provincias pertenecientes a 12 Comunidades Autónomas, con una superficie total de 384.592,29 ha, que representa 0,76 % del territorio nacional: Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Archipiélago de Cabrera, Cabañeros, Caldera de Taburiente, Doñana, Garajonay, Islas Atlánticas de Galicia, Monfragüe, Ordesa y Monte Perdido, Picos de Europa, Sierra de Guadarrama, Sierra Nevada, Tablas de Daimiel, Teide y Timanfaya. En lo que sigue se recogen aspectos destacables de diversos artículos de los Directores de los parques de Picos de Europa, Ordesa y Monte Perdido, Caldera de Taburiente, Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Las Tablas de Daimiel, Garajonay, Sierra Nevada y Sierra de Guadarrama. Se complementan con otras vías de información para el resto de los Parques: Organismo Autónomo Parques Nacionales, [www](http://www.parquesnacionales.net).

El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Murici, declarado Parque Nacional en 1955, ocupa una extensión de 14.119 ha en la parte central de los Pirineos, repartido entre cuatro comarcas pirenaicas en la provincia de Lérida, en dos zonas: la oriental, de clima continental y regada por los afluentes del Noguera Pallaresa, que alimentan el lago de San Mauricio, y la occidental (Aigües Tortes), de clima atlántico de alta montaña y bañada por los tributarios del Noguera Ribagorzana.

Sus aguas, en diferentes estados y formas, los más de 400 lagos de origen glacial extendidos por su superficie, sus más de 30 habitats, su milenario número de taxones, junto a las ricas formaciones arbóreas (pinares, abetares, abedulares, hayedos), su avifauna (con la catalogación de Espacio de Zona de Especial Protección para la Aves, algunas vulnerables), ofrecen al visitante del parque la percepción de grandiosas y variadas estampas paisajísticas.

Con su constitución como nodo de LTER-España (Red de Investigación Ecológica a Largo Plazo) en el Parque se asienta una investigación ecológica, con un seguimiento en el que participan cinco instituciones, políticas y científicas.

El Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, declarado Parque Nacional marítimo-terrestre en 1991, comprende un conjunto de 19 islas e islotes del archipiélago Balear (la mayor Cabrera) con 1.318 hectáreas de superficie terrestre y 8.703 ha de marinas. El Parque está integrado en la Red Natura 2000 y declarado Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA); ostenta también la categoría de Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM). En su pasado histórico están presentes acontecimientos relacionados con fenicios, cartagineses y romanos, piratas berberiscos en el Medievo y la Guerra de la Independencia.

El parque posee una rica flora marina, con más de 160 especies vegetales, entre las que cabe destacar la pasidonia oceánica que se extiende formando praderas costeras. La superficie terrestre, el suelo con calizas, margas y dolomías es asiento de una vegetación típicamente Mediterránea, con acebuches, el boj baleárico y diverso matorral xerófilo, con bosquetes de pino carrasco y singulares ejemplares de sabina. Su flora comprende, así mismo, más de 20 endemismos. La gran biodiversidad que albergan las aguas y fondos marinos, con más de 500 especies (peces, pulpos, moluscos, crustáceos, tortugas) se complementa con la riqueza de aves que habitan en las islas, donde recalán en épocas de migración, y de reptiles terrestres.

El Parque Nacional de Cabañeros fue declarado parque nacional en 1995, siete años después de la declaración de Parque Natural. Situado en los Montes de Toledo, se extiende por una superficie de 40.856 ha en el noroeste de la provincia de Ciudad Real y suroeste de la de Toledo. Ha tomado el nombre de las cabañas de pastores y carboneros que desde tiempo inmemorial vivieron en el territorio. Propiedad de la Ciudad de Toledo entre los siglos XIII y XIX, fue entonces cuando se impuso el “humazgo”, impuesto sobre el carboneo, lo cual, unido a la adversa orografía, dio lugar a una disminución de la población.

Los materiales geológicos predominantes en el terreno son la cuarcita y, en menor medida, la pizarra. Cabe distinguir dos zonas: la raña y la sierra. La raña es una gran llanura situada en el sureste del Parque, hoy convertida en un herbazal arbolado, con algunas zonas con vegetación original. Las sierras son las zonas de relieve montañoso correspondientes al norte, el centro y el oeste del parque (650-1448 m de altura). Los melojos, generalmente adehesados se instalan en los fondos de valles, favorecidas por la profundidad y humedad edáficas; también ocupan las umbrías de las sierras en mezcla con encinas, quejigos y alcornoques, majuelos y endrinos y jaral-brezal. Sustenta el Parque una rica fauna: abundantes aves, el águila imperial ibérica, otras águilas, la cigüeña negra); es así mismo el núcleo de cría más importante del mundo de buitre negro. Es Zona especial de Protección para Aves (ZEPA) y Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Diversos mamíferos (ciervos, corzos, jabalíes, gato montés), reptiles, anfibios, peces e insectos representan su rica fauna.

El Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, en la isla de La Palma, se rige por un Plan Rector de Uso y Gestión publicado en 1986. Dos especiales hechos lo caracterizan: el circo de ocho kilómetros de diámetro, con aspecto de caldera, donde repetidas erupciones volcánicas, deslizamientos y la fuerza corrosiva del agua han dado

lugar a un paisaje escarpado con casi 2.000 m de desnivel, donde se asienta el pino canario; y una flora rica en especies de herbáceas y leñosas que tapizan extensas superficies; y que, algunas, en sus cumbres, están en peligro de extinción, y vienen siendo objeto de intensas y detalladas acciones para su recuperación.

El Parque Nacional de Doñana se sitúa al Sur de la Península Ibérica, en su mayor parte en la provincia de Huelva y una menor en las de Sevilla y Cádiz. Creado en 1969, tiene una superficie de 54.251 ha, forma parte junto con el parque natural de Doñana, de un espacio natural protegido que suma 108.086 ha, creado en 1989 y ampliado años después. Declarado Patrimonio de la Humanidad en 1994 es considerado la mayor reserva ecológica de Europa. En 2012, la Unesco aprueba la ampliación de la reserva de la Biosfera de Doñana que pasa de las 77.260 ha a más de 255.000 ha y que permite cumplir con las directrices del programa Hombre y Biosfera. Incluye la Estación Biológica de Doñana (EBD), centro dedicado al estudio de la ecología terrestre, que se creó en 1965 gracias al gobierno de España y WWF para garantizar las investigaciones científicas en los ecosistemas de la zona.

En los años 50 del pasado siglo se consolidó el parque como espacio natural. Los naturalistas españoles, Valverde y Bernis, conocidos ornitólogos mundiales y el Fondo Mundial para la Naturaleza con la ayuda del WWF ayudaron al establecimiento del Parque Nacional de Doñana, tras demostrar su importancia como zona estratégica de las migraciones de aves entre los continentes europeo y africano, y proximidad al encuentro del Atlántico y el Mediterráneo, lo que hacen del Parque especial zona de paso, invernada y cría para más de 300 especies de aves, acuáticas y terrestres europeas y africanas.

El parque posee un clima suave, de tipo mediterráneo, con inviernos relativamente húmedos y veranos secos que son resultado de las variaciones del frente polar y de las altas presiones subtropicales. Las estaciones más lluviosas son las intermedias; en primavera, y especialmente en otoño, se pueden dar lluvias torrenciales.

El alcornoque, la encina y el pino piñonero ocupan amplios espacios sin que falten un abundante número de especies arbustivas y herbáceas, más de 900, que se asientan en los ecosistemas de Doñana. El ecosistema de dunas móviles, también conocido como “trenes de dunas”, característico de Doñana, es consecuencia del fuerte viento del sureste; produce el enterramiento de la vegetación, incluso de grandes pinos que luego emergen acabando muertos

Las marismas de Doñana forman parte del complejo de Marismas del Guadalquivir y son esenciales como habitación de las aves. La deficiencia de agua (profundización y merma del acuífero) y contaminación por las extracciones de agua para regadíos y mantenimiento de cultivos intensivos, junto con la presión urbanizadora, son el principal problema del Parque, al que se añade la amenaza de incendios, potencialmente graves como lo han sido algunos acecidos en tiempo reciente.

Su rica fauna comprende peces autóctonos y especies invasoras introducidas, abundantes especies de reptiles y anfibios, y entre los mamíferos, cabe destacar el lince ibérico, especie protegida, de la que cuenta Doñana con un centro de cría, El Acebuche. Su mayor riqueza faunística reside en las más de un centenar de especies de aves descritas en su espacio.

El Parque Nacional de Garajonay, situado en la isla de La Gomera (Canarias), con 3984 hectáreas de superficie y un amplio gradiente altitudinal (650 a 1487 msnm) fue declarado Parque Nacional en 1981, y años después la Unesco lo incluyó entre los bienes que forman parte del Patrimonio de la Humanidad. Su régimen climático con escasa variación térmica anual y precipitaciones abundantes (con un mar de nubes casi constante) hace posible albergar una valiosa muestra de laurisilva, bosque húmedo de variadas perennifolias (el monte verde canario). El brezo arbóreo (*Erica arborea*) que alcanza los 20 m de altura, junto con el acebiño, el viñátigo y el palo blanco; amén de abundantes musgos y líquenes que recubren los troncos de los árboles (indicadores de la gran humedad ambiental), y un gran número de endemismos, son muestra de la exuberante flora. La fauna es rica en invertebrados con unas 150 especies endémicas, destacando también la riqueza en aves y reptiles, con las palomas rabiche y turqué como endemismos.

El Parque ha sido escenario de frecuentes incendios, con consecuencias a largo plazo: tras el incendio el suelo queda desprotegido y desagregado, es arrastrado al mar por las borras, y limitada su capacidad de sustentar un bosque maduro (centenario), con menor combustibilidad que la de los brinzales que se generen tras el incendio, y más susceptibles a incendiarse ante nuevos fuegos.

El Parque Nacional de Islas Atlánticas de Galicia comprende las islas gallegas de Ons, Cíes, Sálvora y Cortegada, con una extensión terrestre de 1.194,8 ha y una marítima de 7.285 ha. De hecho, estos nombres integran además de las islas mencionadas otras de muy pequeña dimensión que con ellas forman un archipiélago. Sus situaciones respectivas son las bocas de las rías de Pontevedra, Vigo y Arosa.

Su ocupación por el hombre parece datar de la edad de hierro, con evidencias de presencia durante el Imperio Romano, de órdenes monásticas durante el medievo y posteriormente invasiones de piratas, con vestigios de vida humana hasta el siglo XVIII. En 1980 las islas de Cíes fueron declaradas Parque Natural y posteriormente en 2002 Parque Nacional, y son también Zona de Especial Protección para las Aves (ZEA). El conjunto de Islas Atlánticas está pendiente de su reconocimiento como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. Otras islas (Tambo, frente a Marín, Sisargas, en la zona de la Costa de La Muerte) aspiran a ser integradas en el conjunto de Islas Atlánticas.

Este ecosistema marítimo-terrestre alberga un gran bosque de laurel y más de 200 especies de algas marinas. Las numerosas colonias de aves endémicas de estos parajes algunas en peligro de extinción, como la gaviota sombría y la gaviota tridáctila, son muestra de su riqueza ornitológica; a la que se añade la presencia de moluscos, corales y anémonas.

El Parque Natural de Monfragüe está situado en la provincia extremeña de Cáceres y se extiende por una superficie de 288.644 ha. Fue declarado Parque Nacional en 2007. También es ZEPA y reserva de la Biosfera por la Unesco. El nombre proviene del dado por los romanos como *mons fragorum* (monte denso)

La vegetación es típicamente mediterránea, con dehesas y abundante matorral, con impresionantes roquedos que enmarcan las masas de agua de ríos y embalses. El alcornoque, la encina y el quejigo conforman las dehesas; jaras, brezos y madroños son matorrales abundantes; enebros y cornicabras se incrustan en los roquedos; alisos y almeces bordean los cauces de agua y en las zonas más térmicas se encuentran acebuches.

En el Parque se crían más de 200 especies de vertebrados (especialmente aves), otras muchas invernán o pueden verse en paso durante la migración a otras latitudes. Cabe destacar el buitre negro, el águila imperial, la cigüeña negra, el buitre leonado, el búho real, el águila imperial ibérica, el águila real, el águila perdicera, el alimoche; todos ellos con buen número de parejas censadas que en alguna especie llega a 500. Entre los mamíferos se encuentran la nutria, el meloncillo, la garduña, el gato montés, el tejón, la jineta, el lirón y el zorro; a los que se unen venados, jabalíes y conejos y murciélagos de herradura. Varias especies de peces, anfibios y reptiles completan la rica fauna.

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, o del Río Ara, se extiende sobre un área caliza del pirineo oscense. El parque ocupó inicialmente (Real Decreto de 1918) una superficie 2.166 ha en el valle que le dio su nombre inicial, Parque Nacional de Ordesa. En 1982 se amplió hasta 15.608 ha al integrar en el mismo los valles de Pineta, Escuaín y Añisclo que se abren desde el macizo de Monte Perdido. Grandes superficies de acantilados y paredes, así como de gleras calizas, albergan un buen número de especies endémicas del Pirineo. La mezcla de influencias climáticas ha dado lugar a abundantes comunidades vegetales, con pastos muy diversificados, y bosques de diferentes coníferas y frondosas que se asoman a los 2.000 m de altitud. Sus diferentes habitats albergan una rica fauna de mamíferos (el rebeco, el oso pardo, entre otras especies) y de aves (el urogallo, el quebrantahuesos, el águila real, entre muchas otras) y de otros taxones.

El Parque Nacional de Picos de Europa, casi centenario, combina una orografía abrupta de acusadas cumbres y barrancos rocosos (que propenden a la práctica de deportes de montaña) con una exuberante cubierta vegetal, que dan cobijo a una fauna rica en especies (gran diversidad de mariposas y otros insectos, y 212 vertebrados, con especies emblemáticas como el rebeco, el oso pardo y el lobo, junto con el urogallo, el quebrantahuesos y otras aves alpinas); y una flora que cuenta con más de 1.800 taxones identificados.

La preservación de los valores naturales exige una gestión compleja dada la existencia en el parque de veinte pequeñas poblaciones, con usos tradicionales (ganadería extensiva, aprovechamiento de leñas), régimen de uso cinegético y, en parte, la condición de Monte de Utilidad Pública; junto a la presión de visitantes. Estas circunstancias impelen, a decir de los expertos, a disponer de un texto del Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG).

El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama se integra en la Red de Parques Nacionales en declaración por Ley de 2013. Pertenece a las Comunidades Autónomas de Castilla León y Madrid y ocupa una superficie de 33.980 hectáreas. Además, se ha establecido un Área de Especial Protección (7036,39) de la Zona Periférica de Protección coincidente con los Montes de Valsaín, perteneciente al Organismo Autónomo Parques Nacionales. Cabe destacar el legado histórico del Parque, los vestigios de ciudades medievales amuralladas (Buitrago del Lozoya en Madrid y Pedraza en Segovia), castillos como el de Manzanares el Real) y restos de la antigua calzada romana.

El Parque sustenta una zona de la vertiente sureste de la Sierra de Guadarrama, en el Sistema Central, surcada por el valle de Lozoya. El clima mediterráneo continentalizado se caracteriza por una gran variación térmica entre estaciones y un estío muy seco. Las rocas graníticas aplanadas por la erosión (La Pedriza con el Yelmo) configuran un paisaje muy característico en el que destaca la alineación de sus cumbres a modo de cuerdas (Peñalara, Dos Hermanas, Bola del Mundo, La Maliciosa, entre otros nombres). Tienen presencia once ecosistemas diferentes, que incluyen más de 1.500 especies de plantas autóctonas, algunas en peligro de extinción; con representación importante de pino silvestre, enebro, melojo, encina, quejigo, entre otras leñosas. Vegetación que comparte el espacio con una fauna rica en especies con abundantes mamíferos (ciervos, jabalíes, lobo ibérico, corzos, gamos, cabras montesas, tejones) y aves rapaces (águila imperial y buitre negro).

El Parque Nacional Las Tablas de Daimiel, encuadrado geográficamente en la Cuenca Alta del río Guadiana, fue declarado Parque Nacional en 1973. Sus 5.500 hectáreas se extienden por una amplia llanura de inundación (tabla) asociada a los cauces de los ríos Guadiana, Cigüela, Riansares y Záncara. Se trata de un ecosistema palustre en el que aguas sin vegetación alternan con otras de vegetación impenetrable de masiega, y praderas subacuáticas de carófitos constituidas por diferentes especies del género *Chara* conocidas localmente como ovas (obas) que cubren el fondo de las aguas, junto con grupos de arbolillos de atarjes (*Tamarix gallica*) en los islotes formados entre las aguas. Una rica avifauna, en la que cabe destacar la presencia de garzas y anátidas, entre éstas últimas el pato colorado (emblema del Parque) habitan estas aguas. La eutrofización de las aguas y, especialmente, la desecación del humedal (con producción de pequeños incendios subterráneos) por sobreexplotación de los acuíferos constituyen amenazas que han planeado sobre su conservación.

El Parque Nacional de El Teide ocupa la zona más alta de la isla de Tenerife, Canarias, con una superficie de 18.990 ha. Declarado parque nacional en 1954 es asimismo Patrimonio de la Humanidad (Unesco, 2007) y uno de los 12 Tesoros de España. Contiene la cumbre más elevada de España, el Teide, con 3.718 msnm. Su gran valor histórico va unido a los guanches que conocían al Teide con el nombre de "Echeyde" cuyo significado era "morada de Guayota el Maligno", con una leyenda cuyo relato parece coincidir con el último gran episodio eruptivo del Teide.

La geomorfología del Parque muestra dos grandes depresiones coronadas por el Teide (Cañadas) con coladas de diferentes erupciones y volcanes y montículos

repartidos por toda su superficie, que modulan un paisaje muy característico. Cabe recalcar la importancia, en cuanto a número y exclusividad, de la fauna de invertebrados, junto con un nutrido conjunto de vertebrados. La flora, estudiada por Humboldt y Sventenius, alberga 58 endemismos: el tajinaste rojo, la jara de las Cañadas, el rosál del guanche y la retama del Teide son ejemplos singulares; sin olvidar la violeta del Teide que alcanza los 2.400 m de altitud.

A lo largo de su historia, el Parque nacional del Teide ha recibido diferentes distinciones y participa en diferentes programas internacionales de asesoramiento e intercambio con otros Parques nacionales del mundo en el continente americano y a través de EUROPARK con Europa.

El Parque Nacional de Timanfaya se encuentra situado en la isla de Lanzarote, provincia de Las Palmas, en la Islas Canarias. Declarado Parque Nacional en 1974, también es Reserva de la Biosfera (Unesco, 1973) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). El Parque ocupa una superficie de 5.107 ha y cuenta con más de 25 volcanes, siendo algunos emblemáticos, tales como las Montañas del Fuego, Montaña Rajada o la Caldera del Corazoncillo. Este hábitat volcánico se encuentra en las primeras etapas de la sucesión ecológica, por lo que es un lugar excelente para el estudio de los procesos de colonización y sucesión; de hecho, alberga unas 180 especies vegetales.

Cabe reseñar la erupción que tuvo lugar en 1730 que provocó el enterramiento de varias poblaciones, terribles hambrunas y fuerte emigración. Desde entonces, el cultivo sobre la pilla para la captación de la humedad de los alisios volcánicos ha transformado la isla. La visión a corta distancia de pequeñas erupciones, que emanan a la atmósfera en forma de chorros de gas, y la cocina de alimentos con el calor que se desprende del suelo constituyen un conocido atractivo turístico.

Bibliografía básica

ANIZ M.M., MONTES (1)., FERNANDEZ LÓPEZ A.B. (2), MONTES SANCHEZ M (3)., PALOMARES A., RIQUELME OSADO P., SANJUANBENITO GARCÍA P (8), RUIZ DE LA HERMOSA (6), RUIZ DE LA HERMOSA C., ANCHEZ GUTIERREZ (7), SUAREZ F.J., ROBLEDANO, R., TORRE ANTÓN M. y SANTORI LÓPEZ A. (4), PALOMARES MARTINEZ (5). 2016. Parques: Aigües Tortes i Estany de Sant Maurici, Garajonay (2), Garajonay, Picos de Europa (4), Sierra Nevada (7), Sierra de Guadarrama (8), Ordesa y Monte Perdido (3), Caldera de Taburiente (5), Tablas De Daimiel (6). 100 años de Parques Nacionales 1916-2016. MONTES nº 16, 2016.

DIVERSOS AUTORES, 1916 a 2016. Artículos sobre los Parques Nacionales, *MONTES*

LÓPEZ LILLO A., 2016. Cien años de espacios naturales protegidos. *MONTES*, nº 126, 2016.

ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES, [www](http://www.parquesnacionales.gov.uy). Información sobre los Parques Nacionales con fotografías. ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES

RADA B., 2016. Entrevista sobre Parques Nacionales. *MONTES* nº 126, 2016.

Clima, suelo y árboles: un triángulo de relaciones mutuas

*...oscuros encinares, ariscos pedregales,
calvas sierras, caminos blancos
y álamos del río*
(CAMPOS DE SORIA, Antonio Machado)

El suelo y el clima constituyen determinantes principales de la existencia, desarrollo y evolución de los ecosistemas forestales.

La temperatura y las precipitaciones (en sus diversas formas), junto con otros agentes climáticos (viento, otros fenómenos menos frecuentes) son agentes de descomposición de las rocas que ocupan el subsuelo. Así mismo, tanto por sus valores absolutos como por su alternancia y periodicidad, el clima en su conjunto marca en grado sumo el desarrollo y el crecimiento de las plantas y, específicamente, la temperatura y la disponibilidad de agua edáfica determinan la propia existencia geográfica de las especies vegetales.

La textura y la estructura del suelo, y su composición mineral y orgánica, influyen decisivamente en el comportamiento (crecimiento y la propia presencia) de las diversas formaciones vegetales. Éstas, los árboles especialmente, en el proceso de crecimiento y secreción de las raíces, se unen a los factores climáticos en el proceso de descomposición de la roca, y con el desfronde (pérdida periódica de masa vegetal aérea) contribuyen también a la formación de suelo incorporando materia orgánica (carbono y restos proteicos) y devolviendo al suelo parte de los nutrientes minerales absorbidos por las raíces. También, las grandes extensiones de masas arbóreas influyen en el clima y, en su interior, a menor escala espacial, generan microambientes que, a su vez, repercuten en suelo y vegetación. Fue el geógrafo y científico ruso Dukuchaev, el primero en reconocer que el suelo obedece a leyes deterministas y que su estado actual se asocia a diferentes fenómenos de la naturaleza.

Estas interacciones, en ambos sentidos, pueden representarse por la figura geométrica de un triángulo escaleno, con la dimensión de sus lados variable en el tiempo, función de la cuantía relativa con la que cada factor -clima, suelo y vegetación-

contribuye al equilibrio del ecosistema; equilibrio condicionado, también, por otros agentes, tales como parásitos, fauna en general, incendios y la propia intervención humana.

Al ser el clima factor principal en la formación de los suelos, la variabilidad climática existente en la Tierra es también origen de la variabilidad de los suelos, de ahí la importancia de la delimitación de zonas climáticas. A la escuela rusa (siglo XIX) encabezada por Dokuchaev se debe la primera clasificación moderna de los suelos basada en características visibles: suelos zonales, basados en las zonas climáticas, son suelos evolucionados, formados por influencia del clima y de la vegetación clímax; suelos intrazonales, basados en el predominio de un proceso formador particular y suelos azonales, basados en el material parental, suelos inmaduros, de formación dependiente del sustrato litológico (roca madre). Los suelos zonales pueden ser de clima oceánico y de clima mediterráneo. En ambas categorías hay suelos en que la roca originaria es silíceo y otros en que es caliza.

La compleja formación de los suelos condujo a una definición atendiendo a su constitución en capas u horizontes caracterizados por sus características físicas, químicas y biológicas (color, textura, composición, otros). Un perfil de suelo tipo consta de una capa superficial, horizonte A, formada por la hojarasca, en la que se distinguen tres subhorizontes: A0, solo con materia orgánica en descomposición, el humus; A1, con mezcla de materia orgánica y mineral, y A2(o B,) capa muy lavada, zona de lixiviación en la que se produce una pérdida de sustancias que arrastradas por el agua de precipitación pasan a las capas inferiores. En profundidad se encuentran los horizontes C y D, el primero formado por la roca madre meteorizada y el segundo con la roca no alterada.

Diferentes clasificaciones de suelos se han elaborado en distintos países. Entre ellas, por su amplia difusión, cabe mencionar la Taxonomía de Suelos de los Estados Unidos (1999), ideada para clasificar los suelos de uso agrícola de EEUU

También, las zonas climáticas pueden clasificarse de forma más simple en relación con la existencia de bosques: la tundra (sin vegetación arbórea), la taiga de coníferas boreales, los bosques templados de coníferas y frondosas (incluyendo los mediterráneos) y los bosques tropicales (eminentemente de frondosas) y las sabanas, que combinan arbolado (con baja densidad) y pastizal.

En el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS - *Unified Soil Classification System*, USCS, usado en ingeniería y geología, la textura y el tamaño de las partículas de un suelo en sus posibles componentes (grava, arena, limo, arcilla y materia orgánica) son definitorios para la clasificación de los suelos, tras el tamizado de muestras representativas del suelo.

La Clasificación de Suelos IRB (International Reference Base) se utiliza a nivel mundial. Elaborada por iniciativa de la FAO y apoyada por el programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo constituye la Base Internacional de Referencia para la Clasificación de Suelos (IRB). En la Leyenda del Mapa de Suelos del Mundo a escala 1:5.000.000 publicado por FAO-UNESCO

en 1974 se definieron 26 grupos de suelos. En 1992 la IRB fue renombrada como Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB), con 28 tipos de suelos, número elevado a 32 como Suelos de Referencia (GSR9). WRB constituye La Base referencial mundial del recurso suelo 2014 con el Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la nomenclatura de suelos y creación de leyendas de mapas de suelos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, 2016).

En la WRB el suelo queda definido como “... un cuerpo natural continuo, el cual tiene tres dimensiones espaciales y una temporal y las siguientes tres características principales que rigen al suelo:

Está formado por constituyentes minerales y orgánicos e incluye fases sólida, líquida y gaseosa.» El suelo está en constante evolución, dando así al suelo su cuarta dimensión, el tiempo.

La Base Referencial en IRB incluye: Reglas para la clasificación de suelos y configuración de Sistemas de leyendas de Mapas, relacionados con requisitos de profundidad, propiedades, horizontes del suelo y materiales de diagnóstico, Clave para los Grupos de suelos de Referencia, con listas de calificadores principales y calificadores suplementarios y Descripción, distribución, uso y manejo de los Grupos de Suelos de Referencia. Finalmente figura la descripción, distribución, uso y manejo de los grupos de suelos de referencia. En buena parte de ellos se hace mención a su condición de tierra forestal, y en algunos casos al bosque como vegetación natural, con mención de alguna especie; si bien es a los posibles usos agrícolas a los que se hace mayor referencia.

En todo caso, difícil tarea resulta para el que no es especialista, extraer y destacar la información de la Base Referencial de Suelos para clasificar un suelo determinado; y, de hecho, es frecuente en trabajos no edafológicos, acudir a propiedades específicas del suelo, pero no a los nombres reconocidos en la Base Referencial de suelos.

Clasificaciones más elementales, usadas en alusiones escuetas al suelo en trabajos de índole forestal, hacen referencia al tipo de formación vegetal a la que sustenta (suelo de montaña, de pradera, de tundra, de desierto, de estepa), a su formación (eólico, aluvial, eluvial, coluvial), a su composición mineral, (suelo franco, franco-arcilloso, arenoso), a su alto contenido en agua (gley, hidromórfico), en materia orgánica (orgánico, vegetal), en sales (salino, sódico) a su pH (neutro, básico ácido, a su condición de suelo mineral). Estas denominaciones, aunque de uso corriente, solo expresan parcialmente los caracteres definitorios de un suelo.

Gran parte de lo tratado anteriormente sobre los suelos cabe incluirlo en la disciplina denominada Pedología, definida como la ciencia que estudia las propiedades de los suelos, su origen y la clasificación de los suelos. El estudio de éstos considerado como soporte de las plantas y asiento de buena parte de la vida sobre la superficie terrestre atañe a la Edafología, si bien no siempre los límites entre ambas disciplinas están bien definidos. En la praxis, la Edafología es considerada de forma generalizada como la ciencia del suelo por antonomasia. Sus principios rigen el comportamiento de

la vegetación y en conjunción (y bajo la influencia) de factores climáticos (temperatura y humedad) son determinantes del desarrollo y crecimiento de los árboles.

En este contexto se enmarca lo que sigue. En primer lugar, con mención a los diagramas bioclimáticos y a la autoecología de las especies; a continuación, se pasa revista a los factores implicados en las relaciones clima- suelo y vegetación con específica alusión a los factores edáficos que condicionan la disponibilidad de agua y al proceso de humificación, ambos muy determinantes del desarrollo y crecimiento.

Es muy destacable para el ámbito forestal el desarrollo de los diagramas bioclimáticos, basados en el cálculo de índices bioclimáticos en los que se relacionan el clima y la actividad vegetativa, es decir, la capacidad de un clima para producir biomasa vegetal, con el agua disponible y las temperaturas umbrales como factores definitorios. Desarrollados en España por Montero de Burgos y González Rebollar han sido posteriormente objeto de sucesivas por investigadores del CSIC.

La denominada autoecología de las especies forestales es herramienta importante en la caracterización de sus hábitats. En su ámbito se analiza la ecología de las especies consideradas en sí mismas con inclusión del conocimiento de su hábitat actual - suelo y clima- y la posibilidad de su extensión. En dicha caracterización se aplican parámetros cuantitativos con identificación geográfica en parcelas de la especie para la definición de su hábitat y encuadre en el tipo de suelo que corresponda siguiendo la clasificación internacional IRB de suelos; información de gran utilidad en la planificación de futuras forestaciones.

el análisis de la relación clima-vegetación se suelen valorar los efectos de los regímenes térmicos (temperaturas medias anuales, medias en el periodo vegetativo y diurnas durante el mismo) y de precipitaciones (anuales y durante el periodo vegetativo) como determinantes del desarrollo e incluso la propia presencia de una especie en un determinado territorio. Los máximos térmicos suelen producirse unidos a escasez de agua y provocan detención del crecimiento, cuando no defoliación e incluso mortandad. Las temperaturas mínimas no tienen normalmente efecto negativo durante el invierno (incluso favorecen la posterior salida de la dormancia de yemas y semillas en algunas especies), pero pueden ser nefastas si, anómalamente, rompen con el patrón fenológico de la especie (se hielan yemas foliares y florales). Las temperaturas medias, al igual que el régimen pluviométrico histórico marcan pautas de actuación.

También determinan el desarrollo de las plantas la condición del suelo como calcáreo o calizo, silíceo, granítico, arenoso, otros adjetivos, aludiendo así a la condición de la roca madre de la que procede, así como su textura, que conduce a distinguir entre suelos francos, arcillosos, arenosos e incluso orgánicos. De hecho, la textura del suelo condiciona la retención de agua y es clave, por tanto, para el desarrollo de las plantas: los suelos arenosos (partículas > 0.05 mm), dejan grandes espacios entre sí por los que se mueve el agua cuando el suelo se empapa (agua gravitatoria), pudiendo llegar a saturarse y quedar estancada en los suelos hidromórficos (suelos gley). En los suelos limosos (partículas de 0.002 a 0.005 mm) y arcillosos (partículas < 0.002 mm), quedan espacios más pequeños y en ellos queda retenida el agua (en mucho mayor grado en la arcilla): es el agua capilar, que comprende la mayor parte del agua que queda en el suelo

tras el drenaje del agua gravitatoria y constituye el agua realmente disponible para las plantas.

El agua capilar se cuantifica y su valor en un suelo se expresa con su pF, logaritmo de la presión hidrostática por cm² ejercida por una columna de agua medida en cm, concepto que relaciona el agua de un suelo con su disponibilidad por las plantas. Se afirma que un suelo está a capacidad de campo cuando, ya sin agua gravitatoria, presenta el valor máximo contenido posible de agua capilar; su valor es referencia en el riego de cultivos, plantaciones y viveros. En un suelo, el agua disponible para una planta se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento; su valor disminuye desde los suelos arcillosos a los arenosos (que actúan como coladores); es decir, la textura del suelo determina su potencial hídrico a igualdad de contenido de agua en un suelo.

Procesos químicos y biológicos intervienen en la descomposición de la roca madre y subsiguiente liberación de los compuestos minerales (porción mineral del suelo); así mismo, el material biológico muerto de un bosque (mayoritariamente desfronde) experimenta un proceso de descomposición por acción de diversos seres (artrópodos, microorganismos, otros) que da lugar a la formación del humus (porción de materia orgánica del suelo), primero como humus bruto. El proceso de humificación (formación del humus) viene determinado por la vegetación y el clima (temperatura y humedad) dando lugar a tres tipos de humus diferenciables por su estado de evolución marcado por la relación carbono a nitrógeno (C/N) que presentan.

El humus mor es el menos evolucionado; se forma en zonas muy frías y es propio de los suelos de tundra (líquenes y musgos). Presenta una relación (C/N) alta (>20) y un pH muy bajo. Se encuadra en los Leptosoles húmicos y, si se supera ese valor, en los Umbrisoles (Clasificación universal de suelos, IRB).

El humus moder es el propio de la taiga, el suelo que conforma los extensos bosques de coníferas septentrionales, con pH todavía bajo, con una (C/N) todavía elevada, pero con formación de complejos móviles, con horizontes eluviales en la parte superior del suelo: su representante más genuino son los podsoles.

El humus mull es propio de suelos de climas templados o cálidos con un complejo arcillo-húmico rico en nutrientes, con elevada actividad microbiana. El humus mull carbonatado presenta una relación C/N más baja (<12), un pH neutro o básico (>7), formado a partir de materiales calizos en zonas de alta montaña, en los que las bajas temperaturas no favorecen la evolución de la materia orgánica (suelos de estepa, pradera). Se considera forma de transición a tipos más evolucionados. Es un tipo de humus característico de los Leptosoles réndricos.

En el mull forestal la relación C/N es algo mayor (12 a 15), el complejo de saturación es más bajo (25 a 7.5). Producido en climas templados, con roca caliza muy lavada, o silíceo rica en cationes, con pH de 5.5 a 6, es propio de frondosas, cuyos restos de desfronde se transforman con rapidez, formándose una capa de materia orgánica fresca, leve, no incorporada a la porción mineral.

La arcilla y el humus forman el denominado complejo adsorbente, de naturaleza coloidal, poseedor de cargas negativas, merced a las que se adsorben los cationes liberados en la descomposición de los minerales y de donde pasan al agua del suelo (capacidad de cambio) y de ella absorbidos por las raíces de las plantas; los aniones permanecen disueltos en el agua (sin ser adsorbidos por el complejo coloidal) e igualmente pueden ser absorbidos por la planta, en un proceso de intercambio iónico. El contenido (carencia/exceso) de cationes y aniones, su capacidad de cambio, sus interacciones mutuas y el pH del suelo y la existencia de micorrizas condicionan la absorción y el crecimiento de las plantas.

El nitrógeno del suelo, aunque abundante en la litosfera, solo está disponible para las plantas el procedente de los restos de seres vivos (principalmente plantas) que conforman un bosque y otras formas de vegetación: las proteínas se descomponen en el suelo y se forma amoníaco (NH_3) e iones amonio (NH_4^+); estos por acción de bacterias nitrificantes dan lugar a NO_2^- (por Nitrosomonas) y después a NO_3^- (por Nitrobacter), que pasa a la solución del suelo de donde es absorbido por las plantas, aunque también existe evidencia de absorción directa de NH_4^+ sin previa oxidación, particularmente en coníferas. Cabe añadir que el bosque se comporta como un ciclo cerrado -ciclo biogeoquímico- en el que, se restituye anualmente 2/3 a 3/4 de la biomasa producida si no sufre perturbaciones ni, por supuesto, retirada de biomasa (madera).

Cabe terminar lo que ya el lector puede inferir de la lectura de este capítulo: la complejidad que acarrea el estudio del suelo con tan diversos aspectos, cuyo tratamiento profundo escapa a la pretensión de su autor.

Bibliografía básica

CSIC, 1998. *Mapa de Suelos de España*. Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología, CSIC.

DIVERSOS AUTORES, 2016. *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, con el Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

DUCHAUFOR Ph., 2001. *Introduction à la Science du Sol*. Paris, Dunod.

GANDULLO J.M, SANCHEZ PALOMARES O., MONTERO G., *et al*, Diferentes años. *Monografías sobre Autoecología paramétrica de diferentes especies forestales en España*. INIA.

ICONA, 2002. *Mapa Forestal de España*. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.

JARAMILLO D.F., 2012. Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*. V 1 N°1 julio 2012 • ISSN 0121-747X • Artículo de Investigación

MAPA AGRONÓMICO NACIONAL, 1962. Ministerio de Agricultura y Pesca.

MELA MELA P., 1963. *Tratado de Edafología*. Edit. Agrociencia.

MONTERO DE BURGOS J.L., GONZÁLEZ REBOLLAR J.L, 1974, 1983. *Diagramas Bioclimáticos* ICONA, pp 380.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍN, CSIC. *Revisión de los Diagramas Bioclimáticos*, 2014: <http://diagramasbioclimaticos.com>. Proyecto RNM-6401: *Propuestas metodológicas para el estudio de la distribución y dinámica Fitoclimática de los dominios forestales de la España Peninsular*.

Los hongos y los insectos en el bosque: una relación multifuncional

*El pinar se diría el sexo de la noche;
unos labios sensuales en la brisa suspiran;
la luna es como un hombro de mármol, las estrellas,
ojos azules, líricos de ilusión y sonrisas*
(LABERINTO, Juan Ramón Jiménez)

Los hongos y los insectos son, de inmediato, relacionados con el monte: los primeros por los cuerpos fructíferos (carpóforos), las conocidas setas, apreciadas y algunas también temidas; los insectos, en particular algunos, lo son por los daños que puedan infringir. Esta imagen no se corresponde en su totalidad con la real, se queda corta: ambos grupos cuentan con especies que muestran diferentes tipos de relación con los árboles y demás seres del monte; por ello pueden calificarse de múltiples los papeles que las especies de ambos grupos desempeñan en los montes, singularmente si son arbolados (bosques).

La simbiosis, el parasitismo y el saprofitismo son formas de la relación entre hongos y árboles. En el primer caso la relación presenta beneficios para ambos partícipes; en el segundo, es perjudicial para el hospedante (el árbol) cuyos tejidos y órganos enteros acaban siendo invadidos y destruidos por el hongo y se habla de enfermedad; en el tercer caso, no tiene sentido discernir entre beneficio/perjuicio para el árbol, pues cuando se establece la relación el árbol, en todo o en muy buena parte, está muerto. Las tres formas de relación forman parte de las cadenas tróficas y, a la postre, puede afirmarse que es el ecosistema el gran beneficiario de la relación para mantener el equilibrio y seguir subsistiendo.

La relación de insectos y plantas puede tener un doble sentido. El insecto puede parasitar al árbol, circunstancia que si se produce masivamente da lugar a la plaga, obviamente muy perjudicial para los árboles afectados; en ella el insecto se alimenta principalmente de tejidos del parénquima del árbol, o del jugo floemático (savia elaborada), rica en sacarosa, que extrae penetrando con un estilete en los tubos

cribosos, vías de transporte de la savia elaborada. Acción en sentido contrario es la que protagonizan algunos insectos, particularmente en bosques tropicales, también en zonas con matorrales ricos en flores de olor fuerte y color vistoso, para cuya polinización los insectos son útiles transportadores de polen con beneficio para la planta.

Así mismo puede existir una triple relación árbol (hospedante)- hongo (parásito)- insecto (vector de la enfermedad) en la que el insecto sirve de transporte e inoculador del hongo en un órgano del árbol, tal como sucede en la producción de la fumagina, micosis que afecta a los cedros parasitados por pulgones los cuales transportan las esporas del hongo y las depositan en ramillos del árbol a los que confiere un aspecto negruzco.

La simbiosis entre hongos y árboles se expresa visual y funcionalmente en la formación de micorrizas. La asociación simbiótica con determinados hongos desempeña un papel muy importante en la nutrición mineral de los árboles y de otras formas vegetales. La extensa y tupida red de células del hongo (micelio) en el interior del suelo, al conectar con ápices radiculares del hospedante (el árbol) da lugar a su engrosamiento (con frecuencia a modo de as de bastos) las micorrizas, estructuras que facilitan la absorción de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y otros) por las raíces; y, también, compiten con posibles hongos nocivos para el árbol, a la vez que contribuyen a ampliar el volumen de suelo explorado por su sistema radical. Estos beneficios conllevan un aporte energético compensatorio de carbohidratos por parte del árbol (organismo autótrofo) al hongo (organismo heterótrofo) que no puede sintetizarlos.

Las nuevas estructuras (micorrizas) tienen una vida corta (la de las raicillas del árbol en las que se forman), enmarcada en procesos de formación y lisis (destrucción) ligados a las condiciones de humedad y temperatura del suelo. Así mismo, cuando dichas condiciones son propicias, el hongo emite a la atmósfera los carpóforos (las populares setas) en los que se producen esporas que, al diseminar en la superficie del suelo y germinar, generan nuevas hifas (células del nuevo micelio) que se adentran en el suelo y establecen (en competencia con hongos nocivos) nuevas conexiones simbióticas con ápices radiculares cuyo crecimiento está regulado hormonalmente.

La formación de micorrizas es un proceso generalizado en las especies arbóreas, al menos en bosques templados y boreales. En ellos, una misma especie fúngica puede micorrizar, sin distinción, a especies arbóreas diferentes enclavadas en grupos taxonómicos también distintos, solo con las limitaciones impuestas por las características de la estación. En ellas, las hifas del hongo forman un manto externo a las raicillas, la llamada red de Hartig, atraviesan la epidermis y rodean las células del parénquima cortical a modo de cuentas de rosario (micorrizas ectotróficas). En contraste con ellas, en muchas especies usadas en agronomía y en algunas especies forestales (p.e. en el género *Eucalyptus*) las hifas penetran en el interior de las células de parénquima (micorrizas endotróficas).

El parasitismo es otra relación de los hongos y los insectos con los árboles, que puede conducir a daños severos en las masas forestales, de ahí que una buena salud de los montes sea esencial para su conservación y para el mantenimiento de su condición

de sistemas sostenibles. Cuando la magnitud de los daños perjudica sensiblemente al aprovechamiento de los recursos del ecosistema, e incluso alcanza dimensiones con gran deterioro del mismo, el técnico forestal pone en juego medidas con las que se pretende de forma muy diversa atajar, reducir, reparar los daños causados; si es factible, recuperar el equilibrio ecológico roto: es el campo de acción de la Sanidad Forestal. En su marco, junto a otros causantes de daños en los montes (seres vivos o acciones físicas), se encuadran a los insectos como plagas cuando los daños afectan a un conjunto de plantas, y se alude a enfermedades si son los hongos los causantes. Ambas pueden alcanzar en condiciones atmosféricas favorables daños cuantiosos en las poblaciones arbóreas.

La aplicación de productos químicos - fungicidas específicos en el caso de los hongos e insecticidas si se trata de plagas de insectos- ha sido el procedimiento generalizado para mantener un aceptable estado sanitario de los bosques. Sus costes, dificultades operativas y sus potenciales efectos negativos sobre el ecosistema apuntan a un cambio a la lucha biológica, basada en los mecanismos defensivos de resistencia y tolerancia de las propias plantas, generados evolutivamente en dependencia de factores genéticos y ambientales, así como de interacciones entre los componentes del ecosistema.

Las micosis son las enfermedades que revisten mayor importancia en las masas forestales. Los hongos patógenos pertenecen a diversos grupos taxonómicos; en su mayor parte tienen carácter oportunista, aprovechan la debilidad de los árboles, aunque en algunos casos pueden considerarse parásitos primarios que preceden a su muerte.

Existe un grado de especificidad variable: hongos que atacan a coníferas, otros específicos de frondosas, unos terceros son polífagos. Algunos restringen sus daños a nivel de familia (p.e. en coníferas, distinción entre especies parásitos de pináceas y aquellos otros que lo son de cupresáceas), en otros la especificidad del ataque lleva al nivel de género (p.e. en *Pinus*), e incluso a la especie. Yemas, brotes, acículas (con ápices cloróticos y necróticos) y hojas planas (con clorosis, manchas necróticas, hiperplasias y defoliación), ramillas, ramas y tronco, con bloqueo y distorsión de los tejidos conductores, formación de tallos epicórmicos y canchales anillantes y pudriciones, así como daños en el sistema radical distorsionando su capacidad absorbente y conductora de agua y nutrientes, son muestra de diferentes daños causados por hongos.

Se describen cerca de un centenar de especies de especies fúngicas que en territorio Español producen daños de diversa consideración; cifra repartida (y en muchos casos compartida) por buen número de especies de coníferas de la flora española (abetos, todas las especies del género *Pinus*, enebros y sabinas, cipreses, también de exóticas (*Cupressus arizonica*, *Chamaecyparis*, *Thuja*, *Calocedrus*, *Pseudotsuga*, *Pinus radiata*) y de frondosas (varias especies de arces, álamos, sauces, olmos, plátanos de sombra, robles en sentido amplio, serbales, prunus, tilos, haya, encina y alcornoque, castaño, carpe, nogal y un conjunto de leñosas arbustivas (acebo, *Pistacia*, *Phyllirea*, madroño, boj, rododendron) y de exóticas de hoja plana (castaño de Indias, otras especies) e híbridos del género *Populus*.

Cabe mencionar a título de ejemplos representativos de daños por hongos: hojas cloróticas y necróticas con defoliación (*Mycosphaerella* en castaño; *Melampsora* en chopos); Venturia, defoliador de guías principales en chopos; con progresiva pérdida de la copa (p.e. *Lophodermium* en pinos), deformación y muerte de brotes en pinos (*Sirococcus*, *Melampsora*), daños externos en ramas, troncos que llega a vaciar (*Hypoxylon* en alcornoques); así como de bloqueo y distorsión de tejidos conductores en el tronco (p.e. grafiosis del olmo, *Ophiostoma novo-ulmi*) y las raíces (p.e. en la tinta del castaño (*Phytophthora cinnamomi*), y con pudriciones que conducen a la devaluación de la madera afectada (p.e. *Trametes pini*, *Phellinus pini*); en ocasiones con expresión de un doble comportamiento parásito/ saprófito, como sucede en *Armillaria mellea*.

Ante los patógenos las plantas ponen en juego defensas constitutivas (dificultad de germinación de las esporas del hongo sobre la superficie de hojas y tallos, defensas estructurales a nivel de pared celular(lignificación), producción de sustancias tóxicas para el invasor). Son especialmente dianas de los ataques fúngicos (factores de predisposición) los pies con menor desarrollo (por disfunciones fisiológicas, estrés hídrico y nutricional) y las condiciones climatológicas (humedad y temperatura) que favorecen el desarrollo de los hongos. Y, por tanto, los ataques suelen ir precedidos del debilitamiento previo del hospedante lo que evidencia su carácter oportunista. La mortandad de los árboles a la que conducen sus acciones en pies viejos y debilitados forma parte sustancial del ciclo que conforma la cadena trófica del ecosistema, en la que los hongos pueden expresar un doble comportamiento parásito/saprófito.

El saprofitismo es otra de las relaciones hongo-árbol. La presencia de carpóforos en el monte sobre madera apilada, troncos y ramas de árboles secos y en tocones, denota la presencia de hongos de la pudrición (p.e. *Phellinus pini*). También están presentes en residuos de cortas, serrín, en el humus; en suma, sobre materia orgánica, en cuya descomposición participan activamente: se trata de hongos saprófitos. Algunos de ellos son parásitos facultativos que pueden comportarse como saprófitos; y es frecuente ver hongos saprófitos apiñados en la base de un tronco o sobre un tocón en proceso de pudrición, formando colonias no exentas de cierta vistosidad, ejerciendo su inexorable papel en la cadena trófica, como parte sustancial del devenir del bosque.

Los insectos, originados hace unos 480 millones de años, al mismo tiempo que las primeras plantas terrestres, son Artrópodos que agrupan el mayor número de especies vivas existentes. Desde un punto de vista fitoquímico las plantas son productoras de sustancias químicas y los insectos son fitófagos, consumidores de las mismas. Han evolucionado conjuntamente y cabe afirmar que la razón de su propia existencia radica en el excedente de biomasa producida por las plantas, contribuyendo después a su reincorporación al ecosistema en el ciclo bio-geoquímico.

El árbol se defiende ante el ataque de insectos causantes de daños poniendo barreras físicas en los tejidos al progreso de los daños, generándose necrosis y, en otros casos, con la secreción de sustancias indigeribles para el insecto, o tóxicas (resina en los pinos); se trata de defensas constitutivas. Pero cuando el ecosistema se simplifica y el equilibrio se rompe y las defensas son insuficientes a nivel poblacional, se produce la plaga que afecta negativamente a rodales e incluso a toda una masa arbórea.

El ataque de los insectos a un rodal de árboles supone que se ejerce una presión de selección sobre los pies componentes del rodal y la puesta en juego de mecanismos de defensa de carácter hormonal. En algunos casos implica la participación a tres bandas del insecto predador, el árbol y un tercer insecto normalmente parásito del primero, con complejas interacciones triples y producción de alomonas y kairomonas. A ellas se unen las feromonas, hormonas de carácter sexual, producidas por el insecto, como atractivo para favorecer el acoplamiento macho-hembra. Todas ellas son objeto de investigación científica, síntesis y aplicación en la lucha contra plagas de insectos.

Revisten especial interés las defensas inducidas o inmunitarias, apenas en el comienzo de su conocimiento. En ellas la planta reacciona al daño del insecto con la producción de señales endógenas -endoelicitores- (por ejemplo fragmentos de pared celular), que conducen a la formación de tejidos de aislamiento del daño; y con la de señales exógenas -exoelicitores- (enzimas, toxinas) por el propio insecto, el cual induce en la planta la síntesis de material defensivo. En todo caso en el ámbito de la Sanidad Forestal, deben integrarse los tratamientos selvícolas como arma complementaria de defensa, minimizando en lo posible la amplitud de la plaga y tratando de acercarse al equilibrio ecológico del ecosistema, siempre en cambio.

La abundante presencia de especies de insectos y su extensión por todos los ecosistemas forestales tras los centenares de millones de años de cambios que ha sufrido su flora y vegetación ponen de manifiesto su alta capacidad de adaptación a dichos cambios. Adaptación ligada a su gran potencialidad reproductora y a su corta vida, las cuales incluso facilitan que, si las condiciones meteorológicas no son adversas, produzcan varias generaciones anuales, en contraste con la longevidad de las especies arbóreas. A todo ello se añade el complejo desarrollo marcado por las cuatro fases de -huevo, larva, crisálida y adulto- que conforman su ciclo vital como mecanismos de supervivencia de las especies; también, en algunas su capacidad de desarrollar la alternancia de generaciones sexual y partenogénica.

En España (siguiendo la información de la bibliografía básica que se acompaña) se describen más de 150 especies presentes en los ecosistemas forestales existentes, pertenecientes a los taxones Coleópteros, Dípteros, Hemípteros, Himenópteros Lepidópteros, con daños muy diversos en severidad, extensión y frecuencia, pero que en muchos casos se convierten en plagas. De hecho, los insectos parasitan a las coníferas y frondosas que conforman las masas forestales de la flora forestal española, con especificidad o no, a nivel de familia, género y especie; y, así mismo, a las plantaciones de exóticas, en las muy diferentes condiciones de habitación marcadas por los hospedantes.

Los insectos producen, al igual que los hongos, daños en el tallo (tronco y ramas) y en yemas, brotes y hojas desarrolladas, pero afectan directamente a tejidos internos, de cuyos componentes nutritivos se alimentan, lo que conduce a reducción del crecimiento y modificación del desarrollo de la planta, que pueden conducir a su muerte. Y lo hacen en la triple condición de: insectos defoliadores (actúan sobre pies sanos en los que reducen la biomasa foliar), chupadores (obtienen el jugo celular (savia

elaborada) en el floema (parénquima y células cribosas) y perforadores (subcorticales y del leño(xilema). Así mismo, otros insectos se valen de los tejidos del hospedante para inducir en ellos la formación de agallas o cecidias (insectos gallícolas) que utilizan en su propio desarrollo (puestas).

A título representativo, en lo que sigue se alude a algunas plagas que producen daños en las masas forestales, y viveros, de España. Al menos para el profano, la procesionaria del pino, *Thaumetopoea pityocampa*, es la plaga más conocida, con amplia distribución en el área Mediterránea. Las orugas, nacidas de los huevos depositados alrededor de acículas, se hacen muy visibles por las largas procesiones en el suelo del que salen de su enterramiento, y por los bolsones blanco-sedosos que tejen en torno a la porción subterminal del tallo principal y ramas mayores de pies, mayoritariamente de repoblado de pinos, que acaban defoliando, con el consiguiente retraso en su desarrollo; daños a los que habría que añadir la alergia que produce con sus pelos urticantes su contacto en la piel. Otro Lepidópteros defoliadores destacables son *Lymantria monacha*, de amplia distribución en los continentes Europeo y Asiático, parásito de pino silvestre y algunas frondosas; y, en contraste, por su reducida área de habitación, *Graellsia isabelae*, cuya mariposa es muy codiciada por coleccionistas por su belleza.

Grandes defoliadores (y también comedores de yemas) son las orugas de *Lymantria dispar* y las orugas de otros dos lepidópteros, la lagarta verde, *Tortrix viridiana*, que parasita especies de *Quercus* y las de *Malacosoma neustria*, polífaga muy ligada a chopos, sauces y otras diversas frondosas, son también muy dañinas. Así mismo, los himenópteros *Diprion pini* y *Neodiprion sertifer*, de amplia distribución, son bien conocidos por las masivas defoliaciones que causan en repoblados de pino. Otro tipo de daños en hojas es la producción de agallas a costa del hospedante, tal como *Neuroterus* en el envés de las hojas de varias especies de *Quercus*.

Entre los xilófagos perforadores, cabe destacar daños en algunos pinos por los escolítidos perforadores *Ips acuminatus* y *Tomicus piniperda* y del tortricido *Ryacionia buoliana*, que produce malformaciones en yemas y brotes. Entre los xilófagos, cabe destacar también *Cerambyx cerdo*, cuyas larvas forman grandes galerías en la corteza de alcornoque y encina. Entre los xilófagos, las especies de *Coroebus* y el curculiónido *Cyrtorhynchus lapathi* son también muy dañinas. Dos coleópteros, también xilófagos, *Phoracantha semipunctata* y *Gonipterus scutellatus*, originarios de Australia, son bien conocidos por los estragos a que dan lugar en plantaciones de eucaliptos. Cabe destacar también *Scolytus*, género citado como vector de la enfermedad de grafiosis en el olmo como transportador de las esporas del hongo que inocula en el hospedante del que se alimenta; y, también, los daños causados por el lepidóptero *Dioryctria mendacella* en las piñas del pino piñonero.

Es oportuno subrayar que las diferentes formas de relación de hongos e insectos con los árboles a través de simbiosis y saprofitismo (hongos) y parasitismo (hongos e insectos) constituyen mecanismos implicados en el **funcionamiento de la cadena trófica**. Temperaturas, precipitaciones y otros agentes abióticos en condiciones no óptimas (las más usuales) acompañan la vida de los árboles en su hábitat natural y en las plantaciones. El estrés a que dan lugar en el árbol (especialmente cambios bruscos) producen su debilitamiento que genera más estrés y pérdidas de funcionalidad, lo que

facilita el ataque de parásitos oportunistas: hongos patógenos (con esporas siempre presentes en la atmósfera y el suelo) e insectos defoliadores y perforadores. Se crea una espiral de progresivo deterioro del árbol, en el que participa el proceso natural de envejecimiento (dependiente en parte de la longevidad de la especie) y al que contribuyen acciones antrópicas (mala gestión, efectos del cambio climático), todo lo cual - en sinergias crecientes- acaba con la muerte de los árboles, centro de la espiral.

Con la descomposición de sus tejidos, por acción de los hongos saprófitos y de una pléyade de otros agentes bióticos y abióticos se cierra el ciclo vital del árbol y se generan condiciones edáficas que propician la iniciación de un nuevo ciclo con la germinación de semillas presentes en los bancos edáfico y aéreo, a la que acompaña la de nuevos propágulos de hongos (esporas), que iniciarán una nueva relación simbiótica: el relevo producido posibilita la persistencia del bosque.

Bibliografía básica

DAJOZ R., 2000. *Entomología forestal: Los insectos y el bosque*. Mundi Prensa, pp 550.

FRANKLIN J.F., SHUGART, H.H., HARMON, M.E., 1967. Tree death as an ecological process. Causes, consequences and variability of tree mortality. *Bioscience* 37, 8, 550-556.

HARLEY, J.L., SMITH, S.E., 1983. Mycorrhizal symbiosis. *Academic Press*, pp 483.

HEYBROEK H.M., STEPHAN B.R., VON WEISSENBERG K., editors, 1982. *Resistance to diseases and pests in forest trees*. De Dorschkamp, Wageningen, Netherland, pp 36.

MUÑOZ C., PÉREZ FORTEA V., COBOS P., HERNÁNDEZ R., SANCHEZ PEÑA G. 2003. *Sanidad Forestal*. Ediciones Mundi Prensa, pp 575.

PARDOS, J.A. 1966. Micorrizas en pinos. *Anales IFIE*, pp 20.

ROMANYK N., CADAHÍA D., 2001. *Plagas de insectos en las masas forestales*. Mundi Prensa, pp 330.

TORRES JUAN J., 1998. Patología forestal. Mundi Prensa, pp 270.

ZAS R., SANPEDRO I., 2015. Resistencia de los pinos a plagas y enfermedades. Nuevas oportunidades de control fitosanitario. *Cuaderno SECF39*, 259-274.



Contaminación atmosférica y edáfica. Fitorremediación

*Al olmo viejo, hendido por el rayo
y en su mitad podrido
con las lluvias de abril y el sol de mayo
algunas hojas verdes le han salido
¡El olmo centenario en la colina
que lame el Duero! Un musgo amarillento
le mancha la corteza blanquecina
al tronco carcomido y polvoriento,
(CAMPOS DE CASTILLA, Antonio Machado)*

La visión directa de paisajes vegetales degradados o su visualización en fotografías y videos, que muestran abundancia de árboles de copas con escaso o nulo follaje, muchos de ellos secos y tronchados, provocan en el observador una sensación de desolación.

Las acciones humanas que provocan la degradación de la naturaleza se remontan a la aparición de los primeros núcleos urbanos, aunque no se habla de **polución o contaminación atmosférica** hasta la era industrial; y no es hasta el último tercio del siglo XX cuando el acusado deterioro de algunos bosques del Centro y Norte de Europa, con sustanciales pérdidas económicas, llega a constituir un problema de Estado y se asoma a la opinión pública.

Se empezó a cuestionar si el mal estado de los ecosistemas forestales era realmente debido a la denominada "lluvia ácida" (acidificación del suelo) o si contribuían al mismo otras causas: factores de predisposición que actuarían a largo plazo (suelos ácidos y esqueléticos con bajo contenido en magnesio y calcio); factores de incitación, con actuación a corto plazo (el ozono y la insolación formarían parte de este grupo), y factores que contribuirían a los daños causados por los dos anteriores, como la lluvia ácida. La alarmante mortandad en bosques con diferentes sintomatologías en estaciones diferentes ha conducido a la hipótesis de que se debe a la acción combinada del ozono y la lluvia ácida con posible incidencia de factores edáficos y ambientales (cambio climático). Agentes coadyuvantes son los insectos (defoliadores especialmente) y los hongos; y más episódicamente la sequía, el viento y la radiación.

Los contaminantes atmosféricos son tanto de naturaleza antropogénica (combustión, actividades industriales) como naturales (erupciones geotérmicas, fuegos forestales, partículas de origen biótico, microbios, virus). Metales pesados, sales

inorgánicas (sulfatos, sulfuros, nitratos, amonio) y compuestos orgánicos, en forma de partículas y compuestos gaseosos, tales como óxidos de nitrógeno, azufre y carbono, ozono, haluros, compuestos PAN (peroxiacilnitratos), forman parte destacada de los polutantes de importancia potencial en los ecosistemas forestales.

El decaimiento de la masa forestal se manifiesta por decoloración del follaje (clorosis) con defoliación posterior, reducción del crecimiento particularmente del eje del árbol (tronco) y ramas primarias, y pérdida de estructuras reproductivas; debilitamiento que propicia el ataque de insectos y hongos, que suelen acabar con la vida del árbol afectado. El aspecto senil de árboles jóvenes, la proliferación de brotes adventicios y abundante producción de frutos y semillas (*búsqueda de perpetuación de la especie*) son etapas que preceden a una mortandad generalizada. Los árboles dominantes y las situaciones de borde, con árboles más expuestos a la luz y al aire, son más proclives a los daños.

La deposición ácida (lluvia ácida) consiste en la transferencia desde la atmósfera a la superficie terrestre en forma húmeda o seca de ácidos fuertes (sulfúrico y nítrico) y compuestos a que estos dan lugar, procedentes de emisiones gaseosas de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (por combustión de combustibles fósiles, procesos industriales), y de amoníaco procedente de la emanación del estiércol y fertilizantes nitrogenados. La deposición ácida cambia la composición de los suelos y puede conducir, por una parte, a carencias de magnesio y calcio (susceptible de recuperación con enmiendas de carbonato cálcico); por otra, parte, al descender el pH, se solubiliza el aluminio, muy tóxico para la biota terrestres y acuáticos. La deposición húmeda de nitrógeno conduce a una acumulación inicial en el suelo y a su posterior aumento en las aguas de escorrentía.

La forma y vía de entrada del polutante en el árbol son determinantes en su acción. La principal puerta de entrada (70%) es a través de los estomas en la cara abaxial de las hojas. La cutícula que cubre las hojas es también vía de penetración, especialmente cuando la acción del polutante es crónica, pues se altera la mojabilidad de la hoja al favorecerse con el tiempo la degradación natural de las ceras que la cubren; llegan a taponarse los estomas y provocarse la caída prematura de la hoja. Si el depósito inicial del contaminante tiene lugar sobre una hoja seca con el tiempo puede eliminarse por lavado; si, por el contrario, la hoja está mojada, el agua depositada sobre la cutícula o sobre las paredes de las células epidérmicas (embebidas en agua) son el sumidero inicial de los gases atmosféricos, de modo que la solubilidad del gas en agua es factor importante de su flujo.

Los procesos implicados en la reproducción (germinación del polen, producción de frutos, germinación de semillas) se ven también afectados por la deposición ácida, y con pH entre 3 y 4,2 pueden ser letales. Así mismo, la lluvia ácida y la deposición en el suelo de metales tóxicos (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) e hidrocarburos poliaromáticos alteran las comunidades micorrícicas; ello se considera posible factor contribuyente en la declinación de los bosques.

Junto a los contaminantes aludidos, el ozono requiere una especial atención. La producción de ozono está relacionada con el smog (niebla) fotoquímico producido al interaccionar en la atmósfera óxidos de nitrógeno (principalmente NO) procedentes de emisiones industriales, calefacción y tráfico con compuestos orgánicos volátiles bajo la luz solar, dando lugar a la formación de cientos de compuestos químicos (entre ellos los compuestos PAN) con efectos tóxicos sobre el ambiente y seres vivos. Esta “niebla” es común en zonas (p.e. en valles) en las que la topografía dificulta el movimiento del aire y las condiciones atmosféricas (p.e. inversiones térmicas en la troposfera) contribuyen a atrapar los polutantes formados. En el ciclo fotolítico de NO₂ (formado por oxidación de NO) y por acción de radicales libres muy reactivos (OH·, H· y HO₂·) fotoquímicamente producidos, se regenera NO₂ y se produce ozono que se acumula en la atmósfera.

El ozono es el contaminante atmosférico más extendido en los bosques de la Tierra. Es muy fitotóxico a elevadas concentraciones, con efectos crónicos, cuya intensidad depende de factores meteorológicos, tiempo de exposición, especie vegetal, edad, y posición de la hoja, siendo en general más sensibles las frondosas que las coníferas. Se han desarrollado modelos para la deposición de ozono en ecosistemas forestales con algoritmos en los que se incluye la conductancia estomática de las hojas; y se han elaborado mapas de riesgos potenciales de daños en masas forestales a escala regional.

Existe abundante literatura sobre los efectos del ozono sobre las especies forestales a nivel morfológico, fisiológico y bioquímico; información generada mayormente en experimentos practicados con plantas jóvenes, en envase y periodos de tiempo cortos, con producción de síntomas semejantes a los derivados de heridas (producción de etileno) y descenso de la fotosíntesis. Los principales síntomas externos, a largo plazo, provocados con concentraciones bajas son cambios en la pigmentación (bronzing), clorosis (bandas en las acículas), senescencia prematura y caída de hojas y flores; a corto plazo, exposiciones agudas originan decoloración (bleaching), moteado (flecking) y necrosis; así mismo disminuye el crecimiento y la productividad del ecosistema. En algunas especies se ha evidenciado la interacción entre ozono y CO₂, y un efecto detoxificante de este último, si su concentración atmosférica es alta; lo que se traduce negativamente en la abscisión de las hojas y la reducción de su pérdida; efectos importantes ante el cambio climático.

Cabe resaltar el papel desempeñado por los factores genéticos en la tolerancia versus susceptibilidad de los árboles a la contaminación, con diferencias marcadas entre especies, en términos de desarrollo y capacidad reproductiva. A nivel de población pueden perderse genotipos sensibles a la contaminación, con la consiguiente reducción de heterocigosidad, característica tan importante en la preservación de la adaptabilidad a los cambios ambientales a que se ven sometidas los árboles por su larga vida y condiciones de inmovilidad. El establecimiento de zonas de reserva, bajo diferentes ecologías, que hagan posible el desarrollo de diversidad genética y adaptabilidad a contaminantes; la conservación ex situ mediante el establecimiento de plantaciones del material deseado; y también, en condiciones controladas (bancos de polen, semillas y explantes in vitro) son posibles vías para afrontar problemas derivados de la contaminación en los bosques.

Las alarmas sobre el estado de los bosques disparadas en los años sesenta del siglo XX condujo a la puesta en marcha en 1985 de un "Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques" (ICP-Forests) con participación de 35 países europeos (entre ellos España), Canadá y Estados Unidos. Se ha llevado a cabo el seguimiento del estado de los bosques desde 1986, con el establecimiento de un abundante número de parcelas, en las que con dos niveles de intensidad y detalle se toman y analizan datos. que representan la evolución del estado sanitario de las principales especies arbóreas.

Respecto a valores de contaminantes medidos en bosques europeos cabe destacar los siguientes datos. La concentración de ozono sigue un gradiente positivo de norte a sur con un rango de valores medios medidos de 19 a 64 ppb, con los lugares más contaminados en condiciones de presión alta, sol intenso y elevada temperatura, como España. Se utiliza como referencia el índice de exposición AOT40 (suma de las concentraciones horarias de ozono que superan el umbral de 40ppb, 1ppb= 1 nl. l⁻¹ en el periodo Abril- Setiembre- periodo vegetativo-, con horas de luz > 50 W.m⁻²). El valor medio calculado de AOT40 para el periodo 2000-2013 fue de 2 a 67 ppmh, considerándose 5 ppmh el umbral que no debe sobrepasarse para proteger un bosque.

La deposición de nitrógeno tanto en forma de NH₄ como de NO₃ es elevada en el Centro de Europa, con máximos de 17.6 kg N ha⁻¹; mínimos en el Norte del continente de apenas 1 kg ha⁻¹, y puntualmente máximos de 26.7 kg N ha⁻¹ de NO₃ en España. La deposición de azufre (SO₄ – S) es elevada en diferentes países de Europa entre ellos España, con un máximo de 26.7 kg S ha⁻¹ año⁻¹.

En España, la participación en la Red Europea ICP ha dado lugar a la creación de una red de parcelas para el seguimiento intensivo y continuado de las perturbaciones a nivel de impacto directo (SO₂, NO₂ y O₃) sobre las copas de los árboles (defoliación) y sobre la evolución de los suelos (acidificación y eutrofización por exceso de aporte de nitrógeno); y, también, impacto en las relaciones de dichos factores con otros factores de estrés (plagas y enfermedades) y sobre los factores ecológicos, químicos e hidrológicos de los sitios de ensayo.

Cabe también mencionar el seguimiento de las parcelas específicamente establecidas para analizar los efectos de la contaminación derivados de las emisiones la Central Termoeléctrica de Andorra (Teruel), otras centrales térmicas (Escucha, Velilla del río Carrión Sierra de Guadarrama) y de las CC. TT. de As Pontes y Meirama"(Galicia), así como el estudio sanitario de los hayedos de Navarra. En los dos primeros casos se han detectado incrementos en emisiones de SO₂ y en el tercero defoliación por ozono.

En términos generales, en el último informe de ICP Forests (2014) referido a Europa se constata que el 85,1% de los árboles presenta un estado saludable, con un grado de defoliación (el factor más representativo de su estado) entre 0 y 25% de la copa, con ligeros descensos tanto en coníferas como en frondosas. Se detectan altibajos interanuales que se relacionan con sequías anormales y mayor incidencia de insectos; en cualquier caso, con diferencias entre regiones climáticas y especies. En frondosas

deciduas, el roble pedunculado y el sésil, y en las especies siempre verdes la encina, el alcornoque y la coscoja muestran el mayor deterioro. La defoliación más baja se encontró en el pino silvestre y en pinos mediterráneos (carrasco, rodeno y piñonero).

Los parques y vías urbanas (ver capítulo 4) experimentan también los efectos de los contaminantes atmosféricos: partículas de polvo de pequeño tamaño ($10^3\mu\text{m}$ y $10^2\mu\text{m}$) en suspensión hollín, humos, nieblas y el smog, así como los contaminantes antes mencionados para los montes. Cabe destacar la contaminación por NO_x , principalmente NO_2 , entre los gases más perjudiciales emitidos en calefacciones y tráfico rodado. Cabía añadir el ruido como forma particular de contaminación atmosférica en las grandes ciudades.

Contaminantes todos, ante los cuales el arbolado desempeña un papel protector tanto por el espacio que ocupa como por el efecto descontaminante de los suelos por la absorción y, en muchos casos, de retención de contaminantes edáficos en la **Fitorremediación**.

La percepción de la **contaminación de los suelos** y las aguas continentales y oceánicas es noticia diaria en los medios de comunicación. La restricción en los vertidos y el reciclado de productos de toda clase concentran la atención de los gobiernos en un intento de detener la marea de residuos que inunda la naturaleza. Las nuevas tecnologías (impresión 3D) acuden en apoyo del empeño industrial en el uso de residuos y productos reciclados como materia prima para la fabricación de nuevos productos en sectores impensables hace no ya decenios, sino semanas.

El uso de vegetales en la descontaminación de los suelos y las aguas, no tan novedoso, desempeña un papel ecológico de importancia para pequeñas poblaciones y cultivos. Con la expresión Ingeniería Ecológica se hace referencia al diseño y gestión de ecosistemas sostenibles utilizando los ecosistemas como interfaces entre la tecnología y el medio ambiente. En este contexto, se ha acuñado el vocablo fitorremediación para referirse al conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que ayudan a la recuperación de sustratos (suelos y aguas) contaminados mediante plantas vasculares, algas y microorganismos (biorrecuperación). En su aplicación, aunque implícitamente se piense en suelos no urbanos (agrícolas, forestales, incultos), pueden incluirse los árboles de las ciudades y el conjunto de polutantes presentes en un monte.

Los contaminantes existentes en los suelos pueden absorberse directamente por la planta, y acumularse (y llegar a degradarse) en su interior, o ser degradados en la rizosfera (porción de suelo en estrecho contacto con las raíces absorbentes) por microorganismos presentes en la misma que aprovechan los exudados de las raíces. Se trata de una biodegradación bacteriana, a menudo independiente de la absorción radicular, en la que los exudados radiculares promueven la biodegradación de los contaminantes estimulando la actividad microbiana. La fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos mediante herbáceas de pastizales y la de ecosistemas semiáridos mediante especies arbustivas o herbáceas perennes mediante la eliminación de tóxicos (rizodegradación) son ejemplos bien conocidos de estas acciones.

Un conjunto de términos ha aflorado en torno al fenómeno de la fitorremediación y se han distinguido diferentes clases de la misma en consonancia con el proceso implicado y beneficios derivados del mismo. En la fitoextracción se absorben y acumulan en hojas y tallos los contaminantes, a menudo metales pesados (plomo, cadmio, níquel, aluminio), que se recuperan al cosechar la planta y, después, incinerarla (fitominería). Si absorbido un contaminante tóxico para la planta se degrada metabolizándose por acción de enzimas, se habla de fitotransformación o fitodegradación, que cuando la degradación da lugar a la formación de sustancias volátiles (que se emiten a la atmósfera) se emplea el término fitovolatilización; y si la degradación se produce en la rizosfera, el fenómeno se denomina rizodegradación). Así mismo, en ambientes húmedos, se pueden descontaminar los suelos anegados por absorción del agua libre por las raíces (fitofiltración o rizofiltración). Con especies con elevada transpiración (alto bombeo hidráulico ascendente en el tallo) se puede reducir la escorrentía y agua subsuperficial y la migración de contaminantes, y limitar el proceso erosivo (fitoestabilización). Cabe también reducir la dispersión de contaminantes mediante su adsorción (no por absorción), o mediante la adición de compuestos orgánicos o minerales, naturales o artificiales; se pueden también quelatar los contaminantes con ligandos específicos para reducir los iones libres. Cuando la fitorremediación se aplica a la restauración completa de suelos contaminados se habla de fitorrestauración, en la que se pretende revertir un ecosistema a su condición primigenia.

El bajo coste, el manejo de prácticas agronómicas convencionales exigido y el fácil seguimiento hacen muy asequible la aplicación de las diferentes técnicas de fitorremediación a grandes superficies de suelo en el ámbito de los cultivos especialmente de forrajeras y, en general, de plantas herbáceas, aunque su efectividad queda limitada a la profundidad ocupada por las raíces. En el caso de especies leñosas, particularmente arbóreas, y en el ámbito forestal, al prolongarse su desarrollo durante años, comúnmente décadas, se requieren inversiones considerables en tiempo, por lo que su puesta en práctica queda mayormente restringido a especies de crecimiento rápido.

El uso de árboles en fitorremediación se remonta al comienzo de la década de los noventa del siglo pasado, particularmente proyectado a suelos contaminados con polutantes inorgánicos (cromo, cadmio, plomo, zinc) y orgánicos. Entre estos últimos cabe mencionar: TCE (tricloroetileno, compuesto VOC (en inglés, Volatil Organic Compound) tóxico y muy volátil); TNT (trinitrotolueno, explosivo muy tóxico, de difícil eliminación), PAHs; hidrocarburos poliaromáticos, muy tóxicos, como el naftaleno, el antraceno y el fenantreno, insolubles en agua, ubicuos y con escasa movilidad en el medio ambiente, productos de fuentes naturales, creosota y de la quema de biocombustibles y residuos de cosechas y, también, generados en fuegos salvajes; MTBE, tert-butil-metil-éter, líquido volátil e inflamable, soluble en agua, usado como aditivo de la gasolina.

Sauces (para cadmio), álamos y otras frondosas de crecimiento rápido (eucaliptos para cadmio) son especies forestales de plantaciones destinadas a la producción de biomasa, que han sido desde el principio muy usadas en su condición de especies fitorremediadoras de iones minerales tóxicos (Zn, Cd, Pb, Cr); a las que se han unido algunas leguminosas (falsa acacia, *Mimosa*, *Anadenantera*, la jagua (*Genipa*

americana), árbol oriundo del NO de América del Sur. Existen también plantaciones de eucaliptos con fines de rizodegradación en suelos con naftaleno (en la cercanía de refinerías de petróleo) y se han utilizado eucaliptos, álamos y algunos pinos en suelos contaminados con MTBE; también especies arbustivas, en el caso de contaminación por compuestos PAH.

Las especies riparias de *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus* con altas tasas transpiratorias y, en consecuencia, gran bombeo de agua, extraen agua de cauces con contaminantes y por su capacidad de remediación protegen de los mismos a los cultivos existentes a ambos lados de los cauces. Con la plantación de álamos entre un campo de maíz y un arroyo (en la bibliografía citada) se ha conseguido una reducción de nitratos en las aguas superficiales, con un descenso de 150 mg l⁻¹ de nitratos medidos en el borde de un maizal a 3 mg l⁻¹ de nitratos entre los árboles.

Cabe hacer alusión explícita a la propagación clonal y a la ingeniería genética como puertas de aplicación a la remediación con especies arbóreas: el uso de *Agrobacterium rhizogenes* para la transformación genética de raíces y la mineralización de compuestos fenólicos y tricloetileno. Especial interés reviste también la modificación genética en *Populus tremula* por incorporación de un gen de la bacteria *Pseudomonas putida* para la reducción de trinitrotolueno en el suelo: los árboles modificados toleran una concentración cinco veces superior y doble referida a peso de suelo. Estos resultados, todavía en fase experimental, abren un cauce de actividades poco desarrolladas en el sector forestal español.

Bibliografía básica

Polución

HARTMAN G., NIENHAUS F., BUTIN H., 1988. *FortbatlasWaldschäden. Diagnose von Baumkrankheiten*". Eugen Ulmer Gmb H & Co., pp 256.

LUZIER T., HAINE S.G., (edt.), 1990. *Mechanisms of forest response to acidic deposition*. Springer- Verlag.

MONTOYA R., LÓPEZ ARIAS J.M., 1998. *La Red EUROPEA de seguimiento de daños en los bosques* (nivel I), DGCONA, pp 557.

PARDOS J.A., 2006. La contaminación atmosférica y los ecosistemas forestales. *Anales INIA, Fuera de Serie*, 55-70.

PEÑA J.M., 2001. *Estudio de la contaminación atmosférica en los bosques*. DGCONA pp 425.

SMITH W.H., 1981. *Air pollution and forests. Interactions between air contaminants and forest ecosystems*. Springer. Verlag, pp 394.

Contaminación edáfica y fitorremediación

ARONSSON P., PERTTU K., 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *Forestry Chronicle* 77(2): 293-299.

PENG X.C., 2012. Lead tolerance and accumulation in three cultivars of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*: implications for phytoremediation. *Environm. Earth Stud.* 67 (5): 1515-1520.

SEOANEZ, M., 1999. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Mundi-Prensa, pp 352.

STOMP M.A. *et al*, 1993. Genetic improvement of tree species for remediation hazardous wastes. *In vitro Cellular & Development Biology -Plant.* 29(4):227-232.

VAN DILLEWIJN P., *et al*, 2008. Bioremediation of 2,4,6-Trinitrotoluene by Bacterial Nitroreductase Expressing Transgenic Aspen. *Environ. Sci. Technol.*, 42 (19), 7405–7410.

XINGMAO M., 2004. Phytoremediation of MTBE with hybrid poplars. *Int. J. Phytoremed.* 6 (2): 157-167.

Los incendios en los montes

*El hombre de estos campos que incendia los pinares
y su despojo aguarda como botín de guerra
antaño hubo raído los negros encinares
talado los robustos robledos de la tierra*
(POR TIERRAS DE ESPAÑA, Antonio Machado)

Incendios y montes componen, lamentablemente, un binomio en las referencias mediáticas al paisaje y a los sistemas forestales. El fuego - natural y antrópico - ha acompañado a los bosques a lo largo de la historia del hombre, hecho del que son buena muestra los incendios acaecidos en las civilizaciones asentadas en la cuenca Mediterránea. En la actualidad, la magnitud de las cifras referidas a superficies quemadas, virulencia y frecuencia de los fuegos y, a la postre daños causados, repetidas año tras año, con gran dramatismo en términos de personas fallecidas en los trabajos de extinción o por azarosa situación geográfica, sobrepasan cualquier referencia a tiempos pasados. La superficie mundial afectada por incendios forestales en el periodo 2001-2004, usando datos del sensor MODIS (que permiten calcular el área quemada mensualmente) se ha estimado en $(2,97- 3,74) \times 10^8$ ha; en FAO (2009) se da una cifra global de 350×10^6 ha de superficie anualmente dañada por incendios. Para el periodo 1980-2008, la emisión de carbono por incendios forestales para el conjunto de países integrado por Francia, Grecia, Italia, Portugal y España se ha estimado en $13,6 \text{ Gt año}^{-1}$ de CO_2 , ($1 \text{ Gt} = 10^9 \text{ t}$) de las que $1,7 \text{ Gt}$ corresponderían a España.

Estas cifras y muchas otras, con mayor especificidad en cuanto a extensión geográfica y tipos de formaciones vegetales y especies arbóreas afectadas, muestran la frecuencia de los incendios forestales, a nivel anual, estacional, incluso diario, con referencia a condiciones meteorológicas (viento, precipitaciones, otras) y topográficas y edáficas. Son datos que pueden obtenerse en el Anuario de Estadística Agraria publicado por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, así como, más específicamente, los facilitados por cada Comunidad Autónoma. Las cifras – cientos de miles de hectáreas quemadas, algunas en un solo año y repetidas varios años, miles de incendios contados también en un solo año- jalonan la historia de los montes de España, al menos desde mediados del siglo pasado.

¿Reflejan realmente las terribles cifras contabilizadas la magnitud de los incendios forestales como fuerza de la naturaleza? Multitud de indicios conducen a un *no* de respuesta en un porcentaje elevado de incendios, mayoritariamente en los megaincendios en que se producen al unísono varios focos iniciales del incendio, distantes entre sí, en algunos casos en nocturnidad. El rastreo y pesquisas en las superficies incendiadas por parte de especialistas en la búsqueda de los orígenes de eventos en los que confluyen la condición anómala y su repercusión social y económica, junto con las aportaciones de la guardería forestal y los informes técnicos en el ámbito forestal apuntan en su origen a acciones humanas: descuidos, roza del monte para favorecer los pastos, venganzas personales, pretensión de conseguir un cambio de calificación de los montes, acción de perturbados, acciones de terrorismo. Sin olvidar las condiciones meteorológicas, particularmente temperatura, humedad edáfica y atmosférica y viento, factores siempre determinantes del inicio, la persistencia y el término final de un fuego en un monte.

..... Los incendios en los bosques, cuyo origen es una causa natural (régimen de tormentas con profusión de aparato eléctrico), ofrecen una concepción muy diferente a la señalada en el párrafo anterior. En este caso, cuya frecuencia y extensión espacial son menores, los incendios forman parte de la ecología de muchos bosques, y configuran su estructura al afectar la mortalidad y la regeneración de los árboles. En un fuego se produce emisión de CO₂, primero en la combustión de la biomasa vegetal, y después (con mayor intensidad y durante décadas) en el posterior proceso de su descomposición; y en él, el ecosistema pasa de sumidero a fuente de carbono. En el ciclo natural del bosque, con la regeneración de la masa forestal se vuelve a incorporar carbono en el ecosistema (por fijación de CO₂) que revertiría a su condición de sumidero; y si la masa forestal se regenera por completo se alcanzaría en el ecosistema el nivel de carbono previo al incendio. Sin embargo, las alteraciones medioambientales inherentes al cambio climático (entre ellas mayor frecuencia e intensidad de los fuegos), los aprovechamientos de madera, otras perturbaciones y los posibles tratamientos de la masa arbórea, alteran el proceso y el ecosistema *domesticado* no alcanza plenamente el equilibrio.

..... De hecho, las emisiones de CO₂ por incendios (de toda condición) han tenido influencia en el ciclo global del carbono a lo largo de la historia de la Tierra. Actualmente está bien constatado un incremento actual de estas emisiones por el aumento de temperatura ligado al cambio climático, aumento a su vez dependiente del incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) -entre otros CO₂- por el uso de combustibles fósiles. La sequía y el carbono negro de las partículas emitidas en el incendio, tienen por otro lado, efectos de calentamiento de la atmósfera baja y media. En la concatenación de estos sucesos se reduce la captura de carbono y la consiguiente reducción de la tasa de crecimiento en la masa forestal, lo que tiene efectos sobre el cambio climático, evaluados en decenas de años. Tras el fuego, los árboles remanentes (particularmente los añosos) podrían comportarse como sumideros de carbono al aumentar el CO₂ atmosférico si se asume un efecto fertilizante de CO₂.

..... El tipo de formación vegetal (arbórea, arbustiva, matorral, herbácea) es factor determinante en la severidad y propagación del incendio. En una masa arbórea, son factores que condicionan la propagación de un incendio la especie arbórea, la estructura de la masa, el método de beneficio, las clases de edad y el estado sanitario (bueno,

depauperado por perturbaciones) de la masa; todos ellos configuran el dosel de copas. A ellos hay que añadir la densidad del substrato herbáceo y de matorral y las condiciones edáficas y meteorológicas (temperatura, humedad, viento) que permite su mayor o menor desarrollo y presencia.

..... En la opinión pública, la pregunta sobre la causa (causante) de un incendio va seguida de preguntar el por qué no se ha tratado de evitarlo (o al menos paliarlo) poniendo en juego medios preventivos. Efectivamente, cuestión básica en la lucha contra los incendios es la posible puesta en marcha de medidas de prevención, difícil asunto ante un fenómeno tan complejo. Todas ellas deben enmarcarse en un contexto selvícola en forma de prácticas operativas integradas en la gestión técnica de los montes.

..... La limpieza del monte, frase convertida en mantra de acusación (por escasa) a los servicios forestales, es práctica selvícola efectiva, aunque no exenta de barreras para su ejecución. Su coste manual es, en muchos casos, cuantioso en términos económicos y, más puede serlo en la pérdida de equilibrio ecológico a la que puede conducir en algunos casos. El uso de mamíferos herbívoros pastantes (caballos, cabras, otros) es una opción de limpieza practicada con cierto éxito en zonas con abundante vegetación arbustiva y herbácea.

El mantenimiento de espacios abiertos, sin vegetación, bien formando fajas cortafuegos (de preferencia siguiendo líneas de máxima pendiente y divisoria de aguas), bien otros salpicados en la masa (si ésta tiene una extensión considerable), en suma, creación de espacios que impidan el avance del fuego al llegar a los mismos, son prácticas selvícolas, de hecho, ampliamente practicadas, que deben tenerse muy en cuenta. Todo ello cumpliendo las disposiciones legales establecidas al respecto y sin olvidar las premisas de no prender fuego en situaciones de espacio y tiempo que puedan favorecer el incendio y no dejar madera y restos de corta que así mismo incidan en ello.

..... Los resultados de diversos trabajos en bosques templados abogan por llevar a cabo fuegos prescritos, en algunos casos (bosque de tipo seco) en combinación con claras, con el fin de reducir la carga de combustible, incrementar la resiliencia del bosque y beneficiar, a largo plazo, la gestión del carbono. Exigen un riguroso control en la correcta definición del momento de aplicación (condiciones atmosféricas) y en la forma material de llevarla a cabo con previsión de posibles imprevistos (viento, ascenso térmico brusco). Los beneficios de los fuegos prescritos entrarían, sin embargo, en conflicto con la mitigación del carbono ante el cambio climático, cuya captura se vería reducida al afectar la dinámica del carbono en los bosques a corto y largo plazo.

..... En este contexto se han desarrollado modelos de simulación de incendios, globales y regionales, que suministran información de utilidad para la puesta en marcha de actuaciones preventivas de detección y combate del fuego. Los modelos de predicción del consumo de combustible (pirólisis y combustión), en relación con la forma y volumen de la copa de los árboles y capas edáficas de materia orgánica y restos de madera descompuesta que contribuyen a las emisiones, pueden aportar información muy útil en la gestión forestal.

Los modelos cobran especial significación al evaluar los impactos del cambio climático sobre el potencial de incendios bajo múltiples escenarios de cambio climático, comúnmente concentraciones x2 y x3 de la concentración actual de CO₂ atmosférico. La

frecuencia de los fuegos y la estructura y capacidad de recuperación de la masa (especie y edad) son factores condicionantes de los resultados y, en consecuencia, de las decisiones de gestión post-incendio.

Las simulaciones con datos de los últimos 20 años sugieren que, en muchas zonas geográficas, el clima se tornará más seco en las próximas décadas y conducirá a una actividad de incendios próxima al límite superior del rango de incendios en la era preindustrial; hecho que si va ligado a un aprovechamiento no sostenible del bosque pondrá en riesgo su resiliencia en el futuro. Se proponen el desarrollo de intervenciones selvícolas con las que se emulen alteraciones secundarias (viento, insectos) necesarias para mantener las características de los bosques (composición y clases de edad) asociadas con la resiliencia.

..... El aumento de episodios de sequía y combustible, ligados al cambio climático, junto con la despoblación rural, conducen a señalar un mayor potencial de peligro de fuego en extensas áreas del Mediterráneo, con incremento de las áreas quemadas anualmente. La identificación de las relaciones entre la producción y persistencia del incendio con el tipo de cubierta vegetal (susceptible de cambios a una mayor xerofitia por el propio fuego) y los modelos de circulación atmosférica derivados de los datos del Meteosat abren una vía prometedora para construir mapas de riesgo de incendios en el Mediterráneo.

La inmediatez en la detección de los focos de fuego iniciales es fundamental en la lucha contra incendios forestales. La red de torres de vigilancia que cubre en España todo el territorio forestal posibilita una información a tiempo real con la precisión cartográfica de la situación del incendio suministrada por el servicio informático especializado en la lucha contra incendios. Ello hace posible una pronta puesta en marcha de las medidas de combate con el envío de brigadas terrestres y de medios aéreos especializados para la carga, transporte y liberación de agua en las áreas incendiadas, con frecuencia montes escarpados, lo que exige gran pericia y la asunción de riesgos dada la baja altura de los vuelos que conlleva su eficacia.

Especial atención merecen los llamados megaincendios, sucesos de gran magnitud ligados a condiciones meteorológicas previas al incendio, que prevalecen durante el mismo. La existencia de grandes volúmenes de biomasa con combustible incendiabile, en un clima en cambio y sequía prolongada; confieren escasa defensa a las barreras físicas naturales y artificiales (cortafuegos, siembras de especies ignífugas). La reducción del combustible mediante acciones selvícolas (claras) y fuegos controlados son prácticas preventivas puestas en juego.

Al término de un incendio el uso de imágenes de satélite ofrece información sobre la severidad del mismo (de particular utilidad en megaincendios y zonas de acceso dificultoso) para la toma de decisiones post incendio. Los efectos causados por los incendios y posibles acciones de restauración son, junto con la prevención, los puntos clave en la actuación de los técnicos forestales.

.....Cabe aludir, también, a los incendios sin llamas, que se producen en ecosistemas como marismas, pantanos y zonas extremadamente húmedas en las que se almacenan considerables cantidades de carbono en el suelo (en España, el Parque Nacional Las Tablas de Daimiel). Cuando la sequía del suelo es extrema puede tener lugar en el mismo

una combustión sin llamas con pérdidas sustanciales de carbono y visible liberación de CO₂ a la atmósfera.

El aspecto desolador que muestran las áreas forestales tras fuegos severos y persistentes es bien conocido: copas defoliadas, minimizadas, con pérdida de ramillas, en menor medida soflamadas y en cualquier caso sin asomo de vida; y tronco y ramas ennegrecidas, cadáveres en pie. La brotación de yemas durmientes o la inducción de nuevas en la base del tronco, o de las raíces, existente en algunas especies leñosas, arbóreas y arbustivas; también otras formas de propagación vegetativa, y en las coníferas la producción de piñas serótinas, tras el fuego, constituyen procesos naturales que, a corto plazo, contribuyen a una parcial recuperación de la vegetación tras un incendio.

En todo caso, la experiencia evidencia la necesidad de llevar a cabo una restauración del área quemada a corto plazo (más bien de inmediato), lo que implica la toma de decisiones conducentes a practicar acciones de rehabilitación, la denominada por los especialistas rehabilitación de emergencia. Acciones que, si bien en España pueden diferir parcialmente entre el área atlántica y la mediterránea, deben atender en primer lugar a la protección del propio suelo, en el cual la combustión de la materia orgánica lleva a desestabilizar sus agregados, con lo cual se altera la escorrentía y, en suma, el régimen hídrico. El *mulching* con residuos vegetales, con paja o con astillas, incluso la adición de tierra, se propugnan como herramientas eficaces en suelos que hayan quedado desnudos tras el incendio. Y solo si se trata de áreas proclives a fenómenos torrenciales, se recomienda la construcción de barreras protectoras de la pérdida de suelo. Los expertos incluyen también medidas adicionales, con mayor especificidad en función de las características del incendio y la estación ecológica.

En paralelo a la restauración, la valorización de daños implica la correspondiente a pérdidas de suelo, riesgos hidrológicos y probabilidad de desbordamiento de cauces de agua mediante modelos desarrollados al efecto que se parametrizan con los datos específicos de cada incendio. A ellos hay que añadir la valoración de daños de efectos directos en la masa arbórea, la capacidad de recuperación de la misma (en todo caso parcial) y la alternativa de su regeneración por conservación de la capacidad reproductiva residual de pies vivos (p.e. pinos serótinicos), junto con las opciones de siembra y plantación, que requieren también una rigurosa planificación técnica.

Cabe finalizar esta somera incursión en los incendios de los montes reproduciendo las palabras de José Antonio Vega, investigador experto en el tema: *No debe olvidarse que se trata de fenómenos muy complejos, cuya multiplicidad de facetas confiere gran dificultad a la gestión del fuego y exige intensa investigación.*

Bibliografía básica

DE LAS HERAS J., 2015. ¿Qué hacer después del fuego? Principales retos y algunas respuestas. *Cuadernos de la SECF* nº 39: 213-236.

FLANNIGAN M. *et al*, 2013. Global wildland fire season severity in the 21st century. *For. Ecol. Mang.* 294:54-61.

LOUDERMIK E.L., *et al*, 2014. Effectiveness of the fuel treatments for mitigating wildfires risk and sequestering forest carbon. *For.Ecol. Mang.* 323: 114-125.

PAUSAS J.G. *et al*, 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? -a review. *Int. J. Wildland fire.* 17:713-723.

VEGA HIDALGO J.A., 2015. J.A. Nuevos retos y oportunidades de mejora en la lucha contra incendios forestales y sus consecuencias. *Cuadernos de la SECF* nº 39: 73-96.

VEGA GARCÍA C., CHIVIECO E., 2006. Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM Images for predicting wildfire occurrence in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecology* 21: 595-605.

VÉLEZ R., 2000 *La defensa contra incendios forestales: Fundamentos y experiencias*. McGRAW HILL, pp 1320.

Montes y plantaciones ante el cambio climático

*Álamos del amor que ayer tuvisteis
de ruiseñores vuestras ramas llenas;
álamos que seréis mañana lirás
del viento perfumado en primavera;
álamos del amor cerca del agua
que corre y pasa y sueña ...*
(CAMPOS DE CASTILLA, Antonio Machado)

Los medios de comunicación han dado la voz de alerta con una cifra - 403,30 ppm – que, no por no ser esperada, ha generado alarma: por primera vez en la vida de la Tierra se ha superado la concentración de cuatrocientas partes por millón de CO₂ en la atmósfera. La noticia se acompaña con otras cifras: el dióxido de carbono emitido (41,5 Gt (1 Gt= 10¹² kg), el 45% se concentra en la atmósfera, 36,8 Gt procedente de emisiones en la combustión de fósiles e industria y 4,7 Gt producidas en incendios y cambios de uso del suelo; el 55% restante es absorbido en un 25% por los océanos y en un 30% en los bosques.

¿Cuál es el motivo de tanta alarma? A mediados del siglo XX se comienza a leer (u oír) en los medios de comunicación la expresión *calentamiento global* para designar un pronunciado y generalizado aumento de temperatura; que se achaca a un cambio del clima. Su significación, puesta en entredicho por algunos, es avalada mayoritariamente por la comunidad científica internacional, relacionándola con el incremento de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI)-en la atmósfera; la que a su vez se relaciona con las emisiones antropogénicas que muestran las cifras anteriores

La conjunción de ambos hechos–ascenso atmosférico de temperatura y concentración atmosférica de CO₂ - tienen un doble significado en los sistemas forestales. En principio, la absorción del CO₂ por los árboles y el secuestro del carbono en suelo y vegetación tienen un papel de mitigación del carbono atmosférico y a él se alude como beneficio no tangible en bosques y plantaciones. Pero el cambio climático, en términos de temperatura y precipitaciones, tiene repercusiones negativas para la supervivencia, el desarrollo y las relaciones mutuas de los integrantes de muchos ecosistemas forestales. En lo que sigue se pasa revista a dichas repercusiones y, a su vez, como contrapunto, al papel positivo de los bosques en el nuevo escenario.

En la biosfera, idealmente se mantendría el balance entre las entradas (ganancias) y salidas (pérdidas) de carbono, fruto del flujo existente entre la atmósfera y el suelo y el conjunto de biomas. Realmente, en el conjunto de ecosistemas terrestres (en su mayor parte forestales) la producción neta media de carbono se estima en $\pm 1 \text{ Gt año}^{-1}$ (se dan incluso valores menores, de $0,47 \pm 0,05 \text{ Gt año}^{-1}$). Esta cifra se deduce a partir de un valor global medio de 120 Gt año^{-1} para toda la producción primaria bruta de carbono, sustrayendo del mismo las diversas partidas de carbono que de una u otra forma (respiración autotrófica y heterotrófica de plantas y otros seres vivos, respectivamente, y efecto de distintas perturbaciones) se devuelven a la atmósfera.

Los ecosistemas forestales, por tanto, globalmente actúan como sumideros de carbono. Sin embargo, las condiciones temporales (o permanentes), específicas de cada uno, tales como factores de sitio (topografía, propiedades físicas del suelo, limitación de nitrógeno, ascenso del nivel de la capa freática, hidrología, la subida de temperatura en suelos ricos en materia orgánica), la propia presión humana en su manejo (corta de rodales, preparación del suelo previa a una repoblación) y con carácter general la estacionalidad, pueden favorecer que el ecosistema pase de la condición de sumidero de carbono a fuente invirtiéndose el sentido del flujo de CO_2 entre la atmósfera y el ecosistema.

Este fenómeno ha adquirido una proporción preocupante dado el gran incremento de CO_2 acumulado en la atmósfera, mayoritariamente procedente de la quema de combustibles fósiles (entre otras causas). El incremento de CO_2 ha provocado (¿se ha relacionado con?) un aumento de temperatura (efecto invernadero) que, a su vez, conduce a un aumento exponencial de la respiración con el incremento en la emisión de CO_2 , aumento de su concentración en la atmósfera, aumento de temperatura y subsiguiente alteración del régimen hídrico (en gran parte con disminución de las precipitaciones).

Un punto de partida para adentrarse en los efectos del cambio climático en los ecosistemas forestales es la información sobre el contenido en carbono en sus dos componentes, suelo y vegetación, la cual en un bosque comprende la propia masa arbórea, los tocones y los restos leñosos. El tipo de bosque (boreales, templados, tropicales) determina la proporción de carbono entre suelo y vegetación: para el conjunto de ecosistemas, la proporción es de dos tercios en el suelo y un tercio en la vegetación. Cifras globales estimativas se mueven, a groso modo, en un rango de valores medios muy amplio entre 1 100 y 2 500 Gt de C, con valores medios entre 70 y 160 t ha^{-1} de C para el conjunto de ecosistemas terrestres. En España se han dado la cifra de 2.05 Gt de C para la superficie forestal arbolada; de $91 \times 10^6 \text{ t}$ de C para los matorrales, y de 3.70 Gt de C (7.60 kg m^{-2} de C) para el carbono de los suelos peninsulares. Los cambios de uso de la Tierra, la recuperación del bosque, las plantaciones y los sistemas agroforestales son condicionantes del contenido global de carbono y pueden modificar estas cifras estimativas.

El contenido de carbono del suelo en el ecosistema puede sufrir pérdidas sustanciales por el calentamiento global. El incremento de temperatura provoca un aumento del flujo de CO_2 del suelo a la atmósfera por acción bacteriana y, también, por efecto de la acción de agentes de perturbación (p.e. incendios), acciones que provocan una pérdida de materia orgánica del suelo. De ahí la importancia del seguimiento de la

evolución de carbono en el suelo de las masas forestales, y su tiempo de residencia y reciclado; para lo cual se han desarrollado investigaciones sobre la dinámica de la descomposición de la materia orgánica especialmente en suelos de coníferas de uso comercial. El tipo de mantillo producido, la temperatura del suelo y la roca madre juegan papeles importantes en las cifras obtenidas.

La masa forestal es, junto con el suelo, la gran damnificada del cambio. Las especies arbóreas y las poblaciones de seres vivos en conjunto responden al cambio climático con mayor o menor vulnerabilidad, mostrando diversa capacidad de adaptación, o no; y, en este último caso, emigrando y ocupando lugares más acordes con su temperamento y necesidades. Tal sucede con el desplazamiento altitudinal de coníferas arbóreas que han sobrepasado la denominada *timber line* (límite altitudinal) al ascender la temperatura; o, en otro sentido, el de especies cuyas exigencias de agua y sombra les ha obligado a buscar lugares más frescos y umbrófilos, que encuentran descendiendo en altura. En una respuesta más drástica, el desplazamiento de su hábitat (alterado) por otras especies migrantes acaba en su extinción.

El mayor número de investigaciones sobre la repercusión del cambio climático en el ámbito forestal se han centrado en las respuestas de especies arbóreas de interés productivo (madera) que forman masas arbóreas en el hemisferio norte. Cabe subrayar su incidencia, generalmente negativa, sobre las funciones fisiológicas básicas, tales como fotosíntesis (y su posibilidad de adaptación a la baja), respiración, relaciones hídricas y nutrición mineral, capacidad reproductora (floración, fructificación; y su expresión en términos ecofisiológicos: distorsión de las pautas de crecimiento en altura, limitación en el nitrógeno disponible, y también de fósforo, alteración de la fenología de las especies y su incidencia en su proceso reproductivo, diseminación y regeneración de la masa. Son destacables los efectos específicos sobre las propiedades anatómicas y las características tecnológicas de productos fabricados con madera o corcho y sobre la biomasa como combustible; también, sobre el metabolismo secundario del que depende la obtención de sustancias como el aguarrás y la colofonia, el sirope, la goma arábica y otras sustancias secretadas por algunas especies.

Procede, sin embargo, observar que buena parte de las investigaciones fisiológicas llevadas a cabo en relación con estas cuestiones se llevan a cabo con brinzales de corta edad o con estaquillas e injertos, incluso algunas con vitroplantas, dada la complejidad estructural del árbol adulto y el espacio, y sobre todo tiempo, que requiere la obtención de información; lo cual plantea la necesidad (y no menor desconfianza) de la extrapolación entre edades de los valores obtenidos. En algunos grandes centros de investigación forestal se han instalado cabinas en monte que permiten prolongar la edad y tamaño de los brinzales en estudio bajo condiciones ambientales controladas; también la disponibilidad de medidores de funciones básicas (fotosíntesis, respiración, transpiración, nutrición) instalados en rodales de plantaciones con fustales en edad de corta.

Aspecto, también importante, concierne a los efectos de los cambios en la concentración de CO₂, temperatura y disponibilidad de agua sobre los otros seres vivos, plantas y animales, que integran el ecosistema. Los agentes de perturbación, bióticos y abióticos, y sus relaciones e interacciones con la vegetación y, de forma más trascendente con la arbórea, pueden verse alteradas por el cambio climático. Cabe

aludir a los efectos sobre las plagas forestales (ciclo biológico y puestas, virulencia en el ataque y capacidad de resistencia/tolerancia del árbol hospedante); efectos extensibles a las interacciones hongo patógeno/árbol y a las relaciones micorrícicas; también a la contaminación atmosférica (lluvia ácida y ozono) y edáfica. Todos estos efectos, en mayor o menor grado, pueden acarrear alteraciones del desarrollo y pérdida de capacidad de sumidero del ecosistema. La fauna en general puede verse así mismo afectada: existen abundantes referencias científicas sobre migraciones y algunas potenciales extinciones en poblaciones de vertebrados (p.e. anfibios, aves) e invertebrados (p.e. insectos polinizadores), en cualquier caso, generándose alteraciones en el equilibrio (inestable) de los ecosistemas.

Es destacable la interacción cambio climático/ incendio forestal (ver capítulo 10). Las emisiones de CO₂ por incendios (de toda condición) han tenido influencia en el ciclo global del carbono a lo largo de la historia de la Tierra. Está bien constatado un incremento actual de estas emisiones por el aumento de temperatura ligado al cambio climático, aumento a su vez dependiente del incremento en la emisión de gases de efecto invernadero, entre otros CO₂, por el uso de combustibles fósiles. A los efectos negativos de este incremento se une la mayor frecuencia de los fuegos provocados, que altera el proceso natural sumidero a fuente y restablecimiento de fuente a sumidero de carbono con la regeneración de la masa forestal (véase el capítulo sobre incendios).

Los modelos de predicción del consumo de combustible aportan información muy útil al evaluar los impactos del cambio climático sobre el potencial de incendios bajo múltiples escenarios de cambio climático. Especial ayuda puede prestar su aplicación en áreas del Mediterráneo en las que se acusa un aumento de los episodios de sequía ligados al cambio climático y un mayor acopio de combustible, que ha perdido su uso como elemento de calefacción en un medio rural abocado a su desaparición.

Ante el cambio climático procede preguntarse qué papel puede desempeñar la gestión forestal. A la multiplicidad de funciones que competen al gestor forestal se ha incorporado la adaptación al cambio climático; y la captura y el secuestro de carbono en suelo y masa forestal (mitigación del CO₂ atmosférico) adquieren un nuevo papel como un bien no tangible, muy a tener en cuenta en la gestión técnica de los montes. La proyección medioambiental, el impacto en la productividad de las masas forestales y el binomio forestación versus deforestación marcan puntos de referencia al cambio climático en el sector forestal.

El crecimiento lleva consigo el incremento de carbono en los árboles, sustancialmente en los tejidos leñosos. Con la sustracción de biomasa (por eliminación de pies) disminuye dicho carbono en el rodal, a no ser que el crecimiento de los árboles remanentes equilibre dicha pérdida (que incluso puede superar). Dicho crecimiento exige compensar la pérdida de nutrientes (especialmente crítico el nitrógeno) existentes en la biomasa extraída, por lo que conviene dejar in situ la copa de los árboles cortados, ya que su extracción repetida en el tiempo puede originar carencias de nutrientes, que frenan el crecimiento perseguido. Si la edad de corta final del rodal se prolonga por encima del turno prefijado se mantiene por más tiempo el carbono almacenado en el rodal. Con la corta final el contenido en carbono de una *masa inexistente* se anula, pero sigue existiendo carbono en el suelo, si bien en descenso. En el repoblado implantado en el rodal (por regeneración natural o artificial) se reanuda la fijación de CO₂, pero parte

del mismo pasa al suelo con el desfronde. Con el cierre de copas se llega teóricamente a un equilibrio entre desfronde y nueva biomasa de hojas y el *excedente* de carbono queda secuestrado en tronco y ramas. El ciclo teórico, repetitivo, de periodos de fijación y secuestro de carbono alternaría con los periodos de pérdida de carbono en el rodal.

¿Puede alcanzarse un equilibrio entre los dos objetivos, almacenamiento duradero de carbono y máxima productividad en madera? La especie, la situación geográfica de la masa forestal y factores ambientales inherentes, el método de beneficio y edad de corta, los tratamientos selvícolas (podas, desbroces, claras y clareos) aplicados al rodal serían determinantes de la productividad en madera y de la duración de los periodos de incremento/decremento del carbono almacenado en el rodal.

La aplicación de claras y clareos debe desempeñar un papel importante en la respuesta a la pregunta formulada. Pero los resultados de la abundante experimentación llevada a cabo no proporcionan conclusiones unívocas y generalizables sobre frecuencia, intensidad y tipo de clara; en cualquier caso, tratamientos muy dependientes de los factores aludidos.

Los modelos de simulación constituyen herramientas clave en la toma de decisiones para la puesta en práctica de tratamientos selvícolas con los que pueden conjugarse ambos objetivos, económico y conseguir un balance teóricamente plausible entre ambos. También, en términos más amplios, los modelos son aplicables ante el dilema producción versus mitigación, la incidencia de previsibles perturbaciones y la previsión de cambios en el mercado de productos forestales. En su aplicación no debe sin embargo olvidarse de la necesidad de llevar a cabo ajustes en el tiempo, a lo que obliga la complejidad del ecosistema bosque.

El tercer aspecto concierne a la puesta en marcha de las medidas políticas, sociales y económicas que conduzcan a reducir/detener la deforestación, máxime (si no en exclusiva) en países del tercer mundo. La ayuda financiera a los países con extensos bosques de alto valor ecológico por parte de organizaciones supranacionales como contraprestación a la detención de cortas masivas de madera es una vía que sinergia el valor inherente a la propia preservación de un bien natural con el derivado de la mitigación del carbono; vía que, sin embargo, no acaba de transitarse libremente.

La propuesta de intensificación de plantaciones, con especial atención al uso de especies de crecimiento rápido, para fijar el carbono y así reducir la concentración de CO₂ carbono en la atmósfera, se ha barajado (y se lleva a cabo) como procedimiento complementario de mitigación. De hecho, se alude con frecuencia, con profusión de cifras, a las plantaciones (no necesariamente con especies de crecimiento rápido) en terrenos agrícolas abandonados, para subrayar su papel de mitigación. Estas acciones, de magnitud moderada, complementan sin duda el papel de los bosques ante el cambio climático. Pero la extensión masiva de plantaciones forestales a escala continental, (y no digamos mundial) como arma primaria en pro de la mitigación del CO₂ en la atmósfera exigiría superficies enormes que se mermarían a las dedicadas a cultivos y que, en definitiva, no supondrían más que un retraso del problema si continúan las emisiones. Aun reduciéndose éstas, los expertos vaticinan una larga espera hasta que comience a remitir la cantidad global de carbono existente actualmente en la atmósfera terrestre.

Bibliografía básica

BRAVO F. (Edit.), 2007. *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Fundación Gas Natural, pp.315.

DIAZ BALTEIRO L., ROMERO C, 2004. *La captura de carbono y la gestión forestal*. Monografía INIA, nº9., pp 80.

PARDOS J.A, 2017. *El carbono, los ecosistemas forestales y el cambio climático: un triángulo de relaciones mutuas (Bibliografía de un sexenio)*, 2009-2014. SECF, pp 454.

REMEDIA workshops, 2009,2012. *Actas*.

RUIZ PEINADO R., et al, 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems*, 26(2), pp 25.

SECF, varios años. *Cuadernos y Actas de Congresos*.

SOMMERS W.T., LOEHMAN R.A., HARDY C.C., 2014. Wildland fire emissions, carbon and climate: science overview and knowledge needs. *For Ecol. Mang.*317: 1-8.

WATSON R.T. et al (Edit.), 2000. *Land use, land-use-change and forestry*. Cambridge University Press, pp 377.

Selvicultura: Conceptos básicos y tratamientos selvícolas en los montes arbolados

...los árboles al poniente dan sombra a mi corazón.

Buscando se irá el presente. De rosas

¿Las hojas son verdes? Son de oro fresco

y transparente. hecho y de pena

(PRIMERAS POESÍAS, Luis Cernuda)

saber es hacer

(FRONTIS en la E. T.S. de INGENIEROS DE MONTES, Madrid)

En el sector forestal y en cualquiera de sus niveles, desde el estudiantil hasta el académico, pasando por los que atañen a los cuerpos de gestión técnica y guardería, el término que encabeza esta estampa (selvi-, silvi-cultura, la elección parece estar en manos de los filólogos) es sobradamente conocido y al preguntarles en qué consiste y de qué trata la selvicultura, responderían en sustancia con la definición (¡existen muchas!) que leemos en el Diccionario Forestal (SECF): Teoría y práctica sobre el establecimiento, desarrollo, composición, sanidad, calidad, aprovechamiento y regeneración de las masas forestales para satisfacer las diversas necesidades de la Sociedad de forma continua o sostenida. Concepto expresado prácticamente en los mismos términos en “The Dictionary of Forestry” (ciencia en vez de teoría) y en el “Compendio de Selvicultura Aplicada en España” (“controla el establecimiento...” en vez de “sobre el establecimiento...”). Ciencia y técnica, en suma, teoría y práctica, forman un tándem inseparable en el concepto de selvicultura: se trata de una ciencia experimental que utiliza herramientas de otras disciplinas científicas con la participación central de la ecología.

Cabe ubicar en Alemania el inicio de la selvicultura. En 1713, Hans Carl von Carlowitz, administrador de minas alemán, al constatar la disminución en el abastecimiento de madera de las minas de plata que él supervisaba, publicó *Sylvicultura oeconomica*, en cuyo texto incluyó el término *Nachhaltigkeit* para designar la sostenibilidad como aplicación a la ordenación de los bosques para asegurar el suministro de madera, instando a tomar medidas que hiciesen de los bosques una fuente continuada y sostenible de recursos económicos. Su puesta en práctica implicaba

ajustar la intensidad de las cortas al potencial productivo de los rodales de la masa forestal a largo plazo y elaborar técnicas para su regeneración y cuidados culturales. Fue el inicio de un enfoque científico de las actividades forestales que se extendió al resto del mundo y por el cual la ecología forestal adquirió rango de disciplina importante en la investigación y desarrollo forestales.

La comprensión de los valores naturales y el acercamiento científico al funcionamiento de la naturaleza condujo a una selvicultura natural (selvicultura próxima a la naturaleza). El fin primitivo perseguido - el beneficio económico directo del aprovechamiento del bosque- continuó viéndose como elemento productivo, con preferencias económicas y sociales en su gestión, si bien las actuaciones selvícolas debían de tener muy en cuenta los procesos ecológicos y adaptarse a las condiciones cambiantes. En España, naturalistas becados para cursar estudios en la Escuela Forestal alemana de TARBAND fueron los primeros Ingenieros de Montes, y en 1785 se fundó la primera Escuela de Ingenieros de Montes en España bajo el nombre de Escuela Especial de Ingenieros de Montes, adscrita al Ministerio de Fomento, y situada hasta 1869 en el castillo de Villaviciosa de Odón (Madrid). Los dos principales protagonistas de la creación de esta Escuela fueron Agustín Pascual González y Bernardo de la Torre Rojas

Los montes arbolados, pueden tener un origen en las semillas procedentes in situ de sus progenitores (o de su siembra) y dar lugar a monte alto. En él, el desarrollo de los pies componentes discurre a través de una serie de sucesivas etapas de edad: el conjunto de plántulas generadas en la germinación de las semillas son brinzales, que al desarrollarse se convierten sucesivamente en los estados de repoblado, monte bravo, latizal y fustal. También, la masa puede generarse a partir de brotes de cepa o de raíz y configurar un monte bajo; la existencia en el mismo espacio de pies procedentes de semillas y de brotes se denomina monte medio. A su vez, una masa arbórea puede ser regular, formada por pies de la misma clase de edad (en un rango de 10 a 20 años); e irregular, que integra pies (árboles) de diferente clase de edad.

La masa forestal así formada es la base de acciones (tratamientos) que conducen a la obtención de un regenerado (plántulas) que asegure la persistencia del bosque cuando el rodal (porción de la masa arbórea) desaparece al cortarse los árboles remanentes (llegado el turno, o edad de corta), o se mueren previamente por diversas causas (perturbaciones bióticas, abióticas). En el transcurso del turno puede practicarse una eliminación parcial de pies (en general los peor conformados y con menor desarrollo), práctica que facilita la entrada de luz y el desarrollo de las copas de los pies que se dejan en el rodal: se trata de clareos y claras de distinta intensidad y frecuencia en su aplicación. El aclareo uniforme y sucesivo acaba con la corta final de todos los pies remanentes (productores de las semillas de regeneración) al final del turno. Los aclareos pueden también practicarse por bosquetes, fajas y otras formas de actuación. El tratamiento de cortas por entresaca (clareo) da lugar a una masa irregular, en la cual el turno de corta no se alcanza simultáneamente en todos los pies del rodal, sino de forma continuada, de forma que en todo momento están representados todas las clases de edad. Con ello se trata de reproducir la imagen de equilibrio competitivo (inestable) que mostraría idealmente la población arbórea en condiciones naturales tras varias generaciones; imagen ideal, dada la complejidad de los sistemas forestales. La masa forestal se compartimenta en secciones (espacios) que reciben diversos nombres (cuarteles, tranzones, rodales) en función de la propia configuración topográfica y

edáfica del terreno, que permite plasmar espacial y temporalmente los tratamientos selvícolas.

La aplicación práctica de la silvicultura a las especies forestales requiere su caracterización. Con tal propósito se consideran definitorios la distribución o habitación, la estación, el temperamento, el porte, el enraizamiento, el crecimiento, la longevidad y la capacidad reproductiva. El término temperamento (tolerance en idioma inglés, término más indicativo) tiene un significado específico en silvicultura: capacidad de los árboles de crecer satisfactoriamente bajo la sombra de, o en competencia con, otros árboles (especies de sombra), frente a los intolerantes a la sombra (especies de luz). Puede hacerse referencia a situaciones intermedias como de media luz o de media sombra como sucede en las descripciones de algunas de las especies que se mencionan a continuación.

Con la aplicación de los tratamientos adecuados y el seguimiento ordenado de las masas de cada especie (ver capítulo 13) prosigue la gestión técnica del Ingeniero.

La obra *Compendio de Silvicultura Aplicada en España*”, recogida en la Bibliografía básica, constituye, instrumento necesario para el conocimiento del manejo y estado de las principales masas forestales españolas, y ha servido de hilo conductor y fuente de gran parte de la información aquí expuesta, junto con la información existente en el Mapa Forestal de Ceballos. La complejidad y extensión de su contenido, muy reducido en este capítulo, han podido conducir a imprecisiones, solo achacables a la indebida interpretación por el autor de los proliferos trabajos originales.

Las especies peninsulares de pinos autóctonos presentan una distribución altitudinal descendente: desde los 2.700 m alcanzados por el pino negro - con presencia limitada a Pirineos y pequeños enclaves en la Ibérica, el pino silvestre se sitúa en alturas más bajas, 1000 a 2000 m, desde Pirineos (donde en algunos lugares se mezcla, e incluso se hibrida con el pino negro) a Sierra Nevada y desciende hasta 500 m en el NE peninsular. En el pino laricio, o salgareño, se consideran dos subespecies: la subespecie *salzmannii*, con dos razas: la hispánica (que engloba la raza bética) a altitudes entre 900 y 1500 m, con extensas e importantes masas en la Serranía de Cuenca, y Sierras de Segura y Cazorla, y la raza pirenaica, más rústica y xerófila, y la subespecie Corsicana, originaria de Córcega, ampliamente utilizada en repoblaciones entre 0 y 900 m. El pino negral, rodeno o pino resinero, es la especie con mayor extensión en España, también con dos subespecies: atlántica o marítima, adaptada a zonas costeras, particularmente la raza gallega (pino gallego) en el NO peninsular, y la subespecie mediterránea o *mesogensis*, que alcanza los 1.600 m, de altitud, especialmente extendida en Castilla-León y Castilla La Mancha. El pino piñonero (el pino de los piñones comestibles) presenta dos grandes manchas, una en Andalucía Occidental y otra mesetaria, en Castilla León, también con extensas repoblaciones en Sierra Morena y Castilla La Mancha, que en ningún caso superan los 1.000 m. El pino carrasco, típicamente mediterráneo, autóctono en la mitad oriental de la Península y en Baleares, desciende al nivel del mar, pero también asciende a más de 800m, con poblaciones en un amplio abanico de situaciones adversas que denotan su frugalidad. La especie exótica pino insigne, de origen californiano y hábitat mediterráneo, está bien aclimatada a una franja norte de la Península, donde ocupa extensas zonas hasta unos 600 m de altitud con precipitaciones de 400 a 800 mm. El pino canario, que une a su singularidad de especie endémica de las

Islas Canarias, su singular capacidad de brotar de cepa y generar abundantes brotes epicórmicos a lo largo del tronco; asciende a 2.000 m en las vertientes meridionales.

Las siete especies del género *Pinus* son longevas, pueden alcanzar 100 a 200 años, edades que supera con creces el pino silvestre y, más; hasta los 400 o más años, el pino laricio, el pino canario y el pino negro. Con excepción del pino negro, que apenas alcanza los 20m de altura, el resto los superan y casi llega a doblarse en rodales excepcionales de pino laricio mesogensis y pino silvestre. El temperamento es calificado, con carácter general, de robusto y condición de especies heliófilas, y pasa a especie calificada de luz a media luz el pino silvestre, de media luz el pino insigne, de media luz a media sombra el pino negro y de media sombra el pino laricio salzmannii hispánica.

Todas las especies del género *Pinus* son tratadas en monte alto, bien como masas regulares o irregulares, o de ambas formas; y, en mayor o menor grado, son objeto de los tratamientos culturales de desbroces (si la vegetación subsidiaria es abundante), limpias, clareos, claras y, en su caso, podas y cortas sanitarias en pies añosos con pudriciones por hongos.

El pino silvestre, *Pinus sylvestris*, especie de fuste derecho y porte piramidal, distinguible de visu por su corteza amarillo-rojiza, aunque resistente a la sequía se desarrolla mejor en umbrías y valles, con preferencia por suelos silíceos, reviste en España gran importancia forestal, con una extensión de 1.280.000 ha, casi la mitad naturales, con cuatro ecotipos. Especie algo vecera, fructifica con abundancia; la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas requieren luz; y la competencia interespecífica, y sobre todo el suelo empradizado, son obstáculos que dificultan la regeneración. Las podas son tratamientos culturales llevados a cabo. El turno de máxima renta en especie es de 75 a 85 años, si bien el turno tecnológico podría ampliarse a más de 100 años, con un crecimiento en las mejores estaciones que llega al rango 7,7 a 16,5 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Conocido comúnmente como pino laricio, el *Pinus nigra* es una especie de sistemática compleja, con las dos subespecies ya citadas; de clima submediterráneo continental habita en macizos calcáreos dolomíticos, con precipitaciones anuales de más de 500 mm, presenta una regeneración condicionada por la constante vecería, la sequía estival y comprometida por los incendios reiterados (no así en los grandes núcleos); también con extensas zonas repobladas en Andalucía entre 1940 y 1984 con el objetivo prioritario de lucha contra la erosión. Sus producciones medias se estiman en 5,8 a 11 m³ ha⁻¹ año⁻¹. La raza pirenaica es tenida por más rústica y xerófila, colonizadora, forma masas irregulares y densas, entre pino silvestre y carrasco; con tendencia en los montes públicos a su conversión en masas regulares tratadas por aclareo sucesivo uniforme, turno de 120 años y periodos de rotación de 30 años. El pino laricio var Corsicana, de menor porte, con acículas más persistentes y de un color verde más oscuro, se utiliza en repoblaciones entre 600 y 900 m de altitud, prácticamente no regenera en España por lo que se acude a la regeneración artificial. Cabe esperar crecimientos del orden de 1 m³ ha⁻¹ año⁻¹ a los 60-70 años.

El pino negral o rodeno, *Pinus pinaster*, especie del mediterráneo occidental, es la más extendida en España. La subespecie atlántica, o marítima, de menor talla, copa más recogida, ramificación ascendente y corteza de menor espesor, está más adaptada al clima suave de zonas costeras, con preferencia por suelos silíceos, con abundantes

repoblaciones en el NO peninsular, en donde el pino gallego (raza de la subespecie) se encuentra formando masas puras o mezclado con pino insignie, eucaliptos y otras frondosas; resiste poco el fuego y regenera bien tras el mismo. Se trata por aclareos sucesivos y, también, como monte irregular con cortas por bosquetes y en Galicia se han generalizado las cortas a hecho. Especie de crecimiento rápido, en la zona costera alcanza una producción de 9,7 a 15m³ ha-1año-1. La subespecie mediterránea o mesogensis, con ramificación más horizontal y corteza más gruesa, tiene un sistema de canales resiníferos (en general, presente en Pináceas) que ha posibilitado tradicionalmente su resinación para la obtención de miera; es capaz de resistir un amplio rango térmico de altas y bajas temperaturas, con preferencia por suelos silíceos y una producción de 4,1 a 10,4 m³ ha-1 año-1 en régimen moderado de claras

El pino piñonero, *Pinus pinea*, con tronco recto y cilíndrico y corteza en forma de placas sonrosadas con grietas más oscuras, entre ellas, muy características, se comporta como especie xerófila con un óptimo en suelos silíceos con textura arenosa; especie relativamente termófila y vecera, requiere amplia iluminación para fructificar; con precipitaciones de 500. 700 mm, puede resistir con valores mucho más bajos. Con importancia protectora frente a dunas y por la producción de piñas, se mezcla con encina, pino rodeno y alcornoque; puede regenerarse de forma natural por cortas a echo y regeneración artificial y aclareo sucesivo uniforme con turno de 100-120 años y un periodo de regeneración de 20-25 años, con formación de bosquetes con pies de la misma clase de edad; cabe destacar las podas de olivación para favorecer la formación de amentos femeninos (estructuras floríferas). Se injerta sobre pino carrasco para reducir la edad de fructificación, con crecimiento lento los primeros años, en Huelva el crecimiento es de 0,5 a 5 6 m³ ha-1 año-1.

El pino carrasco, *Pinus halepensis*, es especie típicamente mediterránea, espontánea en la mitad oriental de la Península e islas Baleares en una extensión próxima a las 900.000 ha, en cotas desde el nivel del mar a los 800 m de altitud; resistente a la sequía (llega a soportar menos de 200 mm anuales) y a las altas temperaturas, en contraposición a su cierta sensibilidad al frío; edáficamente muy frugal,, con gran tolerancia a la cal, con marcado carácter heliófilo, es especie de floración temprana y fructificación abundante y recurrente , que le concede gran capacidad de resistencia a los incendios naturales; con extensas repoblaciones, la masa regular es método de beneficio adecuado y su tratamiento como masas irregulares es controvertido; con crecimiento moderado en un rango de 1,5 a 4,0 m³ ha-1 año-1.

El pino canario, *P. canariensis*, es endémico del Archipiélago Canario; especie frugal, sin marcadas exigencias edáficas, xerófila y heliófila, aunque con gran amplitud ecológica, tolerante a los incendios, con piñas serótinas que abren tras los mismos favoreciéndose la germinación que, en otro caso es escasa. Con gran capacidad de rebrote, no obstante, la mayoría de las masas son de monte alto, regulares, con aplicación generalizada del aclareo sucesivo; también con cortas a hecho por bosquetes o fajas en masas irregulares. Es destacable la producción de pinos tea a cuya madera fuertemente resinificada les confiere un valor especial.

El pino insignie, *P. radiata*, es especie exótica, con escasa presencia en su original hábitat californiano, está ampliamente difundida por todo el mundo; adaptada al clima húmedo y benigno del litoral cántabro con precipitación anual 400 a 800 mm, distribuida regularmente, rechaza suelos compactos, sufre con las heladas severas. Especie de

crecimiento rápido (8,8 a 23,7 m³ ha-1año-1,) se aprovecha en turno corto, 20 años o menos, para fabricación de pasta de celulosa, pero se prolonga el turno a 25 a 35 años para la producción de madera usada en la industria del mueble y tableros. Con peñas serótinas y diseminación escasa e intermitente se planta con plantas de una savia en contenedor, con necesidad de practicar desbroces y también claras y podas. El insecto generalizado *Diploidia pinea* ha sido plaga mortal

Los dos abetos autóctonos, el pinabete, *Abies alba*, especie pirenaica, y el pinsapo, A. pinsapo, relicto del grupo de abetos mediterráneos (éste último con pequeñas masas en las serranías béticas de Cádiz y Málaga) son especie longevas, de sombra, con crecimiento lento. El pinabete presenta porte esbelto, con altura que puede llegar a los 40 m, con sistema radical potente, profundo y ramificado; es tolerante a bajas temperaturas, exigente en humedad del suelo, con preferencia de situaciones de umbría y suelos frescos y fértiles, en suelos acidófilos y subalpinos. Sus masas son heterogéneas, la entresaca ha sido el modo de beneficio históricamente aplicado, con rotaciones entre 8 y 15 años, con tendencia actual a la regularización, con turnos que van de 100 años a 180 en las zonas más elevadas.

La sabina albar, *Juniperus thurifera*, es especie muy longeva, de luz a media sombra, adaptada a condiciones climáticas duras, frío y sequedad, también a altas temperaturas, con precipitaciones de 300 a 500 mm. Distribuida en la mitad oriental de la Península, entre 800 y 1200 m, llega a los 2000 m, forma masas con escasa densidad, regulares, en suelos de cierta calidad, e irregulares en aquellos pedregosos, calizos; los sabinares (o enebrales tiene valor ecológico y paisajista); su regeneración viene dificultada por los ganados ovino y caprino.

Entre las Coníferas exóticas con plantaciones de interés cabe aludir al abeto Douglas o pino de Oregón, *Pseudotsuga douglassii* especie con gran plasticidad ecológica y amplio rango latitudinal, tiene en el NO y Norte de España extensas plantaciones; muestra buen comportamiento hasta 1300 m de altitud, siendo la disponibilidad de agua el factor más crítico en su desarrollo, que lleva a alcanzar producciones de 12 a 22 m³ ha-1año-1 a los 60-70 años, con buena calidad para madera para desenrollo. También, procede mencionar las plantaciones de dos especies de alerce, *Larix europea* y *L. Leptolepis*, especies de luz, resistentes al viento y tolerante a condiciones edáfica diversas.

La familia Cupulíferas está representada en España por seis especies arbóreas del género *Quercus* (roble en sentido amplio, encina y alcornoque), una especie del género *Castanea* (castaño común) y otra del género *Fagus* (haya). Así mismo, el abedul (*Betula alba*), el aliso (*Alnus glutinosa*), los arces (entre ellos *Acer pseudoplatanus*) el nogal (*Juglans regia*), el cerezo (*Prunus avium*), los fresnos (entre ellos *Fraxinus excelsa*), los álamos o chopos (*Populus alba*, *P. nigra*, *P. tremula*) y el plátano de sombra (*Platanus x hispanica*) son igualmente frondosas autóctonas en España objeto de tratamientos selvícolas. Entre las plantaciones de exóticas las más extendidas y relevantes forestalmente son las de híbridos *Populus x euroamericana*, eucaliptos principalmente con dos especies, *Eucalyptus globulus* y *E.camaldulensis*, junto con el roble americano (*Quercus rubra*). Entre las Cupulíferas, quejigo, rebollo y encina, roble común y castaño se consideran especies de media luz; roble albar, de media sombra y haya, de sombra. El abedul, el aliso, el cerezo, el plátano de sombra, los chopos y los eucaliptos son especies de luz; el fresno y el arce son especies de media luz y el nogal de media sombra.

La encina, el rebollo y el quejigo se han tratado ancestralmente como monte bajo, que puede ser regular (chirpiales coetáneos) o irregular (pies de distintas clases de edad). Así mismo los chirpiales pueden cortarse con turnos de 10 a 25 años (aunque también se ha reducido el tiempo a menos de 15 años) para la obtención de leña y carbón vegetal. Los recepes pueden prolongarse diez veces incluso más en el caso de la encina. Su práctica requiere unas condiciones precisas de época de corta, altura del corte y número de brotes que se dejan en cada recepe, dependientes del estado fisiológico de la cepa. Existen, también, formaciones de las tres especies que ya no son (o no lo han sido nunca) objeto de tratamiento en monte bajo, que forman masas de monte alto, en su mayoría con valor prioritario ornamental y paisajístico, sin tratamiento alguno o con alguna poda de conformación.

El roble albar (*Q. petraea*), de fruto sentado, es especie de media y alta montaña, de temperamento robusto, sobrepasa los 1.500m de altitud; sus bosques monotípicos son escasos y poco extensos, salpicados desde el noreste peninsular hasta confluir con el comienzo de la presencia del roble gallego o carballo (*Q. pedunculata*), especie que no alcanza tanta altitud y es más exigente en humedad respecto a su congénere, al que sobrepasa en altura. Para ambas especies se han distinguido diferentes tipos: hasta ocho tipos principales específicamente diferenciados por su exposición (solana o umbría) y suelo (humedad y sustrato) en el caso del roble albar, y otros seis para el carballo, también en atención a factores de estación (litorales, montanos, mediterráneos y calizos). Con fructificación en edad tardía, la regeneración de los robledales se ve negativamente afectada por la presencia de ungulados y el suelo empradizado. El aclareo sucesivo uniforme o alguna de sus modalidades (fajas, bosquetes) los métodos de beneficio aplicados; también se han tratado en algún caso como monte bajo que se ha convertido por resalveo en monte medio. La densidad de la masa determina su producción: en carballo, con turno de 120 años, las tablas de producción dan entre 5,71y,96 m³ha⁻¹ año⁻¹, con densidades altas, cifras que descienden a 4,97 a 1,90 m³ ha⁻¹año⁻¹ para rodales de baja densidad.

El roble americano, *Q. rubra*, exótica, plantada en el norte peninsular, en suelos ácidos a alturas inferiores a 600-800m, aunque regenera bien por semilla, la práctica usual es la plantación, a razón de 1.600 plantas por ha; en turno de 80-100 años, con una producción entre 4,1 a 10,7 m³ha⁻¹año⁻¹.

Los alcornocales (*Q.suber*) son una genuina representación del bosque mediterráneo, con tipos de alcornocales puros y otros mezclados con quejigo y encina, adehesados en zonas llanas o con relieve escaso, o no, en las Serranías. Se extienden mayoritariamente en dos grandes zonas, en Andalucía y Extremadura y en Cataluña. El alcornoque, con sistema radical potente y altura que apenas sobrepasa los 20 m, es especie calcífuga (con presencia muy escasa en suelos calizos), más exigente en humedad (se sitúa en el rango de 600 a 1000 mm anuales de precipitaciones y más termófilo que la encina); no supera 600 a 700 m de altitud en las umbrías, aunque alcanza los 1000 m en solanas. La regeneración natural es buena, pero para su consecución en las dehesas deben acotarse durante varios años, y completarse con la regeneración artificial en masas aclaradas o envejecidas. Los alcornocales, tanto en masa regular o irregular, han sido objeto de detallada experimentación y han dado lugar a la definición de pautas para la ejecución de desbroces, podas de formación, clareos, claras y cortas de mejora, y de conformación de la densidad de la masa en la formación

del corcho, su calidad, turnos de descorche, técnicas de ejecución y épocas y modelos de estimación y configuración de tablas de la producción de corcho (ver capítulo 21).

El haya (*Fagus sylvatica*) es especie de gran talla (30-35 m de altura), longeva (150-200 años), vecera, cuya germinación y posterior desarrollo de las plántulas requieren humedad ambiental y cierta sombra, aunque con cierta tolerancia al frío, es sensible a las heladas tardías; se extiende por la cordillera Cantábrica y Pirineos, con cuatro tipos de hayedos: dos de ellos distinguibles por los suelos en que habitan, pobres o ricos en nutrientes, un tercer tipo de hayedos submediterráneos, calcícolas, y un cuarto tipo en que se mezcla con el pinabete formando el hayedo -abetar. Junto a las tres formas de beneficio (monte bajo, medio y alto cabe destacar los montes huecos y dehesas boyales formados por masas ralas, en muchos casos con árboles trasmochos para obtención de ramón para el ganado. En masas regulares se aplican cortas por aclareo sucesivo para conseguir la regeneración natural, con cortas preparatorias que favorecen la floración y fructificación; también existen masas irregulares en las que se practican cortas de entresaca por huroneo; y en el hayedo- abetar es recomendable generar una mezcla con pequeños bosquetes de distintas clases de edad. El turno practicado, hasta de 180 años, resulta excesivo y se recomienda no sobrepasar los 120 años. La tasa de crecimiento se encuentra en el rango de 2,1 a 6,2 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

El castaño (*Castanea sativa*) es árbol de gran longevidad y notable desarrollo; puede sobrepasar los 20m de altura, vive en suelos profundos, con preferencia silíceos, en climas con cierta humedad en situaciones abrigadas, con precipitaciones del orden de 1.000 mm anuales, alcanza su límite altitudinal en contacto con las coníferas; especie de montaña, extendido, con masas salpicadas por gran parte de España. La evolución de las poblaciones silvestres de la especie da lugar a distinguir castañares monoespecíficos y aquellos en que el castaño está como especie acompañante, pudiendo los primeros destinarse a producción de fruto o de madera, y estos su vez, tratarse como monte alto, medio o bajo. Aunque su semilla germina bien se suele regenerar por brotes de cepa. La corta a hecho en monte bajo es el método de beneficio habitual, también en ciertos casos en monte bajo irregular; penas se ha utilizado el aclareo sucesivo en monte alto. A raíz de la forestación promovida por la PAC (Política Agraria Común) se han llevado a cabo plantaciones para producción de madera y doble uso (en árboles trasmochados). Los tratamientos culturales (limpias, clareos y podas) son esenciales, así como los sanitarios ante los daños de los hongos *Phytophthora cinnamomi* y *Cryptonectria parasítica* (chancro). El destino de la madera ha determinado el turno aplicado: en torno a 5 años (cestas, aros) hasta 60-90 años (chapa, aserrío).

El nogal (*Juglans regia*) sugiere pensar en madera de calidad y en la producción de nueces. Especie longeva (200 años), plástica, de amplia distribución, muy domesticada, con representación de árboles aislados y bosquetes; las plantaciones existentes se gestionan a turno corto (25-30 años), también con turno prolongado a 60 años para conseguir trozas de gran diámetro; con espaciamiento definitivo (70-200 pies ha⁻¹) con una producción entre 1 y 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹; es muy importante el programa de podas de conformación, también los tratamientos sanitarios frente a varios hongos, bacteriosis y algunos insectos perforadores.

El aliso (*Alnus glutinosa*) especie de luz, prolífica, presente en riberas y bosques de galería, con evidente necesidad de humedad del suelo, brota bien de cepa, forma nódulos radiculares de fijación de nitrógeno; de crecimiento inicial rápido, las

plantaciones son para madera (chapa o sierra) o como especie de acompañamiento; en turno de 70 años; su productividad media es en torno a 4,3 m³ ha⁻¹año⁻¹.

Los abedules (*Betula spp*, ¿*B. alba*, *B. pubescens*?) son especies heliófilas e higrófilas, frugales y colonizadoras (mejoran el suelo y permiten el establecimiento de especies más exigentes); presentan árboles dispersos o en rodales, (ribereños o higróturbosos, algunos relictos); con buena germinación con luz, se recomienda la corta a hecho, aunque también dada su capacidad de rebrote de cepa, se pueden encontrar chirpiales; se dan valores de crecimiento medio máximo de 3,7 a 8,2 m³ha⁻¹año⁻¹.

El fresno (*Fraxinus excelsior*) es especie heliófila, de crecimiento rápido, presente en todo el norte peninsular en un amplio rango altitudinal, habitual en sotos con árboles trasmochos para producción de ramón para el ganado; con gran capacidad de propagación por semillas también rebrota de cepa y de raíz; con la alternativa de plantación en terrenos de anterior uso agrícola para producción de madera de calidad en turnos en torno a 60 años, o menos, para evitar la formación de corazón negro

El plátano de sombra (*Platanus hispánica*) es especie de luz, longeva y de gran porte, con poblaciones en toda España, en climas templados a templado fríos, muy extendido como ornamental en calles y parques, con marcado carácter forestal en Cataluña en plantaciones en terrenos aluviales, con 250 a 400 plantas por ha; el método de beneficio es como monte bajo, con cortas a matarrasa a 20-30 años, y propagación por estaquillas cultivadas en vivero.

El cerezo (*Prunus avium*), bien conocido como árbol frutal, es especie de luz, de temperamento robusto, también habitual como especie acompañante en bosques caducifolios, con crecimiento de 3 a 8 m³ha⁻¹año⁻¹; se expande mediante la distribución de sus semillas por aves; brota bien de raíz lo que facilita la estabilización de los bosquetes de monte bajo; reviste interés su plantación en terrenos de anterior uso agrícola; en las que es muy recomendable prácticas podas para definir bien eje principal del árbol.

El arce (*Acer pseudoplatanus*) es especie de media sombra a media luz, con altura de 20 a 30 m, longeva, puede llegar a 500 años, de crecimiento rápido al principio, lento más tarde; aparece disperso en bosques caducifolios, también y asilvestrado, prolífico de alta germinación y facilidad de dispersión, adaptado a colonizar suelos alterados antrópicamente, rebrota de cepa; la calidad de su madera ha propiciado aprovechamientos puntuales. Su uso en plantaciones con 600-800 pies ha⁻¹, en turno de 80 a 90 años, con crecimientos de 5 a 9 m³ ha⁻¹año⁻¹ es una alternativa a 50 años.,

Las alamedas, o choperas, nombre éste último más específicamente referido al chopo negro, tienen en España una extendida representación geográfica, cuyo mayor valor no es tanto el comercial como por su significación medioambiental, dada la diversidad de hábitats que protegen del peligro de disminución del área natural a nivel europeo. Tres especies naturales y un híbrido natural son las representadas en España: el álamo negro o chopo (*Populus nigra*), el álamo blanco (*P. alba*), el álamo temblón (*P. tremula*), el *P. euphratica* y el *P. x canescens*, híbrido natural de *P. alba* y *P. tremula*. Forman parte de sotos y riberas en el entorno de cauces de agua: el álamo negro está muy extendido por las cuencas de los grandes ríos en suelos sueltos, bien drenados. El álamo blanco, más termófilo, más propio de zonas más llanas en tramos más anchos de los cauces; el chopo temblón es un árbol montano, propio de las sierras de la mitad

septentrional de la Península Ibérica; especie pionera, con notable capacidad de emitir vigorosos brotes de raíz. Todas son especies de luz, con baja longevidad (<100años), copa ancha (más recogida en el álamo negro, altura en torno a 30m, hasta 35 m el álamo blanco, sistema radical somero, más profundo en el álamo negro; con amplio rango habitacional de altitudes (hasta a 1500-2000 m en el álamo negro), soportan bien la caliza activa; diferentes especies de hongos e insectos son parásitos comunes. Cabe subrayar su condición de especies dioicas, condición que en algunos casos acarrea problemas de regeneración a pesar de la gran profusión de semillas que producen y la rápida germinación de las mismas. Así mismo es destacable la gran capacidad de rebrotar de cepa y de raíz, y especialmente en *P. nigra* la capacidad de enraizamiento a partir de ramas, lo que facilita la producción por estaquillado en vivero. También se ha tecnificado la micropropagación por inducción de yemas en hojas y por embriogénesis somática. El álamo temblón recibe especial uso como ornamental, aunque también se ha sido evaluado su capacidad productiva de madera: En la cordillera Cantábrica, en plantaciones de *P. tremula* se dan existencias a los 40 años de 464 y 570m³ha⁻¹(según calidad) y con turnos de 40 y 60 años crecimientos de 4 y 11m³ ha⁻¹año⁻¹ (según calidades). Así mismo se ha estimado una producción de leñas de 225 m³ ha⁻¹ a dicha edad para producción de biomasa.

El término populicultura significa cultivo de *Populus*. De hecho, queda restringida al de especies que en la práctica son objeto de cultivo intensivo, con fines exclusivamente productivos por su alto rendimiento; y especialmente a híbridos interespecíficos, obtenidos por hibridación controlada entre individuos seleccionados, que han dado lugar a extensas plantaciones de material clonal con dichos híbridos, en muy diversos países; clones que, en los casos más relevantes, se han registrado con nombres específicos en el comercio internacional de material vegetal

La populicultura mediterránea descansa principalmente en híbridos de *P.x euroamericana*, grupo polimorfo que engloba estirpes de *P. deltoides*, chopo negro americano, como parental femenino y de *P. nigra* como donante polínico; híbrido que dada su permanencia tricentenaria en Europa se encuentra asilvestrado en multitud de lugares. En un rango de uso menor está *P.x interamericana*, híbrido de *P. deltoides* x *P. trichocarpa*. En el primer grupo, todos ellos de amplio uso, cabe citar el Campeador por su obtención en España (IFIE) y por su gran extensión el I-214, que forma parte del abundante número de clones seleccionados en Italia. En el Catálogo de Materiales de Base (ICONA) figuran también varios clones de *P. deltoides* y *P. nigra* (Bordils) seleccionado en Gerona, Lombardo Leonés en León, y otros híbridos.

Las plantaciones de estos híbridos en España se cifran en casi 140.000 ha. Se llevan a cabo con plantas a raíz desnuda, producidas en vivero a partir de estaquillas, con un año de raíz y un año de tallo o plantas de dos savias. Fertilización, riegos, labores y control de hierbas, tratamientos sanitarios y podas son prácticas selvícolas usadas en las plantaciones. El marco de plantación tiene influencia en el crecimiento y el turno. Espaciamientos de 6 x 6 son actualmente muy practicados, aunque en algunos casos se reduce el marco a 4 x 4 o se aumenta, si el lugar lo permite se aumenta a 7 x 7m. La combinación de espaciamiento y turno juega un papel importante: turnos largos 16-20 años y espaciamientos amplios, para madera de desenrrollo industrial, madera para contrachapado y otros usos (embalaje, cerillas, otros); turnos de 10 a 16 años cortos y menores espaciamientos.

Los eucaliptos, oriundos de Australia y Tasmania tienen una amplia representación en España en plantaciones con producción de madera, mayoritariamente usada para la obtención de celulosa. En el capítulo “Plantaciones forestales: biomasa” se hace amplia referencia a las especies de eucaliptos y la silvicultura aplicada a las plantaciones existentes en España.

Bibliografía básica

CEBALLOS L., 1966. *Mapa Forestal de España*. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes.

GONZALEZ VAZQUEZ E., 1938. *Silvicultura I. Fundamentos naturales de la silvicultura y los bosques ibéricos*.

HARLEY J.L., 1947. *Scientific basis for silviculture*.

PERRIN H., 1953. *Silviculture*. 3 vol. Nancy, Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

SERRADA R., MONTERO G., REQUES J.A. (edit.), 2008. *Compendio de Silvicultura Aplicada en España*. Especies y autores participantes: *Abies alba* (A. Aunós), *Acer pseudoplatanus* (O. Cisneros, G. Montero), *Alnus glutinosa* (O. Cisneros, G. Montero), *Betula* spp. (Cisneros, J.J. Villarino, F. Sanchez, G. Montero), *Castanea sativa* (O. Cisneros, M. Cabrera, G. Montero), *Eucalyptus globulus* (F. Ruiz, G. Lopez, G. Toval, R. Alejano), *Fagus sylvatica* (A. Madrigal, R. Calama, G. Madrigal, A. Aunós, J.A. Reques), *Fraxinus excelsior* (O. Cisneros, G. Montero), *Juglans regia* (O. Cisneros G. Montero, N. Aletá), *Juniperus thurifera* (R. Alonso J.M. Barrio, S. Roig), *Larix* spp (A. Aunós), *Pinus* (E. López, J.M. Climent, G. Montero), *P. halepensis* (M. del Río, R. Calama, G. Montero), *P. nigra* subsp. *salzamannii* (R. Alejano, J.M. González, R. Serrada), *P. nigra* subsp. *laricio* (A. Aunós), *P. pinaster* subsp. *atlántica* (R.J. Rodríguez, A. Madrigal), *P. pinaster* subsp. *mesogeensis* (R.J. Rodríguez, R. Serrada, J.A. Lucas, E. Alejano, M. del Río, E. Torres, A. Cantero), *P. pinea* (G. Montero, R. Calama, R. Ruiz-Peinado), *P. radiata* (F. Sanchez, R.J. Rodríguez), *P. sylvestris* (G. Montero, M. del Río, S. Roig, A. Rojo), *P. uncinata* (J.M. González), *Platanus* spp. (R. Clopés), *Populus* spp e híbridos (H. Sixto, J.M. Grau, F. González), *P. tremula*, *P. nigra*, *P. alba*, *P. canescens* (R. Sierra, J. Reque J.A. Oria), *Prunus avium* (O. Cisneros G. Montero), *Pseudotsuga menziesii* (A. Aunós, G. Vega), *Quercus ilex*, *Q. pyrenaica*, *Q. faginea* (J.A. Bravo, S. Roig, R. Serrada), *Q. petraea*, *Q. robur* (J.A. Reque) *Q. suber* (G. Montero, E. López),

Ordenación de Montes, Aprovechamientos y Certificación Forestal

*Los bosques están llenos de voces. Las hachas
golpean por todas partes. A veces se oye caer un árbol.
Los propietarios hacen carbón o venden leña.*

(EL CUDERNO GRIS, Josep Pla)

Eran tres. (Vino el día con sus hachas)

Eran dos. (Alas rastreras de plata. Era uno. Era ninguno

(Se quedó desnuda el agua)

(POESÍA, Federico García Lorca)

La gestión sostenible de los Montes implica ecología y técnica, que se proyectan en la práctica en la Selvicultura. Los métodos de beneficio subyacentes marcan la gestión técnica en los ecosistemas forestales. Su aplicación requiere una planificación en un marco definido por condicionantes físicos, legales, sociales y económicos. Los proyectos de Ordenación de Montes y los Planes Dasocráticos o Técnicos son los instrumentos de gestión para llevar a cabo dicha planificación.

Cabría definir la **Ordenación de Montes** como instrumento para la organización armónica y sostenida de los ecosistemas forestales en su multiplicidad de funciones. La ordenación pone en juego intervenciones técnicas dirigidas a su conservación, persistencia y mejora, a la consecución de un rendimiento máximo y sostenido de las utilidades que proporcionan, en un marco en el que se compaginen las actuaciones técnicas con los principios ecológicos básicos, sin olvidar la participación de actores territoriales.

La obra del insigne Ingeniero de Montes Lucas de Olazabal, titulada “Ordenación y valoración de Montes”, publicada en 1883, sentó las bases de la Ordenación. Su puesta en práctica necesitaba disponer de unas instrucciones técnicas con las que llevarse a cabo la pretendida planificación. Las Instrucciones de Ordenación de 1890, se inspiraban en una concepción eminentemente productora del monte, importada de la imperante en los bosques centroeuropeos, basada en la *Nachhaltigkeit* de la *Sylvicultura oeconomica* alemana (ver capítulo 12). Su revisión llevada a cabo por los también ingenieros Mackay y González Vázquez, volvió la mirada al monte mediterráneo. Sucesivas redacciones de las Instrucciones de Ordenación de Montes han constituido herramienta a disposición de los Ingenieros de Montes para redactar y,

después, poner en práctica, proyectos de Ordenación de los montes constatados en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública. En las Instrucciones para la Ordenación y Organización Económica de la Producción Forestal de 1930, mantenidas durante cuarenta años, se dio un enfoque nuevo en la Ordenación, similar en algunos aspectos a lo que décadas después vendría en llamarse gestión adaptativa; además, se incluyeron montes públicos y privados, si bien la Ordenación de estos últimos quedaría postergada; circunstancia de la que apenas se ha salido a pesar de que ocupan el 70% de la superficie forestal nacional y de la actual legislación vigente que establece un marco para su puesta en práctica.

En Orden de 29.12.1970 se aprueban las Instrucciones Generales de Ordenación de Montes arbolados; también, las normas para la elaboración de planes técnicos (NGPTMA). La Ley de Montes de 2003 y su modificación de 2006 reconocen la importancia de ordenar los terrenos forestales y marcar la Directrices básicas de ordenación y aprovechamiento de montes. Estas líneas básicas de Instrucciones de Ordenación son de aplicación al mosaico de sistemas forestales y condiciones territoriales (legislativas) de las Comunidades Autónomas de España. De hecho, existen Instrucciones de Ordenación de Montes Arbolados elaboradas por los servicios forestales correspondientes a Aragón, Castilla la Mancha, Castilla León, Extremadura, Galicia y Madrid, y Planes Técnicos de Gestión y Mejora Forestal en Cataluña y Pliego de Condiciones Técnicas Generales de Ordenación de Montes en Navarra; en ellas se contemplan con mayor amplitud las cuestiones que les conciernen más específicamente.

En las Instrucciones Generales antes referenciadas y bajo el título de "Proyectos de Ordenación" figuran los Artículos que deben seguirse en su elaboración y posterior ejecución. En lo que sigue se incorpora información muy resumida del articulado del proyecto con objeto de ofrecer una idea sucinta, pero global, del mismo. En la Orden Ministerial y en la bibliografía básica reseñada al final del presente capítulo se dispone de una información completa.

Un Proyecto de Ordenación consta de dos partes: Inventario y Planificación. El Inventario se divide en cuatro capítulos: Estado legal, Estado natural, Estado forestal y Estado económico. A su vez, el Estado legal comprende los siguientes apartados: Posición administrativa, Pertenencia, Límites, Enclavados, Cabidas, Servidumbres, Ocupaciones, Usos y costumbres vecinales. Cabe resaltar las referencias específicas al Registro de la Propiedad y al Catálogo de Montes de Utilidad Pública.

El Estado natural conciernen a Situación, Plano topográfico, Características del clima, Suelo, Vegetación, Fauna y Enfermedades y Plagas. El Estado forestal comprende la División inventarial, el Cálculo de existencias y la Descripción de unidades inventariales.

La superficie del monte o grupo de montes se divide en *cuarteles*, que pueden ser de producción, protección, recreo y otros usos y éstos en unidades inventariales, denominadas *cantones*, de carácter permanente, en general de más de 10 ha de superficie, diferenciándose los *rodales* en razón de la especie, edad, espesura o calidad de la estación.

El cálculo de existencias es una fase crítica del proyecto, que requiere un cierto acervo matemático, elementos específicos de medición (p.e. Barrena Pressler, forcípula, Blumelais) y , también recurrir a datos documentados (p.e. el Inventario Nacional Forestal, IFN,) para procesar el conjunto de variables (número de pies, altura, diámetro, otras) y parámetros manejados (clases diamétricas, estado de desarrollo, volúmenes). En el cálculo de existencias hay que distinguir monte alto de producción maderable y no maderable. Para su cumplimentación se dan instrucciones específicas. El área basimétrica por hectárea sirve para definir la espesura para montes maderables y los parámetros manejados sirven para la obtención de tablas de cubicación. Para los cuarteles de producción no maderable (montes en resinación y alcornocales) se dan pautas específicas; al igual que para el monte bajo, en este caso con especificación del número de recepes. En los cuarteles de recreo y protección se hace específica referencia a las características propias de su uso.

En la descripción de las unidades inventariables se distingue entre poblada y rasa, exposición dominante y calidad expresada en diferentes clases diamétricas ($< 5\text{cm}$) en función de la altura total media de los pies dominantes de una misma especie y edad. La espesura se apreciará por el área basimétrica expresada en $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ o por la fracción de cabida cubierta.

El monte como entidad productiva es capítulo en el que se inserta un resumen económico y se abordan las condiciones económicas del monte y del mercado. Con la información obtenida con los datos que conciernen a los cuatro estados descritos se lleva a cabo una Planificación de Usos con la fijación de objetivos que orienten la Ordenación. Se subraya que la evolución tecnológica y social imponen una planificación flexible de los aprovechamientos para adaptarse a las condiciones fluctuantes de la demanda y a las peculiaridades de cada monte. En montes de producción procedentes de repoblación artificial, el aprovechamiento de sus recursos debe guiarse por criterios financieros que desarrollen al máximo la capacidad productiva de la estación.

Las características selvícolas comprenden la especie (espontánea o introducida), el método de beneficio (ventajas versus inconvenientes de carácter económico y social, persistencia del monte), la estructura de la masa, y la elección del tratamiento. Para cada tipo de masa (monte alto regular, monte alto semirregular, irregular, monte bajo y monte medio) hay que elegir el tratamiento teniendo en cuenta las características de composición de la masa, temperamento de la especie principal, facilidad de regeneración y conservación del suelo entre otros factores.

La planificación a largo plazo, en el marco de las características dasocráticas en montes de producción maderable hay que considerar la elección del método de ordenación, la elección del turno y determinación de las edades de madurez, la articulación del tiempo en masas regulares e irregulares y la división dasocrática. Deben tenerse en cuenta una serie de condiciones que atienden a las características selvícolas en la elección del método de ordenación: división por cabida, de tramo único, de tramo móvil, de ordenación por rodales, de entresaca pie a pie o por pequeños bosques, de entresaca por bosquetes medios o grandes, de monte bajo por resalveo (tipo de tratamiento).

La planificación a corto plazo conlleva la elección del plan de cortas y tratamientos selvícolas y los planes específicos: descorche, resinación, aprovechamiento de pastos y montanera y cinegético, obtención de material de

reproducción (semillas, púas, estaquillas) y regulación del uso y aprovechamiento de frutos, hongos, apícola, plantas aromáticas y medicinales. Se incluyen los gastos por mejoras, ingresos por aprovechamientos y balance económico.

Los aprovechamientos constituyen punto clave del proyecto (de hecho, es término de amplio uso en el ámbito forestal, preferible al de explotación). El plan de cortas incluye las cortas de reproducción, las entresacas y las cortas de mejora.

La posibilidad es la expresión numérica de la capacidad productiva del cuartel al servicio de los fines de la Ordenación, y de su determinación correcta, depende en último término el acierto o el fracaso de las restantes medidas de planificación. Por ello, su cálculo debe ser el resultado de una ponderación global de criterios

El balance dinerario y financiero es el último capítulo del proyecto. En él se fijan los ingresos valorando los productos de aprovechamiento previsto y se fija el precio de tasación, necesario para clasificar los productos de los aprovechamientos de acuerdo con las calidades estimadas por el mercado.

Los gastos de explotación requieren atención a su variabilidad y al carácter subjetivo de su estimación. La diferencia P-C, entre el valor P de los productos en el mercado y los costes C de explotación, proporcionará un valor residual de transformación, que cubre los riesgos y beneficios brutos del comprador y el valor en pie de los aprovechamientos.

En el balance dinerario y financiero del Plan especial, se confrontarán los ingresos obtenidos en la valoración de los aprovechamientos con los gastos de conservación e inversión previstos en el Plan de mejoras. De esta comparación, y a la vista del estado económico de Inventario, se deducirán las previsiones a corto y largo plazo que puedan influir en la ordenación del monte.

A la diversidad de funciones y prestaciones de los sistemas forestales mencionadas en las Instrucciones de Ordenación hay que añadir aquellas no tangibles, difícilmente valorables, como es la captura del carbono en el suelo y en la masa forestal.

En el repaso de posibles añadidos a lo expuesto, cabe subrayar, también, la importancia para la Ordenación de las tecnologías de adquisición y análisis de datos (Big Data) medioambientales y forestales y la alta resolución espacial y temporal (teledetección, LIDAR) de que se dispone en el análisis de los sistemas forestales, que permite por una parte optimizar la toma de decisiones; por otra, desarrollar modelos de simulación de dinámicas en el futuro pudiendo anticipar la provisión de servicios ecosistémicos demandados por la Sociedad.

Los aprovechamientos constituyen el tercer instrumento de la gestión técnica de los montes tras la silvicultura y la Ordenación.

El tronco de los árboles (la madera) para muy diversos usos, y las ramas de la copa y los chirpiales de masas aprovechadas en monte bajo para leña con fines caloríficos, han sido el principal recurso ancestralmente obtenido de los montes arbolados. A ellos se añaden los bienes de origen biológico no maderables derivados de los bosques, que junto con los de otras tierras boscosas y de los árboles fuera de los bosques constituyen los productos PFNM (FAO, 1999).

Los bienes PFNM obtenidos del monte se tratan en otros capítulos, por lo que en éste los aprovechamientos se circunscriben a la madera, que responde a la concepción expresada en inglés por harvesting methods con referencia a la corta de árboles (felling, logging) y al término Holzernte en alemán. De hecho, quizá por su mayor volumen y

extensión geográfica al que afecta, el término aprovechamientos se suele referir al de madera y leñas en masas arbóreas.

Cabe entender el aprovechamiento maderero como un proceso que se desarrolla a través de sucesivas etapas técnicas previamente planificadas, que comprenden una serie de factores intrínsecos y extrínsecos. Los primeros presentan aspectos dasométricos, selvícolas y dendrométricos. Entre ellos cabe destacar: la especie y la calidad de la madera, el método de beneficio de la masa en que se va a practicar la corta; la conicidad y rectitud del tronco, la existencia de posibles defectos provocados por fendas de acebolladura y por insectos y hongos; características que definirán el destino de la madera según posibles usos, como son madera en rollo (muebles, carpintería), desenrollo (para chapa), astillado para producción de celulosa y biomasa, entre otros (véanse capítulos 17 y 18).

También procede hacer mención de la leña, aprovechamiento maderero menor, de origen diferente (leña de copas, leña gruesa, leña fina), obtenida en las cortas o en otras operaciones selvícolas. La de mayor tamaño se cubica en estéreos, unidad de volumen correspondiente a una pila de madera de un metro cúbico. En el sector anglosajón se utiliza *cord* (cuerda), volumen de leña de un paralelepípedo de 1.2m x 1.2m x 2.4m (3.6 m³). La leña, vocablo con una cierta connotación negativa en el lenguaje de frases hechas (“no hagas leña del árbol caído”), ha cobrado cierto protagonismo como combustible en la industria, vigorizado actualmente por su empleo en la fabricación de pellets y otros productos con fines energéticos; también, su combustión directa en el sector de la restauración y en el disfrute de la visión de su lento consumo en una chimenea.

En la planificación de un aprovechamiento de madera los factores extrínsecos conciernen a la fisiografía del monte en que se lleva a cabo. Aspectos logísticos a tener en cuenta para el desembosque son la época del año y condiciones meteorológicas, el estado de las pistas utilizadas para el desembosque y las distancias; la localización de posibles cargaderos de la madera cortada, zonas de apilado y astillado.

La operación de corta se lleva a cabo manualmente con motosierra, máquina portátil, de corte por diente, accionada por un motor que acciona una sierra de cadena, de la que existe amplitud de tipos en relación con su potencia y la altura, distancia y ángulo de inclinación de los dientes de la cadena. Así mismo se usa la motosierra para el desramado. Como contrapunto, se conservan en el British Museum londinense sierras a tracción manual, con corte en un solo sentido, usadas en trabajos de carpintería en Egipto en 1350 A.C.

Tras el apeo (corta del árbol) desde el pie del tocón tiene lugar la saca, consistente en el acarreo de los troncos con la copa del árbol, ya separada del tronco o haciéndola caer dentro de la vía de arrastre con el objetivo de reducir los daños a la masa. En la operación puede distinguirse una primera fase de reunión del material extraído y una segunda de desembosque propiamente dicho. Existen varios sistemas de **saca** reconocidos: **saca** por arrastre con mulas o con un pequeño tractor con capacidad de movimiento en rodales con fuerte pendiente, **saca** con vehículos que transportan la carga levantada del suelo, **saca** con cable, **saca** aérea, entre otras formas operativas.

La separación de la corteza de los troncos (descortezado) y la división transversal del tronco de los pies apeados en porciones (trozas), cuya dimensión viene impuesta por el destino industrial de la madera obtenida, son operaciones usualmente previas al

desembosque. El astillado de ramas mayores, para la obtención de astillas para biomasa con fines energéticos y la incorporación al suelo de la corteza y otros restos de corta (con el objetivo de restitución-parcial- de nutrientes minerales al suelo), son operaciones complementarias que también preceden al desembosque. También, la gruesa corteza de algunas especies (*P.pinaster*) ha extendido su uso en jardinería aprovechando su capacidad hidrófoba al extenderla sobre el suelo para reducir la pérdida de agua edáfica por evaporación.

Los troncos apilados (o las trozas) se disponen en cargadero que debe ser accesible a los medios de transporte viario (camión), aéreo (con cable) o fluvial, con el que se transportan a fábrica (p.e. aserradero) donde queda el material almacenado. En general la maquinaria utilizada en el proceso (tractor autocargador, camión -grúa, pala cargadora, cable de desembosque y otras máquinas) ofrece abundancia de posibilidades de elección, para lo que debe tenerse muy en cuenta los factores antes mencionados, tanto intrínsecos como extrínsecos, teniendo muy presente los condicionantes de rendimiento, costes y prevención de riesgos.

Las vías de saca antes mencionadas tienen carácter temporal, pues su trazado, al menos en parte, está condicionado por su inicio en el rodal de corta. Pero también pueden tener mayor permanencia, en cuyo caso es aconsejable dotarlas de un firme más sólido y ser objeto de atención continua para facilitar con ellas el acceso a otros trabajos que requieran cierta continuidad temporal, por ejemplo: el control de incendios y plagas, la limpieza, el acceso a parcelas experimentales; y, si su trazado lo permite, servir de vía de acceso a vehículos hasta cierto límite de carga. El hecho, también, de que las pistas forestales sean la vía final del desembosque, la salida de la madera del monte hace que pueda quedar desdibujada la ortodoxa distinción entre vía de saca y pista forestal. En zonas de alta montaña las pistas forestales han prestado un servicio inapreciable para la comunicación entre pequeños núcleos de población rural.

Las pistas forestales responden, en todo caso, a una permanencia de uso y en su configuración y, por tanto, en su construcción, deben cumplir la normativa (trazado, firme, pendiente, anchura, pavimento, desagüe, otros) a que obligan el transporte del tipo de cargas que deban soportar en términos de funcionalidad y seguridad. Todo lo cual exige la realización de un proyecto que incluye una Memoria con la información básica, dimensionado y cálculo, precios y aspectos ambientales, así como un Pliego de Condiciones, Presupuestos y Plano topográfico, perfiles y obras de fábrica.

Seguidamente se hace una descripción esquemática, complementaria, de las etapas por las que discurre en la práctica un aprovechamiento maderero en un monte público.

El proceso se inicia con la toma de decisión del aprovechamiento y corta de los pies hasta la salida del monte y transporte de la madera obtenida a su destino en fábrica. En España, en el caso de tratarse de montes de Utilidad Pública (y en general los montes gestionados por las administraciones públicas) este proceso, a grandes rasgos, consiste en primer lugar en la selección de los árboles de corta (o partida de árboles) objeto del aprovechamiento (tramo del monte, situación en el plano general). En las cortas de madera, si el monte esta ordenado, debe seguirse el Proyecto de Ordenación o Plan establecido: corta final a hecho de los rodales fijados si se ha alcanzado el turno, claras y clareos en etapas intermedias, en su caso cortas por entresaca, u otras, lo que llevará consigo la selección de pies aislados, o rodales enteros y el cálculo del volumen de los posibles diferentes partidas de madera objeto del aprovechamiento mediante la

aplicación de tablas de producción y cálculos dasométricos. Con su valoración económica se procede a la subasta del lote de árboles (si no hay compra directa), normalmente a la baja, con los condicionantes legales y técnicas exigibles para acudir a la misma.

Tras la adjudicación del lote de árboles objeto de corta se procede al señalamiento, operación consistente en el marcado de los árboles con un chaspe practicado en su corteza, tras la cual el rematante (persona física, adjudicatario del producto) puede proceder al inicio del apeo, o corta, de los árboles señalados, a la que sigue la operación de contada en blanco, control de la correspondencia entre los pies señalados y los realmente abatidos. En la operación se utiliza un martillo marcado provisto de un troquel con letras y señales distintivas con el que se golpea el tronco en la porción de madera descortezada en el señalamiento previo, a la vez que se lleva acabo el conteo de los árboles apeados.

Realizada el conteo en blanco (control de la madera señalada y cortada) se procede al apeo de los árboles, saca, desramado, descortezado, separación en trozas, carga del material y transporte en pista forestal hasta carretera y arribo a la fábrica, donde queda depositado a la espera del inicio de la operación de secado y de primera transformación (aserradero) y otras ligadas a los diversos destinos ya mencionados.

Es destacable subrayar el valor añadido que confiere al aprovechamiento maderero la certificación del producto obtenido, certificación de que las operaciones selvícolas (tratamientos) como las propias del propio proceso del aprovechamiento, se han llevado a cabo preceptivamente atendiendo a los criterios de reducción de daños y sostenibilidad del ecosistema.

La sucinta exposición sobre los aprovechamientos madereros, expuesta en las líneas precedentes, está principalmente basada en la bibliografía reseñada a continuación.

La Certificación Forestal complementa a los instrumentos de gestión y proporciona un valor añadido a la figura de Monte Ordenado. Se trata de un proceso de carácter voluntario, consistente en la evaluación - realizada por una tercera parte independiente - al que se somete una superficie forestal, dando lugar a un certificado que garantiza su gestión en términos económicos, ambientales y sociales acorde a unas normas aprobadas internacionalmente. La certificación lleva consigo el etiquetado de los productos forestales y de sus derivados que garantiza al consumidor su procedencia de un monte gestionado de manera responsable. Es una herramienta que vincula de forma directa el comercio de los productos obtenidos de montes ordenados (madera, otros) con su gestión sostenible, mediante una acreditación escrita de su calidad, tanto en el monte como en la cadena de custodia y fabricación de los productos comercializados. La certificación no solo aporta un valor añadido a los productos forestales, sino que mejora la competitividad, abre mercados nuevos y mejora la imagen de los gestores forestales.

Bibliografía básica

Ordenación

BOE.1971. *ORDEN de 29 de diciembre de 1970 por la que se aprueban las Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes Arbolados* Orden de 29.12.1970

INSTRUCCIONES DE ORDENACIÓN DE MONTES ARBOLADOS de las CCAA de Aragón, Castilla la Mancha, Castilla León, Extremadura, Galicia y Madrid, y Planes Técnicos de Gestión y Mejora Forestal (Cataluña) y Pliego de Condiciones Técnicas Generales de Ordenación de Montes (Navarra).

MACKAY E., 1944. *Fundamentos y métodos de la ordenación de montes*, vol1 y vol 2 Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

MADRIGAL A., 2009.*Ordenación de Montes Arbolados*. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

MARTÍNEZ SÁNCHEZ S., PRIETO A., DÍAZ BALTEIRO, L.,2011. *Manual para la redacción de instrumentos de gestión forestal sostenible (Ordenación de montes) en Castilla-la Mancha*. Serie Forestal nº8. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, Dirección General de Política Forestal.

ROJO A., 2015.El reto de la Ordenación de los Montes Privados. Cuaderno SECF nº39: 275-297.

VEGA-GARCÍA C., GARCÍA R., 2017. Big Data y Ordenación de Montes: ¿qué ha cambiado en realidad? *Cuadernos de la SECF nº 43*:31-40.

Aprovechamientos

CRISTINA PRADES C. *et al*, 1998. Nuevas tecnologías en la industria y los aprovechamientos forestales en relación con la ordenación y la silvicultura. *Cuadernos de la S.E.C.F nº*, 6: 205-212

TOLOSANA E., 2012. *Apeo de los árboles con motosierra*. Edit. Paraninfo.

TOLOSANA E., *et al*, 2014. *Manual de mecanización de los aprovechamientos forestales*. Edit. Mundi-Prensa, pp 324.

VIGNOTE S., 1993. *Los tractores en la explotación forestal*. Edit. Mundi-Prensa, pp 150.

Dehesas, pastizales, arbustedos y matorrales

*¡Cuánto sabe la flor!, sabe ser blanca
Cuando es jazmín, morada cuando es lirio.
Sabe abrir el capullo
Sin reservar dulzuras para ella,
A la mirada o ala abaja.
Permite sonriendo
que con su alma se haga miel
(LARGO LAMENTO, Pedro Salinas)*

El conjunto de las cuatro formaciones vegetales/sistemas tratados en este capítulo ocupa una considerable superficie de monte en España, en parte formando sistemas mixtos, pues el pastizal forma parte de las dehesas y, también está presente en algunos matorrales y arbustedos; otro rasgo común, aunque con menor presencia en los espacios de arbustedo-matorral-pastizal, es el aprovechamiento ganadero.

La dehesa ha dado lugar a variadas definiciones. En cualquier caso, "los términos silvopastoral, agroforestal, ecosistema seminatural, formación forestal inestable mantenida por la intervención antrópica, forma degenerada del encinar, papel ecológico y económico de sus componentes pascícolas, ganaderos y agrícolas, mosaico de distintas teselas con diferentes usos y aprovechamientos (monte, labor y pasto), suma de capital circulante (el pasto) y otro más estabilizador (arbolado), ecosistema sabaniforme o de parque" son todos ellos términos y expresiones que reflejan el énfasis que se ha dado a unas u otras características del sistema.

La dehesa puede definirse como sistema antrópico de manejo agrosilvopastoral, con arbolado mediterráneo (encinas, alcornoques, rebollos, también fresnos), disperso y abierto, con un estrato herbáceo cuyo aprovechamiento principal es la ganadería extensiva. Es, por tanto, un bosque hueco (monte arbolado con cabida cubierta incompleta, de 5 a 60%), procedente de un bosque denso en el que se ha llevado a cabo una eliminación de árboles (con incremento de la radiación solar), fase seguida por otra de control de la vegetación leñosa y estabilización del pastizal originado en su superficie

y/o introducción de algún cultivo. Un aprovechamiento adicional de frutos (aprovechamiento de la bellota en montanera), ramón para el ganado, caza, corcho (alcornoques) y leña; es una conjunción de usos que confieren sostenibilidad al ecosistema y dan lugar a un paisaje equilibrado. La expresión dehesa boyal hace específica referencia al ganado de labranza al que sustenta.

Las dehesas tienen origen agrícola (tierras labradas en rotaciones largas) y ganadero (pastoreo extensivo o semiextensivo). El término dehesa procede del castellano defensa, ejercida frente al poder de la Mesta como terreno acotado al libre pastoreo de los ganados trashumantes que recorrían el suroeste español en el medievo. En el siglo XIX, la desamortización de Madoz y Mendizábal tuvo efectos sobre la dehesa: positivos en la conservación del arbolado, frente a negativos por su corta y puesta en cultivo, según interpretaciones diametralmente opuestas. En el siglo XX, primero sufrió roturaciones en grandes superficies; después, con la aparición de la peste porcina africana y consiguiente declive del cerdo ibérico y aprovechamiento de la bellota, las dehesas entraron en una fase de abandono de la producción forestal en favor de los cultivos; circunstancia considerada por los expertos uno de los factores responsables de la corta de encinas y desencadenante de su degradación.

Los importantes cambios económicos sufridos en la época moderna han trastocado, el esquema tradicional de aprovechamiento de las dehesas: la carestía de mano ligada a la mecanización, la simplificación de la ganadería que soporta una dehesa unida a la escasez en personal adecuado (pastores, vaqueros, otros) y a la casi desaparición del cerdo ibérico, la reducción de la leña como fuente energética para el calentamiento de la población, envejecimiento y corta de arbolado, son las causas de ello, a decir de los expertos.

Actualmente, las dehesas ocupan más de dos millones de hectáreas en la península ibérica, principalmente en el suroeste español, desde Salamanca hasta Huelva, y el Alentejo y Algarve en Portugal. Las dehesas se extienden en un amplio rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 2000 m, bajo un clima mediterráneo semiárido, con estíos secos y con altas temperaturas, e inviernos irregularmente lluviosos (250-800 mm de media). Los suelos son pobres, con rocas silíceas (pizarras y granitos, principalmente), si bien el pastoreo les confiere alguna fertilidad.

El estrato arbóreo está formado por vegetación xerófila esclerófila, con predominio de la encina, *Quercus rotundifolia*, sobre el alcornoque, *Quercus suber*; con quejigos, rebollos y otros *Quercus* en lugares más húmedos. Los árboles desmochados, con copas abiertas sostenidas por pocas y gruesas ramas, y la práctica del olivado (eliminación de brotes chupones) han acompañado a las dehesas a lo largo de siglos y revelan su imagen actual. Alimento para la cabaña ganadera, en forma de ramón, o por montanera, con una producción de bellotas muy variable, dada la condición de especies veceras (200-400 kg ha⁻¹año⁻¹, hasta más de 700 kg ha⁻¹año⁻¹); con alto contenido en hidratos de carbono (almidón) y pobre en proteínas.

El método de beneficio más adecuado de la masa arbórea de las dehesas es la masa irregular y su tratamiento general la entresaca por huroneo (corta discontinua de máxima flexibilidad en su aplicación). No obstante, en dehesas con pies envejecidos y

con pérdida del monte bajo irregular es frecuente encontrar masas regulares, en las que también debe practicarse la entresaca para irregularizar el vuelo. La determinación de la espesura óptima en relación con la edad de los árboles y sus características dasométricas está expuesto detalladamente en la bibliografía básica adjunta, la que también ha sido la fuente de información utilizada a lo largo de este trabajo.

El problema selvícola más importante es la regeneración con el fin de sustituir los pies cortados y mantener la estructura y densidad que corresponde a la espesura normal, para lo cual se proponen diversas formas de actuación: aprovechar el brote de cepa y raíz de los pies apeados (en la encina la capacidad de rebrote es muy alta); dejar la brotación en pies muy podados o decrépitos y esperar el mayor crecimiento del brote del centro de la mata, no accesible al diente del ganado; favorecer la regeneración natural acotando un tiempo en función del ganado pastante. Otros aspectos selvícolas a tener en cuenta son las podas (para favorecer la producción de bellotas), los desbroces (para mantener la superficie pastable) y los tratamientos fitosanitarios, especialmente frente a insectos que reducen la producción de bellota.

Otro problema que afecta a las dehesas es el conocido como *seca*, decaimiento y muerte de encinas y alcornoques con síntomas parecidos a los de la sequía; término impreciso dado su origen diverso, aunque los síntomas hacen sospechar la implicación del hongo *Phytophthora cinnamomi* que provoca la pudrición de las raíces; todo ello hace preferible llamarla pudrición radicular por fitófora.

La presencia del arbolado en la dehesa constituye una garantía del mantenimiento de la fertilidad al aumentar las concentraciones de nutrientes (potasio y fósforo principalmente) en el pastizal que crece bajo las copas de los árboles. También es beneficioso la creación del microclima que generan y que facilita la germinación y el desarrollo de especies más umbrófilas, de calidad. Los expertos enfatizan la influencia de los factores indirectos a los que consideran como los que dan lugar a las producciones más valiosas del monte.

El otro componente natural definitorio de las dehesas es el sustrato herbáceo formado por un pastizal terofítico, con producción media del orden de 1500 kg ha^{-1} , concentrada en primavera y otoño, con multitud de especies, que se secan estivalmente. Entre las leguminosas con interés pastoral se encuentran especies de *Trifolium*, *Medicago* y *Anthyllus*. Zonas de especial valor pastoral son los majadales (zonas de querencia del ganado, con producciones del orden de 5000 kg ha^{-1}), y los vallicares, en vaguadas, con abundancia de gramíneas perennes, con producciones que pueden alcanzar 9000 kg ha^{-1} . El estrato arbustivo, muy rico en especies (jara, lentisco madroño, cantueso, cornicabra, lavándula) ha sido eliminado en la mayor parte de su área original con el objeto de incrementar la producción de pastos.

Los pastizales, también llamados herbazales, praderas y majadales, son ecosistemas con predominio de vegetación herbácea, de origen natural o producto de la intervención del hombre. Se distinguen tres tipos de pastizales: tropicales, o de sabana, con árboles muy dispersos, temperaturas altas y alternancia de periodos de lluvias intensas y estiajes; pastizales fríos, boreales, con formación de permafrost, sin arbolado, con escasa vegetación de matorral; y pastizales templados (con inclusión de

los Ibéricos), con alternancia térmica estacional, inviernos fríos y estíos secos y calientes, que pueden conformar pastizal-matorral.

Los pastizales, con diferencias plausibles en su productividad, relacionada con su situación y características de las plantas que lo forman y de su valor bromatológico, representan fuente de alimento para animales herbívoros, a los que aportan un pasto rico en carbohidratos; aprovechable al diente; con especial relevancia en España para el sustento de la ganadería como componente de las dehesas

Los expertos distinguen entre pastizales terofíticos acidófilos sobre suelos no arenosos, con abundancia de gramíneas (entre otras especies *Anthoxanthum aristatum*, *Briza maxima*, *Molineriella laevis*, *Micropyrum tenellum*, *Psilurus incurvus*, *Vulpia myuros* y *V. ciliata*), y escasa representación de leguminosas (entre otras especies, *Hymenocarpus lotoides*, *Coronilla repanda*, *Lathyrus angulatus*, *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Trifolium arvense*, *T. campestre*, *T. cherleri* y *T. stellatum*; pastizales terofíticos posteriores al laboreo, compuestos por herbáceas anuales, gramíneas (*Aegilops geniculata*, *A. triuncialis*, *A. neglecta*, *A. ventricosa*, *Bromus rubens*, *Lolium rigidum*, *Taeniatherum caputmedusae* y *Trisetum paniceum*) y leguminosas (*Astragalus hamosus*, *Lupinus angustifolius*, *Medicago orbicularis*, *M. rigidula*, *Trifolium angustifolium*, *T. stellatum*, *T. hirtum* y *T. cherleri*) *Astragalus hamosus*, *Lupinus angustifolius*, *Medicago orbicularis*, *M. rigidula*, *Trifolium angustifolium*, *T. stellatum*, *T. hirtum* y *T. cherleri*.; y majadales, los cuales constituyen el óptimo pastoral del medio mediterráneo, en ellos domina la gramínea *Poa bulbosa*.

Los **arbustados** (o arbustales) son agrupaciones vegetales de plantas leñosas que no tienen tronco y copa definidos, que pueden alcanzar hasta unos 5m de altura; si no superan 1 m de altura se designan como **matorrales**; nombre, éste último que en el uso común comprende también las matas o matillas y alcanza a las formas arbustivas de menor tamaño.

Al manejo selvícola de los arbustados (fruticetum) y de los matorrales (subfruticetum) se le ha asignado la denominación de fruticeticultura. En su aplicación los técnicos (bibliografía básica incorporada) enumeran una serie de aspectos comunes a seguir en su gestión técnica: mantenimiento de su heterogeneidad, relevancia de la participación histórica del hombre en su gestión, importancia de su potencial multifuncionalidad (caza, ganado, turismo), manejo teniendo presente el territorio del que forman parte; ello, sin olvidar las peculiaridades ecológicas y características intrínsecas de cada uno.

En su conjunto ambas formaciones ocupan en España alrededor del 20% de la superficie desarbolada y exenta de cultivo. Cabe distinguir arbustados y matorrales con significación de climax, que representan el óptimo de la vegetación natural estable compatible con la localidad y agrupaciones que suponen etapas de degradación de formaciones arbóreas. Los primeros comprenden formas rastreras de enebros, sabinas piornos de alta montaña, que se han extendido a cotas inferiores del bosque y colonizado por pastoreo abusivo; también se incluyen en este tipo de matorrales climácicos los que ocupan marismas y saladares.

Los matorrales originados por degradación del bosque son los más extendidos, en ellos abundan formas arbustivas y predominio de matorral de leguminosas. Cabe citar los tojares en suelos silíceos gallegos, derivados de robledales, las bojedas, en

suelos calizos, procedentes de robledales, los escobonales, derivados del alcornocal; también retamares y lentiscales; junto con formas correspondientes a la etapa de los pinares como son madroñales, gayubares, brezales; también tomillares en suelos calizos, considerados la última etapa degradativa de la vegetación leñosa; y gramíneas xerófilas (*Festuca*, *Brachypodium* resistentes a incendios) y, con mención especial, por la extensión que ocupa (700.000 ha) y su interés económico, el esparto (*Macrochloa tenacissima* o *Stipa tenacissima*; con cuyas fibras se elaboran sogas, alpargatas, cestos y estropajos).

Una visión más profunda y detallada de los arbustados y matorrales, desde el punto de vista de su significación serial (posición dentro de la serie de vegetación a la que pertenecen) ha conducido (San Miguel, en bibliografía básica adjunta) a una tipología de estas formaciones vegetales clasificándolas en permanentes y seriales, éstas últimas, de alto y bajo nivel evolutivo. En el primer grupo, las permanentes, se distinguen varios subgrupos al relacionar su carácter permanente con factores climáticos (frío, sequía), edáficos o por otras causas. Enebrales, piornales, ericáceas de alta montaña, erizionales, rosáceas de alta montaña tienen especies en cuya permanencia el frío ha sido factor determinante. Coscojares, palmitares, matorrales retamoides entre otros, se relacionan con la sequía como factor más determinante de su existencia. Sabinares y enebrales costeros, las comunidades subfruticasas de dunas fijadas, las que soportan bien la salinidad y los suelos yesíferos deben su permanencia a las características del suelo. Las bardas, los zarzales y espinares, arbustados de la mancha mediterránea (madroño, brezo arbóreo, labiérnago, mirto y otras especies), los matorrales de coscajares y garrigas, las leguminosas retamoides, y los matorrales nitrófilos y halófilos son agrupaciones con alto valor evolutivo. Los jarales, cantuesares y mediterráneos similares, brezales, tojales y matorrales acidófilos de zonas húmedas y romerales, salviales tomillares, mediterráneos basófilos figuran en el grupo definido como de bajo nivel evolutivo. En suma, un complejo conjunto de formaciones vegetales, del que los montes ibéricos son rica muestra.

Bibliografía básica

BERMEJO, I. (1994). Conservación de sistemas adehesados. *Revista Agricultura*, nº 738: 40-44, Madrid.

CAMPOS PALACÍN, P. (1992): “*Reunión Internacional sobre sistemas agroforestales de dehesas y montados*. Agricultura y Sociedad, 62. MAPA. Madrid.

CAMPOS PALACÍN, P. 2016. Renta ambiental del monte. *Cuadernos de la SECF* nº 39: 35-71.

CEBALLOS L., 1966. *Mapa Forestal de España*. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial.

HERNÁNDEZ DÍAZ-AMBRONA, C.G., 1999): Manejo del suelo en la dehesa. *Revista Agricultura*, nº 808: 924-927, Madrid.

MONTOYA OLIVER, J.M. 1993. *Encinas y encinares*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.

SAN MIGUEL AYANZ, A. (1994): *La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.

SAN MIGUEL A, ROIG S., CAÑELLAS I., 2008. Fruticeticultura. Gestión de arbustados y matorrales. En *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* (Edit.: R. Serrad, G. Montero, J.A. Reque), INIA, 877- 907.

SERRADA R., SAN MIGUEL A., 2008. Selvicultura en dehesas. En *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* (Edit.: R. Serrad, G. Montero, J.A. Reque), INIA, 861-876.

Repoblación forestal. Producción de planta y Mejora genética

*...Entre el hombre y la roca,
¡con qué melancolía
Sabes comunicarme tu tristeza,
Árbol, tú, triste y bueno, tú el más hondo,
El más oscuro de los seres!
...¡Tú, genio, furia, expresión de la tierra dolorida,
Que te eriges, agudo, contra el cielo,
Como un ay, como llama, como un clamor ¡...
(VOZ DEL ÁRBOL, Dámaso Alonso)*

Ya en crónicas medievales y en pragmáticas reales se hace mención específica de la repoblación forestal de terrenos baldíos. Los incendios de masas boscosas, otras perturbaciones ambientales extremas y las cortas indiscriminadas han conducido a llevar a cabo, a lo largo de los siglos, repoblaciones de los espacios generados, mayoritariamente con diferentes especies de pinos. Aunque con resultados muy variables, la presencia, a veces centenaria, de relictos de las mismas atestiguan un cierto logro del empeño emprendido, sin duda ayudado por la resiliencia de la naturaleza.

En España es actividad propia de la Ingeniería de Montes, e implica ciencia experimental y técnica, como parte de las ciencias forestales. Es, en suma, herramienta básica en la restauración ecológica como proceso de restablecimiento de un ecosistema (el bosque) que ha sido dañado, degradado o destruido.

En este capítulo se hace referencia histórica a la repoblación forestal, se resalta su importancia y se pasa revista a la técnica y aspectos confluyentes en ella que posibilitan llevar a cabo las diferentes operaciones que conllevan las repoblaciones forestales, con una información en buena parte basada en la bibliografía básica reseñada al final del mismo. Así mismo se dedica la última parte del capítulo a la producción de material forestal de reproducción (semillas, plantas, estaquillas) y a la mejora genética complementos de la repoblación.

En el Diccionario Forestal (SECF), en su primera acepción, se define repoblación como *todas las operaciones que contribuyen a la creación de una nueva masa forestal en una superficie que pudo, o no, haber estado previamente cubierta de bosque, hasta que se la considera implantada*. Añade, como sinonimia, *repoblación artificial*,

reforestación, aforestación. Términos semejantes a los usados en idioma inglés: *afforestation* (establecimiento de una formación arbórea en un área que no existía previamente) y *reafforestation* (hacerlo donde ya existió y se trata de reponerla). Cabía también, incluir marginalmente a las plantaciones forestales (cultivos forestales) comúnmente con especies denominadas de crecimiento rápido, que son manejadas como un cultivo agronómico con aplicación de técnicas tales como laboreo, riego, fertilización, aplicación de plaguicidas.

La repoblación de más de cinco millones de hectáreas, mayoritariamente con coníferas, se inició en España a finales del siglo XIX con la restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas con el objetivo de fijar suelos y evitar avenidas (ver capítulo 16). Con una actividad intensa durante cincuenta años tras la guerra civil se pretendió cambiar la imagen de los extensos paisajes desnudos, tan magistralmente reflejados en las viñetas de Antonio Mingote (ver especial MONTES). Se llevaron a cabo, también, con la clara concepción científica de mejorar con los años (decenios) los depauperados suelos en los que, carentes de materia orgánica, no era factible la plantación de las más exigentes frondosas (encina, alcornoque, robles) primitivos ocupantes de los mismos. En los escasos suelos con mayor fertilidad no se desechó un posible carácter productor, principalmente de madera.

Labor ingente, aunque con evidentes fallos, tanto por la veleidad de la propia naturaleza (meteorología cambiante y orografía muy irregular) como por la inexperiencia y la ambición de logros apresurados, con la que se hizo realidad el objetivo básico: crear mosaicos verdes en el territorio nacional. La enorme experiencia adquirida en la ejecución técnica de los trabajos de repoblación ha dado lugar a innovaciones tecnológicas transmitidas a otros países.

Las magnitudes que se manejan en la repoblación forestal de un territorio en términos de espacio, tiempo e inversión requeridos exigen una planificación técnica y económica que deben formar parte de una política forestal global de Estado, también a nivel de Comunidad Autónoma. En ella se debe incorporar la conservación y preservación de las masas forestales existentes frente a perturbaciones (incendios, entre otras) y la gestión técnica de los recursos que suministran. Las aplicaciones técnicas derivadas de la experimentación (propia y de terceros) y, en alguna medida, de la investigación básica, debe ser el marco de las actividades repobladoras. Tres son los ámbitos en que se desarrollan dichas actividades: el origen de la semilla usada, el cultivo de la plántula producida y su plantación en el monte.

La elección de la especie o especies con las que repoblar se lleva a cabo con atención a factores de clima y suelo, ampliados con otros factores ecológicos y factores económicos, sin olvidar, si se trata de reforestación, a la especie primigenia. El temperamento, el crecimiento, el porte, el enraizamiento y la longevidad son atributos (preconizados en la selvicultura alemana) deben ser tenidos en cuenta, junto a criterios ecofisiológicos (ver capítulo 3), como son los mecanismos de respuesta al estrés, las necesidades nutricionales y la plasticidad fenotípica de las especies. La utilización de exóticas, al introducir ecosistemas diferentes, debe ser cuidadosamente analizada.

En repoblaciones de coníferas (mayoritariamente pinos), las características de suelo (ácido o básico, granulometría, entre otros) y la situación geográfica y topográfica del lugar de plantación (altura, precipitaciones anuales y régimen térmico) son factores

condicionantes en la elección de especie; y, en principio, un mayor acopio de datos sobre el perfil edáfico (especialmente textura y materia orgánica) lo pueden ser para las frondosas. La existencia de una legislación y normativa sobre material forestal reproductivo, con definición técnica de sus distintas clases permite adecuar el material de reproducción obtenido a sus potenciales destinos; ello conduce, definida la especie, a precisar su región de procedencia y nos adentra en el ámbito de la mejora genética tratado posteriormente.

Un masivo suministro de semillas requiere una compleja infraestructura de la que depende la recolección de semillas, su control de calidad y distribución a los servicios repobladores. A tales efectos en España se creó en 1985 el Centro Nacional de Recursos Genéticos Forestales de El Serranillo, en Guadalajara y, así mismo, se ha dado rango de Centro de Recursos Genéticos Forestales a las instalaciones del vivero de Centro de Puerta de Hierro en Madrid. A las labores de recolección de semillas y de cualquier material reproductivo (frutos, estaquillas, púas para injertos) se unen las de su limpieza, eliminación de los restos del fruto y otras impurezas (operación mecanizada) y la realización en laboratorio de ensayos de viabilidad y germinabilidad de las semillas limpias; tareas que finalizan con su almacenamiento. La irregularidad temporal reproductora de los árboles, especialmente marcada en las especies veceras, obliga a un almacenamiento y conservación de las semillas en cámaras a baja temperatura y atmósfera controlada que, ante su envejecimiento natural y posibles daños por parásitos, permitan mantener un porcentaje de viabilidad aceptable para su uso a medio plazo (varios años).

El segundo proceso atañe a la obtención de las plantas en vivero. Las semillas de las especies más comúnmente usadas no presentan especiales problemas de germinación en viveros al aire. Algunas especies presentan una durmancia (dormición, letargo) más acusada, que requiere periodos hasta de un año de permanencia a baja temperatura. No es práctica común en el sector forestal, para vencer la durmancia la aplicación de agentes de *priming* como en algunas especies en el ámbito agrícola; no obstante, en plan experimental, de ámbito reducido y no para una producción comercial, se han aplicado algunas fitohormonas (giberelinas) como estimulantes o aceleradores de la germinación.

El cultivo de las plantas en el vivero puede hacerse a raíz desnuda o en envases. La primera opción es apenas practicada dada la mayor mortandad que se produce en el trasplante a monte dada la desecación que sufren las raíces, difícilmente recuperable tras la plantación en estaciones con suelos con escaso contenido hídrico. Práctica viverística (no empleada en España) es mantener las plantas (coníferas a raíz desnuda) desde su arranque en cámara a baja temperatura hasta su plantación en primavera con el fin de favorecer el arraigo, simulando así una plantación de otoño.

La planta en envase puede soportar mejor el estrés que provoca el trasplante a monte y conseguirse un mejor arraigo, clave en su supervivencia a corto/ medio plazo. Existen en el comercio abundancia de formas, tamaños, estructura y materiales que conforman los envases utilizados para planta forestal Cabe destacar los envases con costillas en los que se evita el enrollamiento radicular que, si persiste años, puede impedir el transporte físico de agua en su interior con muerte de la planta. Especial atención requiera la diatriba (siempre presente) sobre la bondad (eficacia) del envase

grande - planta con mayor desarrollo y capacidad de subsistencia en el monte- respecto al pequeño que soporta *mejor* el estrés tras el trasplante, y ocupa menos espacio en el vivero.

El sustrato de cultivo incorporado en los envases ofrece también muchas variantes. Son usuales mezclas artificiales de arena de diferentes granulometrías y turba fertilizada con la incorporación de nutrientes minerales y siempre esterilizada para prevenir pudriciones radiculares por hongos: El complejo fitopatológico conocido como *damping-off*- (pre-, emergencia y post-) es la enfermedad que más mortandad produce en viveros forestales. El uso de tierra vegetal extraída del monte puede, además, contener semillas de malas hierbas que es necesario eliminar con un trabajo añadido.

El estado nutritivo de la planta condiciona el necesario equilibrio tallo/raíces y la formación de nuevos ápices radiculares. Diferentes resultados experimentales muestran la eficacia de un aporte adicional de nitrógeno previo al trasplante para que, iniciada la formación de nuevas raíces (arraigo) se estimule el crecimiento posterior del cuerpo de la planta. A tales efectos, aunque no constituyen práctica común, pueden utilizarse fertilizantes de acción retardada.

La forma de riego en el vivero y su control periódico son factores clave para la producción de planta. El riego puede practicarse a manta (evitando que se produzca anoxia radicular por exceso de agua), por aspersión o incluso por goteo. El control de la humedad edáfica con sensores insertos en el suelo o directamente del estado hídrico de la planta mediante mediciones aleatorias del potencial hídrico al inicio del día (potencial de agua de base) son prácticas cada día más extendidas en grandes viveros.

Todos los factores señalados atañen a la calidad de la planta cultivada en el vivero, por ende, a su inmediato éxito tras la plantación. La producción de planta de calidad cobra especial interés en ambiente mediterráneo en el que las situaciones de estrés hídrico y térmico pueden generar mortandades masivas. Una abundante bibliografía muestra la búsqueda experimental de criterios de calidad basados en relaciones entre variables de crecimiento (altura, diámetro), parámetros hídricos (frecuencia de riegos y potencial hídrico) y nutricionales (momento y dosis del aporte de nutrientes) en relación con las pautas temporales de entrada y salida de la dormancia invernal y en conexión con la época de plantación.

La plantación en el monte cierra el proceso. La época de la plantación y la preparación del terreno son clave para conseguir un buen asentamiento de la planta y contribuir al arraigo. En la plantación de otoño la planta se beneficia del acopio invernal de agua en el suelo, pero está expuesta a sufrir daños por heladas tardías; en la plantación de primavera se evitan estos daños, pero un retraso en las precipitaciones, ya llevada a cabo la plantación y reiniciado el crecimiento, puede conducir a un estrés hídrico que, prolongado, conduzca a una mortandad acusada.

Una adecuada preparación del terreno conduce, según los repobladores, al éxito o fracaso de una repoblación. Existe variedad de utensilios manuales (plantadores) y así mismo de maquinaria (motriz y de aperos) disponibles para el repoblador. La experiencia adquirida en la repoblación de terrenos con pendientes, en ocasiones acusadas, ha ido generando diferentes tipos de aperos específicos a partir de los usados en el ámbito agronómico.

La acertada combinación de tamaño de planta, preparación del terreno y época de plantación, aunque no aseguran el éxito pleno de la plantación, pueden en términos probabilísticos acercarse al mismo. En cualquier caso, siempre hay que prever una inmediata reposición de las marras que siempre se producen en el tiempo de la plantación. Posteriormente, tras el primer o segundo periodo vegetativo, debe realizarse un conteo de marras y proceder a su reposición.

El recién establecido repoblado está sometido a variados daños potenciales causados por herbívoros, desarrollo de malas hierbas, estrés hídrico y térmico, y otras inclemencias del tiempo. Se han diseñado y comercializado diferentes *protectores*, con cuya colocación se consigue una cierta protección ante dichos daños. Con esta práctica finaliza la etapa de repoblación y se inicia una nueva que compete al selvicultor gestor de la futura masa forestal.

La percepción de que la variabilidad existente en las poblaciones de animales y vegetales tiene un componente hereditario en términos de supervivencia y crecimiento ha sido históricamente aprovechada por el hombre en la ganadería y la agricultura. Desde los trabajos de cruzamiento de guisantes de Mendel y la formulación de sus famosas leyes una intensa labor de investigación en los ámbitos biológico y matemático (bioestadístico) en diversos centros en todo el mundo, ha conducido al desarrollo de la genética cuantitativa extensible al comportamiento de todos los seres vivos.

La obtención de mejoras en caracteres que aporten alguna clase de beneficios mediante la selección y manejo genético de individuos y poblaciones de árboles es el objetivo de los programas de Mejora Genética Forestal.

Procede aquí resaltar la labor premonitoria de Fernando Molina, figura insigne de la ciencia forestal en España, investigador y director muchos años del Centro Forestal de Lourizán (Pontevedra), introductor en España de los estudios experimentales de mejora genética forestal. En este ámbito cabe mencionar los ensayos de procedencias de *Pinus pinaster*, que estableció en los años 50 del pasado siglo y los primeros ensayos de injertado con púas de pies sobresalientes en la producción de miera y madera, entre otros. Junto a su vinculación al estudio de la flora gallega, micología y micorrización en especies forestales e implantación de una red de estaciones meteorológicas en Galicia, (entre otras actividades) cabe aludir en el ámbito de la mejora genética forestal a sus trabajos con exóticas, tanto a nivel de ensayos de procedencias (p.e. de *Pseudotsuga menziesii*), como de introducción, a nivel de bosque, de otras exóticas de los continentes americano, asiático y australiano, algunas de potencial interés para su introducción en España a nivel productivo. Sirva esta escueta reseña de homenaje a su egregia figura.

Al iniciarse un programa de mejora genética se dispone de las masas forestales de las diferentes especies existentes en un territorio. En ellas se pueden observar apreciables diferencias de crecimiento y forma, así como de comportamiento frente a la acción de parásitos (hongos e insectos, principalmente). No solo entre especies (en su mayor parte diferenciadas de visu para el profano) sino también al comparar individuos de la misma especie; y, también, si la comparación la hacemos entre poblaciones. Dicha variabilidad tiene un componente genético (heredable): en él se sustentan los programas de mejora genética forestal.

Los objetivos más comunes en los programas de mejora son la adaptabilidad de las especies arbóreas a su lugar de plantación, el incremento de la productividad y de la tolerancia/resistencia a plagas y enfermedades través de selección y mejora recurrentes, y la conservación a largo plazo de la diversidad genética. En el sector forestal, la longevidad de los árboles y la prolongada edad que alcanzan para su aprovechamiento maderero añaden dificultades (y mayores retos) al requerirse el transcurso de muchos años en la obtención de resultados; circunstancia a la que se añaden las imprevisibles alteraciones impuestas en esos lapsos de tiempo por factores bióticos y abióticos; también, la normal mayor dificultad y coste de acceso (espacial y temporal) al sitio (monte) y la derivada del mantenimiento adecuado y acotamiento espacial frente a daños, son dificultades con las que se enfrentan los programas de mejora genética forestal.

La variabilidad de una especie puede expresarse entre poblaciones de árboles y entre individuos de la misma población. Dicha variabilidad se usa para elegir los árboles o las poblaciones que proporcionen la mayor ganancia en las variables de crecimiento normalmente de la porción aérea del árbol. Ha suscitado gran interés la hipótesis según la cual la complejidad de los caracteres fenotípicos son expresión de complejos sistemas biológicos (fisiológicos) que se expresan en los genes y que dichos caracteres conectan entre sí mediante redes de relaciones. Todo ello ha llevado a tener una visión más integral del fenotipo, en el cual la concurrencia de distintos caracteres conduzca simultáneamente a una selección más eficaz, en la que se tenga en cuenta no solo las variables de crecimiento que atañen a la parte aérea de la planta sino también al sistema radical, tan complejo en sus interacciones con los organismos presentes en el suelo.

El conocimiento y buen uso de la capacidad adaptativa de las especies es objetivo prioritario de la mejora genética forestal. La historia nos muestra ejemplos de repoblaciones fallidas con semillas de una especie de área geográfica extensa y poco plástica, en apariencia adecuada por altitud y suelo al lugar de plantación, pero con una procedencia inapropiada; como contrapunto, en otros casos el acierto (no siempre consciente) de la procedencia (origen) adecuada ha conducido al buen desarrollo de la plantación.

La definición geográfica de las poblaciones en regiones de procedencia en las que se expresen diferencias en caracteres medibles respecto a poblaciones de otras procedencias, supone un paso útil para llevar a cabo en ellas una selección de masas selectas y para conseguir una acertada correspondencia entre zonas de procedencia y lugares de plantación. La procedencia debe, por tanto, condicionar la elección de masas selectas como fuente de material reproductivo (semillas) con fines de repoblación en el área geográfica de la procedencia correspondiente, lo cual supondrá para la nueva masa creada una mejora en términos de adaptabilidad y posiblemente de productividad.

Hechos de esta naturaleza han conducido al establecimiento de redes de procedencias, cada una con varios lugares de plantación y los mismos orígenes (procedencias) de las semillas utilizadas en todas las plantaciones; con el objetivo de analizar la doble influencia del ambiente y el origen (condición de plasticidad, también extensible a la influencia de la edad); así como el posible efecto de su interacción

(interacción genotipo x ambiente). Son programas costosos en tiempo y medios económicos, normalmente reducidos a especies de gran interés productivo y amplia área geográfica, y a especies introducidas, de gran crecimiento potencial.

Un avance en términos de supervivencia y desarrollo (crecimiento) de los repoblados es la selección en las masas forestales maduras de rodales semilleros con árboles sobresalientes como fuente de semillas. La selección adicional de pies fenotípicamente sobresalientes, dominantes en altura y con la mejor conformación, en las masas selectas, se utiliza como primera población de mejora. Población destinada al suministro de material vegetativo: púas para injertar en patrones y establecer con los injertos obtenidos un huerto semillero, o un banco clonal, como es práctica en pinos; u obtener estaquillas que tras su enraizamiento y posterior desarrollo se usen como cepas madre, donantes a su vez de un número mucho mayor de estaquillas, como se lleva a cabo con eucaliptos y álamos.

Las plantaciones de pies injertados con púas obtenidas de árboles con fenotipos mejores que la media poblacional, con el objeto de producir semilla son los huertos semilleros. En una plantación con un fin productivo, las plantas procedentes de semillas de las masas selectas tendrán un valor fenotípico medio mayor que el de plantas de semillas de masas cualesquiera; en mayor medida lo tendrán las procedentes de semillas colectadas en el huerto semillero, para lo cual en su confección, debe seguirse un diseño estadístico que facilite la máxima separación entre pies del mismo genotipo (ramets) para así evitar cruzamientos entre ellos, lo que también puede conseguirse llevando a cabo una polinización artificial.

El establecimiento de una plantación con brinzales de semillas producidas en los ramets del huerto semillero (ensayo de progenies) permite el análisis del comportamiento de sus progenies en términos, por ejemplo, de mayor crecimiento. Los fenotipos mejores pueden usarse directamente como fuente de semillas mejoradas en plantaciones de producción; y, también, como donantes de material vegetativo con el que establecer un banco clonal. Éste es en definitiva una plantación de genotipos mejorados (árboles plus) que puede usarse para el suministro de material reproductivo (semillas o estaquillas) con el que proceder a un nuevo ciclo de mejora. La selección y mejora recurrentes pueden repetirse en ciclos sucesivos con el propósito de ir incrementando la ganancia obtenida.

La obtención de individuos resistentes a enfermedades causadas por hongos ha centrado también la atención de los mejoradores forestales. La grafiosis en los olmos, causada por el hongo *Ophiostoma ulmi*. y los daños debidos a la infección de *Cronartium* en *Pinus ponderosa* en EEUU son ejemplos paradigmáticos de la lucha emprendida contra enfermedades muy dañinas en especies forestales. Especial importancia revisten los trabajos realizados en la E.T.I.Montes de Madrid en los que tras la búsqueda y selección intensiva en olmedas de *Ulmus minor* de individuos con muestras de cierta resistencia a la enfermedad (0,02 %), tras sucesivas inoculaciones con el hongo de plantas obtenidas vegetativamente (in vitro) de los árboles seleccionados y la práctica de selecciones recurrentes en ellas, se ha conseguido disponer de siete individuos que

han mostrado resistencia a la enfermedad, con los que llevar a cabo plantaciones masivas.

Un tercer objetivo de la mejora genética forestal es la conservación de los recursos, principalmente de especies arbóreas; conservación complicada a tenor de los avatares (clima, suelo, plagas y enfermedades, otras perturbaciones naturales, acciones humanas perniciosas) a que están expuestas especies tan longevas.

La conservación in situ mediante poblaciones representativas del mayor número posible de orígenes y la conservación ex situ de semillas, generalmente en atmósfera privada de oxígeno, la de propágulos vegetativos a baja temperatura, también de vitroplantas (en condiciones de asepsia y bajas temperaturas); todo ello, con control periódico de su vitalidad y, en su caso con su renovación, son dos vías de conservación de genotipos comunes en todos los ámbitos de la mejora genética. Conviene no olvidar que los efectos del cambio climático en la supervivencia y migración de las especies, con incidencia variable entre procedencias dentro de una misma especie, confiere singular relevancia tanto al establecimiento de ensayos de procedencias como a la conservación del material genético actual, de posible uso en un incierto futuro.

Ya tiempo atrás diversas técnicas de propagación de plantas ha hecho posible la obtención de especies forestales por micropropagación partiendo de porciones de hojas, óvulos, polen y de cualquier órgano o tejido vegetal, ampliando por tanto la capacidad de obtener abundantes individuos de un mismo genotipo. La embriogénesis somática, consistente en la generación de embriones a partir de hojas, yemas u otro material vegetativo (no generativo) ha conducido a la producción masiva de algunas especies forestales de gran producción. Técnicas que permite acortar los tiempos de espera en las respuestas a la vez que no requieren la disponibilidad de extensos espacios, si bien necesitan mayor especialización en su seguimiento y costes elevados de mantenimiento.

Con la aplicación de marcadores moleculares y técnicas de genotipado se han llevado a cabo mapas genéticos e identificado regiones del genoma que contienen varios genes que actúan en simultáneo para expresar características cuantitativas. Estas regiones se las denomina locus de caracteres cuantitativos o QTL (Quantitative Trait Locus) por sus siglas en inglés. La genómica y la proteómica han irrumpido con fuerza en la mejora vegetal y acabarán teniendo su papel en la mejora específica de especies arbóreas forestales.

. La modificación genética del genoma de especies vegetales mediante la incorporación a su genoma, a través de un vector (p.e. un plásmido, una bacteria, *Agrobacterium tumefaciens*), de un gen de otro ser vivo (no necesariamente de la misma especie) que modifica su genoma y le confiera alguna característica de repercusión económica (p.e. resistencia a un plaguicida con el que eliminar un parásito de un cultivo de la especie modificada) ha dado lugar a las plantas transgénicas usadas comercialmente en agronomía.

Un hito en el progreso de la ingeniería genética, tachable de revolucionario, con posible aplicación en la curación de algunas enfermedades en el ser humano es la denominada edición de genes mediante la tecnología CRISPR/Cas9. Con ella se puede editar, corregir, alterar, el genoma de cualquier célula de una manera fácil, rápida, económica y altamente precisa sin introducir genes de otros organismos. En el sector forestal, *Populus* y *Eucalyptus* han sido objeto de secuenciación sus genotipos y modificaciones en los mismos mediante la tecnología CRISPR. En *Populus* se ha conseguido modificar genes implicados en la biosíntesis de la lignina, disminuyendo un 20% su contenido en la madera, así como en un 50% el de taninos condensados; hechos de importancia en el proceso de fabricación de pasta de celulosa. En *Eucalyptus grandis* se han identificado 36.000 genes, lo que abre grandes posibilidades en su modificación genética en términos de mejora industrial.

Finalmente, no puede dejarse de mencionar la presencia de la estadística como herramienta básica en la comparación de caracteres cuantitativos, y en general de cualquier de los parámetros manejados en un programa de mejoramiento genético. La posibilidad de disponer y manejar estadísticamente ingentes bases de datos genómicos, fenotípicos y ambientales ha abierto puertas al mejoramiento vegetal.

Bibliografía básica

Repoblación forestal y producción de planta

CORTINA J. *et al*, 2006. *Calidad de la planta joven para la restauración de ambientes mediterráneos. Estado actual de los conocimientos*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales

GARCÍA SALMERÓN J., 1991. *Manual de repoblaciones forestales*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes FUCOVASA, v.1, Madrid.

NAVARRO GARNICA M., 1980. El catón de los viveros forestales del ICONA: una iniciación al cultivo de viveros para repoblación forestal en clima seco. Ministerio de Agricultura, Servicio de Publicaciones Agrarias, Madrid.

PEMAN J., 2015. Lecciones aprendidas en la actividad repobladora y viverística y tareas pendientes. *Cuadernos de la SECF* nº 39, 177-195.

PEMÁN J., *et al*, 2006. Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribución del profesor Ruiz de la Torre. *Inv. Agr. Sist. Recur. For. Fuera de Serie*, 87-102.

SECF, 2005. *Diccionario Forestal*. Mundi Prensa, pp 1313.

SERRADA R., 2000. *Apuntes de repoblaciones forestales*. EUITF, FUCOVASA, Madrid.

Mejora Genética

ERIKSSON G. *et al*, 2013. *Genetic applied to forestry*. Swedish University of Agricultural Sciences, 206 pp.

GIL L. *et al* (16 coautores), 1991,-95,-96,-97,-98, 2001, -04. *Regiones de procedencia de diferentes especies de los géneros Abies, Fagus, Pinus y Quercus*. DGCONA, Madrid.

JANSSON s. *et al* (edit.), 2010. *Genetic and Genomic of Populus*. Springer.

MIKSCHE J.R., 1976. *Modern methods in forest genetics*. Springer

PLOMION C., 2011 (edit). *Genetic, Genomics and Breeding of Conifers*. Science Publishers

SIERRA R., 2015. Mejora genética: lo que el viento se llevó. *Cuadernos de la SECF*, 39, 163-175.

YOUNG A., *et al*, 2000. *Forest conservation genetics*. CSIRO Publ.

ZOBEL B., TALBERT J., 1984. *Applied forest tree improvement*

Restauración hidrológico -forestal, Restauración de ríos y riberas

.....*Los pájaros tienen alas que del árbol se los llevan.
Pero las ramas de donde arrancó ese vuelo
Saben lo que va a pasar
Cuando echan las hojas nuevas....
(CONFIANZA; Pedro Salinas)*

Las actividades que dan título a este capítulo ya indican su implicación en la recuperación o reparación (acción de restaurar según el DRAE) de un ecosistema (monte, sistema fluvial) dañado por efecto del agua: restauración, en el primer caso, mediante la acción protectora de una cubierta forestal, normalmente arbórea y establecida de nuevo (forestación), y acudiendo también a la vegetación existente en el segundo caso; en ambos, con el complemento de medidas de protección física para paliar el efecto de la pérdida de suelo provocado por el agua.

La definición técnica de **restauración hidrológico-forestal** confirma este papel de la vegetación forestal, y lo amplía y precisa: *La restauración hidrológico forestal comprende el conjunto de actuaciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de escorrentías, consolidación de cauces y laderas, la contención de sedimentos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión.*

En principio, en esta definición cabrían ambas acciones restauradoras; por otra parte, ambas a su vez podrían formar parte de la bioingeniería o ingeniería ecológica. Cabe, y esa ha sido la razón de explicitar por separado ambas acciones en la titulación de este capítulo: mantener el histórico significado de restauración hidrológico-forestal ligado a la corrección de torrentes, y utilizar la denominación de bioingeniería o ingeniería ecológica en referencia a la restauración de ríos y espacios ribereños y su biodiversidad; denominación que también comprende otras actividades de ingeniería tales como la fitorremediación (véase capítulo octavo) y el manejo de humedales.

Los albores de la restauración hidrológico forestal tienen lugar en Europa a mediados del siglo XIX ante la deforestación de sus principales cadenas montañosas. En

España, la creación, en 1901, del Servicio Hidrológico Forestal, puede considerarse el inicio de la restauración hidrológico forestal, sistemática y técnicamente planificada. En la actualidad, la Ley de Montes de 2003, modificada en 2006, atribuye al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en colaboración con las Comunidades Autónomas de acuerdo con el ordenamiento jurídico, las actuaciones de conservación de suelos, lucha contra la desertificación y restauración hidrológico forestal.

La conservación del suelo y la lucha contra la erosión hídrica en áreas de montaña o de cabecera de cuencas de embalses, con tradicional ocupación de cultivos agrícolas (en muchos casos inapropiada dada su elevada pendiente) requiere la implantación de una cubierta vegetal permanente como elemento protector ante la producción de fuertes caudales de agua con arrastre de suelo originados tras la fusión de la nieve o por la acción directa de una lluvia intensa. Esta acción protectora/correctora del perjuicio originado condujo al término corrección de torrentes dada su dimensión y naturaleza. Con él se designaba el conjunto de medidas correctoras de repoblación forestal y construcción de diques de detención del material-puestas en juego para evitar o paliar los posibles daños derivados.

La expresión más usada actualmente “restauración hidrológico-forestal” denota mejor que la de “corrección de torrentes” la complejidad y amplitud de las actuaciones que exige el problema, que cabe concebir en el contexto de la ordenación y restauración de cuencas hidrográficas. Ello implica la repoblación de terrenos con fuerte pendiente (que supera a veces el 30%), cuyo efecto no es solo contribuir a reducir la erosión hídrica, sino también mejorar sus condiciones hidrológicas.

A las cuencas hidrográficas, objetivo mayor de la restauración hidrológico-forestal en la conservación del suelo, se unen la protección y, en su caso restauración, de zonas ribereñas de cauces de agua en terreno plano, sometidos a la acción permanente, o periódica, de las aguas, considerados una clase de humedales. Se tratan en la segunda parte del capítulo.

La restauración hidrológico-forestal tiene un soporte científico y una aplicación técnica. En ambas acciones, insignes ingenieros de Montes han hecho significativas contribuciones, tanto en el plano teórico como en la confección de proyectos y su plasmación en el terreno; nombres que figuran como principales autores de las obras en la bibliografía básica incorporada. Cabe resaltar el desarrollo de la ecuación de la pendiente máxima admisible en cultivos y pastizales y los índices de protección del suelo por la vegetación- de preferencia arbórea- como pautas de los criterios a seguir en la demarcación de zonas necesitadas de vegetación arbórea. Ambas tienen valor en la concepción teórica de la hidrología torrencial y, también, en su proyección en la labor de restauración; cuya misión, en palabras de expertos restauradores, consiste en “poner hidrológicamente a punto la cuenca para controlar el ciclo del agua y defender el suelo de la erosión”.

El fenómeno erosivo cobra dramática expresión cuando se alcanza la desertificación, definida como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas. La aplicación de tal denominación a parte del territorio español condujo en 1981 a la puesta en marcha del proyecto LUCDEME, *Lucha*

contra la Desertificación en la vertiente Mediterránea, iniciado en Murcia, Almería y Granada.

La ordenación agrohidrológica de las cuencas se considera un pilar importante sobre el que basar las políticas territoriales de las comunidades humanas que viven en el territorio. Así, los proyectos de ordenación agrohidrológica son documentos que analizan desde la perspectiva física y socioeconómica los recursos agua y suelo y el papel de la repoblación forestal en la restauración. La ordenación agro-hidrológica de una cuenca requiere la parametrización y aplicación de un modelo. En España se adoptó el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation), de aplicación universal en los proyectos de conservación del suelo, desarrollado por el Servicio de conservación de suelos en EEUU. Dicho modelo se aplicó en el mencionado proyecto LUCDEME, cuya aplicación se hizo extensiva a todo el territorio nacional; línea en la que después se publicaron los Mapas de Estados Erosivos, que reflejan la erosión potencial de las diferentes zonas geográficas de la nación. A estas importantes contribuciones se sumó la puesta en marcha por el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) del Inventario Nacional de Erosión de Suelos, continuado como un programa de la Dirección General de la Biodiversidad.

La aplicación de ecuaciones de pérdida de suelo del modelo USLE, a decir de los expertos, debe ir unida a la de modelos hidrológicos. Con ellos se resaltan los aspectos hidráulicos en los cauces (condiciones físicas de humedad y temperatura) y el papel de la vegetación arbórea en la cuenca. Su efectividad depende también de la especie arbórea elegida, elección para la que se han utilizado índices fitoclimáticos, ampliamente desarrollados (véase capítulo seis). Estos modelos integrados se utilizan en los proyectos de corrección de torrentes en especial si las avenidas son frecuentemente de régimen pluviométrico, como sucede en España. Así mismo, la integración del conjunto de factores influyentes en el fenómeno en un único modelo, con el ciclo del agua en la cuenca como principal factor, ha dado lugar al desarrollo de modelos distribuidos.

En síntesis, tras la ordenación agro-hidrológica de la cuenca vertiente se aborda la ejecución del proyecto de restauración, el cual integra la retención del suelo y el control de avenidas como objetivos específicos. En el proyecto se incluyen los factores orográficos, hidrográficos y selvícolas, con cuyos datos se parametriza el modelo elegido para la restauración (de conservación del suelo) integrado o distribuido). Esta información se incorpora en el esquema general que rige en la confección de un proyecto de ingeniería para su posterior ejecución.

La materialización en el terreno del proyecto restaurador tiene dos vertientes de actuación: la repoblación forestal y las obras hidráulicas de corrección. Respecto a la primera, en la confección del proyecto debe prestarse especial atención a la elección de especie y al sistema de preparación del suelo, ambos muy definatorios en el éxito de la repoblación, buen arraigo de los brinzales y consolidación de la futura masa forestal (véase también lo expuesto al respecto en el capítulo décimo cuarto). La obra de corrección consiste en la ejecución de una serie de diques transversales, dimensionados en función de la carga de sedimentos a soportar a lo largo del cauce de agua. Su construcción ha sido, y sigue siendo, ampliamente practicada para la retención de

sedimentos, aunque algunos expertos no dejan de cuestionar su repercusión en la dinámica geo-torrencial.

Actualmente, se preconiza la incorporación en el proyecto de nuevos conceptos ecológicos que conciernen a los organismos que viven, o son susceptible de vivir en las aguas que nutren o discurren por la cuenca y en su cauce, y que conforman una red compleja de acciones e interacciones con implicaciones hidrológicas evidentes que requieren una investigación científica específica.

Un repaso al abundante número de proyectos de restauración hidrológico forestal llevados a cabo en España, en muy diferentes cordilleras y situaciones hidrológicas, con aplicación de los tipos de modelos de conservación de suelos mencionados, mapas de estados erosivos y la información generada sobre la autoecología de las especies, evidencia el papel que la restauración hidrológico-forestal ha representado como materia básica en la formación académica del Ingeniero de Montes y en la práctica de la profesión.

Cabe mencionar algunos ejemplos singulares de restauración hidrológico forestal en España: la corrección del Torrente de Aras (Biescas) y los trabajos en defensa de la Estación Internacional de Canfranc contra aludes, desprendimientos y avenidas, ambos proyectos en el Pirineo Aragonés; los trabajos llevados a cabo en la protección del Balneario de Lanjarón, en Sierra Nevada; los realizados en la cuenca del río Guadalmedina en Málaga y los de restauración en las sierras granadinas de Baza y Lujar; también, entre otros, en la Ibérica Turolense, con la restauración de las cuencas de las sierras de Palomera y Menara, origen de tradicionales tempestuosas ramblas.

Ríos y riberas son componentes de los ecosistemas fluviales, en los que las riberas se consideran ecotonos de transición entre el medio acuático (el río) y el terrestre (la ribera), espacios hidrológicamente influenciados por ambos. En España, la contaminación, de origen industrial, urbana y agrícola, ha llevado a una elevada degradación de los ríos; a la que hay que añadir el acoso físico al ecosistema fluvial con los cultivos hasta el borde del cauce, urbanización de terrenos aluviales y ejecución de obras que inciden negativamente en sus poblaciones vivientes: todo ello conduce al deterioro, parcial o total, de la funcionalidad de las riberas.

Los expertos (véase bibliografía acompañante) aducen diferentes motivos para la conservación de las riberas: función hidrológica de almacenamiento al formar parte de la llanura de inundación, retrasar la formación de avenidas y disminuir el riesgo de erosión; diversas funciones ecológicas (fuente energética con el aporte de materia orgánica, mejora de la calidad del agua por la acción filtrante de la vegetación riparia y formación de corredores biológicos) junto a consideraciones de índole socio-económica que reportan las funciones mencionadas, y razones éticas de obligatoriedad de preservación de los dones naturales.

En los espacios ribereños, tras intensas lluvias, se produce un efecto erosivo del agua en las márgenes del cauce, que en casos extremos puede llegar al desbordamiento de los ríos con cambios en su cauce, pérdida de suelo en sus márgenes y arrastre de materiales, que puede afectar a un espacio circundante al cauce normal del río. La

vegetación, junto con diferentes acciones de protección física desempeñan un papel protector al frenar la acción erosiva del agua.

Además del cumplimiento de los objetivos primarios de la restauración con los elementos de protección tanto biológicos (vegetación) como físicos, la restauración es un motor que facilita y acelera los procesos naturales de estabilización de márgenes y zonas ribereñas de los ecosistemas fluviales, procesos de difícil, lenta y costosa consecución. Se pretende además actuar con una visión integradora, en la que se contemplan objetivos paisajísticos, y que, sin renunciar al dinamismo fluvial, en continua evolución, puede modificar los tiempos (acortándolos) y, en suma, ejercer cierto control del proceso y capacidad de predicción.

La puesta en marcha de acciones de restauración requiere el estudio del funcionamiento del sistema fluvial y el análisis de las alteraciones sufridas para determinar los objetivos de mejora del hábitat concretados en medidas de protección y recuperación frente a su deterioro, creación de habitats que existirían con la mejora y su mantenimiento.

Los proyectos de restauración implican actuaciones a corto, medio y largo plazo y deben estar presididos por varios principios: permitir el desarrollo de la dinámica propia dentro del cauce, con atención a los procesos de erosión y sedimentación; crear con ellos una morfología estable y flexible y potenciar una heterogeneidad de formas y condiciones hidráulicas que favorezca la biodiversidad.

En los trabajos de referencia se enumeran y detallan once técnicas de bioingeniería para el desarrollo de estos principios con una evaluación numérica sobre los resultados de su aplicación. Se usan plantas, o partes de estas, conjuntamente con otros materiales naturales (madera, rocas, mantas y redes orgánicas, metal) y sintéticos (geotextiles, redes y geomallas de polipropileno, etc.) con la incorporación de los elementos locales (suelo, topografía, microclima, etc.) para conseguir los objetivos de la actuación restauradora.

En la estabilización de orillas y revegetación cabe destacar la utilidad del clavado de estaquillas (en suelos aluviales sin procesos erosivos en las orillas) y las empalizadas (en tramos con fuerte erosión). La construcción de azudes., seguida de la limpieza de frezaderos y los deflectores se propugnan como mejores técnicas para la diversificación del cauce. La plantación de árboles y la creación de lagunas son propuestas por los expertos como medidas de restauración en las llanuras fluviales.

En alusión explícita a las especies que forman los bosques de ribera (formaciones lineales en galería) cabe nombrar diversos sauces (sarga, sauce blanco, mimbrera, sargatillo, sarga, bardaguera, sauce cabruno, salce), choperas con álamo blanco, chopo negro y chopo temblón; el aliso, el olmo común, el fresno común; en ríos de montaña húmeda, entre otros el abedul, el arce blanco,, el serbal de cazadores; y en climas secos el almez y otros fresnos; así como el taray y la adelfa en ramblas sometidas a fuertes fluctuaciones estacionales en el caudal de agua. Todas ellas pueden ser tenidas en cuenta en términos de conservación y, ocasionalmente de plantación complementaria.

En algunas actuaciones se ha recurrido al empleo de maquinaria, aunque son más abundantes los trabajos realizados manualmente, con implicación de empresas de

construcción, forestales y medioambientales, con participación de guardería forestal, Escuelas de Talleres y ONG; siendo las subvenciones la principal fuente de financiación.

Los expertos subrayan, críticamente, algunos hechos concernientes a la restauración de ríos y riberas en España, tales como la minimización de recientes impactos ambientales y el escaso reconocimiento legal y falta de conocimiento e interés a nivel administrativo por los valores ambientales de los ríos, escasez de proyectos de restauración, limitados en su mayoría a actuaciones puntuales (tramos fluviales de menos de un kilómetro) sin alcanzar una dimensión territorial.

Bibliografía básica

Restauración hidrológico-forestal

GARCÍA NÁJERA J.M., 1943, 1962. *Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones en la corrección de torrentes*. Anales IFIE, pp 297.

LÓPEZ CADENAS F., BLANCO CRIADO M., 1968. *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*. Anales IFIE, pp 187.

LÓPEZ CADENAS F., MINTEGUI J.A., PEREZ SOBA A., 1985. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt* 156: 143/161.

MINTEGUI J.A., LÓPEZ UNZU F. 1990. *La ordenación agro-hidrológica en la planificación*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria, pp 306.

MINTEGUI J.A., ROBREDO J.C., 1993. *Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica. Manual para un programa básico*. FUCOVASA, pp 83.

MINTEGUI J.A., ROBREDO J.C., GARCÍA VIÑAS I., LÓPEZ LEIVA C., 2006. Introducción a la restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas. *Ecología* 20: 389-414.

ROBREDO J.C., MINTEGUI J.A., 1994. Diseño de un modelo distribuido elemental para el comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente. *Revista Ingeniería del Agua*, 1(s): 79-100.

Restauración de ríos y riberas

GONZALEZ DEL TÁNAGO, M., GARCÍA JALÓN D., 1995. Principios básicos para la restauración de ríos y riberas. *Ecología* 9: 47-64.

GONZALEZ DEL TÁNAGO, M., GARCÍA JALÓN D. 2001. *Restauración de ríos y riberas*. Edit. Mundi-Prensa, pp 319.

MAGDALENO F., 2011. *Manual de técnicas de restauración fluvial*. Ministerio de Fomento, Secretaría de Estado de Planificación de Infraestructuras, Centro de Publicaciones, pp 294.

RAMOS A., (Coordinador), 1987. *Diccionario de la Naturaleza*. Espasa Calpe, pp 1016.

SCHMIDT, G., 2002. *Aplicación de técnicas de bioingeniería en la restauración de ríos y riberas*. Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, pp 111.

SCHMIDT, G., OTAOLA-URRUTXI M.,2017. *Manual práctico para aplicación de técnicas de bioingeniería en la restauración de ríos y riberas*. AEMS, pp 73.

La Biomasa forestal, fuente energética

*¡Troncos que me calentáis,
troncos de ramas de fuego,
ayer áureos de relumbres,
hoy desgajados y negros
(PASTORALES, Juan Ramón Jiménez)*

El término Bioeconomía se ha incorporado al léxico de la ingeniería para designar la gestión de un desarrollo socioeconómico sostenible a través del uso eficiente de los recursos naturales. El sector forestal es partícipe con la producción de biomasa como fuente energética; también con la obtención, a partir de la madera, de nuevos materiales de uso actual y futuro; sin olvidar el papel de los bosques en el conjunto del territorio en términos de valores recreativos, incendios, protección del suelo y cambio climático. Es la producción de biomasa en masas forestales y plantaciones el objeto del presente capítulo.

El progresivo consumo de recursos energéticos petrolíferos y el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mayoritariamente CO₂, a que da lugar su combustión, han impulsado el uso de recursos renovables y el desarrollo de nuevas tecnologías con fines energéticos.

La biomasa vegetal entendida como masa de materia orgánica, no fósil, de origen biológico, ha irrumpido en el ámbito de la ingeniería como fuente energética; comprende productos agrícolas y forestales junto con los residuos derivados de su aprovechamiento e industrialización.

Las emisiones de carbono con la combustión de biomasa son substancialmente menores que con la de combustibles fósiles. La reducción respecto a la gasolina en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por megayoule de energía producida alcanza hasta 120 % en el método de fermentación, 24 a 56 % respecto al uso de gasoil y 17 a 52 % en la producción directa de electricidad, según diversas fuentes de EEUU. La ratio entre el carbono emitido y el carbono de la madera usada, según las mismas fuentes, se cifra en 0,38 a 0,47; en producción de bioetanol en 0,21 a 0,48 con diferentes clases de pellets, y en 0,65 a 0,68 con el uso de residuos forestales para la producción directa de electricidad. En cualquier caso, los propios expertos recomiendan manejar las cifras con cautela y, en todo caso, el inventario de cifras debe referirse a un ciclo de vida y tenerse en cuenta las condiciones de lugar, sin olvidar el mercado.

El uso de la biomasa vegetal como fuente energética primaria se ha extendido por gran parte de países, superando en Europa el 40% a 50% de la contribución energética del conjunto de las fuentes renovables; y entre 2010 y 2030, en la Unión Europea se estima un potencial sostenible. El sector forestal participa en la producción de biomasa (leñas, astillas, pellets, carbón vegetal, residuos de cortas e industria de la madera) procedente de masas forestales; biomasa de cultivos forestales para su conversión en biocombustibles líquidos y el árbol como biorrefinería en la obtención de productos químicos a partir de material ligno-celulósico.

Es la biomasa forestal el biocombustible más ampliamente utilizado a nivel mundial en el conjunto de sectores proveedores de biomasa, muy por encima del conjunto de biomasa aportada por los sectores agrícola y ganadero y de residuos sólidos urbanos. No obstante, el consumo actual de biomasa en España es muy bajo, estimado en 113 ktep por habitante, frente a un rango de 900 a 1500 en los países del norte de Europa, siendo un tep equivalente en términos energéticos a una tonelada de petróleo. El consumo es especialmente bajo cuando se destina a la producción de energía eléctrica, en el que no alcanza el 1,50 % del mix eléctrico español; si bien cobra mayor importancia su uso como energía primaria en las centrales térmicas, con una demanda en torno al 4,7 % (IDAE). Otros factores favorables al uso de biomasa forestal son su combustión limpia de elementos corrosivos, el rendimiento global del 80 % en la producción térmica (PER, 80 %) y la eficiencia del 21,40 % en la producción eléctrica (PER). A lo que hay que añadir, y no dejar de subrayar, la creación de empleo sostenido que genera en el medio rural.

La biomasa cosechada se utiliza como combustible en calderas de vapor de agua para uso directo como energía calorífica en la industria o como paso intermedio en la generación de energía eléctrica de uso tanto industrial como de pequeños núcleos urbanos. Las calderas pueden instalarse tanto en viviendas unifamiliares como en comunidades de vecinos de cualquier tamaño, ya que se pueden encontrar calderas desde 20 kW hasta más de 1 MW

La biomasa, por su propia naturaleza, requiere de una serie de pretratamientos o transformaciones para ser objeto de un aprovechamiento energético eficiente. Las características intrínsecas y extrínsecas que aparecen tanto en la biomasa agrícola como en la forestal son el gran tamaño de las piezas (granulometría), la heterogeneidad y poca uniformidad, el elevado contenido en humedad, la reducida densidad, la gran dispersión de los residuos, la dificultad de transporte y la manipulación y presencia de residuos no aprovechables como arena, piedras, metales; características que crean problemas que deben minimizarse o suprimirse en lo posible.

En el proceso de aprovechamiento de la biomasa hay que disponer de procesadoras cuya aplicación principal es apea y trocea la parte maderable, también pueden trocearse las ramas grandes y las copas, para facilitar el posterior trabajo del manejo de los residuos. Maquinaria adicional necesaria son autocargadores usados para el desembosque, astilladoras y trituradoras. Con el producto obtenido se fabrican los pellets.

Los pélets son el producto más utilizado como forma de madera triturada: son pequeños cilindros de 6 a 12 mm de diámetro, 10 a 30 mm de longitud hechos con serrín, astillas u otros residuos comprimidos. En general, un buen p  llet de madera presenta menos de un 10 % de humedad y una durabilidad mecánica mayor del 97,5 %. Considerando un poder calorífico cercano a 4.300 kcal/kg (unos 18 MJ/kg), puede establecerse que de 2 a 2,2 kilogramos de pélets equivalen energéticamente a un 1 litro de gasóleo.

El material leñoso procedente de restos de cortas (copas) en los aprovechamientos forestales en el terreno y los residuos producidos en la industria de primera transformación de la madera constituyen el material más usado como materia prima para biomasa. También, conviene no dejar en olvido la enorme superficie, en torno a 4,5 Mha, de formaciones de monte bajo de quejigares y rebollares, de aprovechamiento de leña prácticamente abandonado, que podría explorarse como biomasa (lo fue para la producción hoy casi desaparecida de carbón vegetal) con aprovechamiento de los chirpiales (brotes de cepa) en turno de 15 a 18 años. La distancia y acceso entre los rodales de corta y recogida de la leña y la ubicación de la central energética pueden ser factores limitantes para un uso rentable; y, en cualquier caso, exige una planificación previa, a largo plazo, de los recursos leñosos disponibles anualmente y su accesibilidad (distancia, costes de transporte, otros).

Una alternativa a la combustión directa de material sólido (madera o residuos), en sustitución de la gasolina y el fuel-oil, es la obtención de etanol a partir del material leñoso. Ello ha dado lugar a los cultivos energéticos: el material leñoso producido se somete a una hidrólisis ácida o enzimática y a una posterior fermentación alcohólica. El bioetanol obtenido es utilizado en la producción de carburantes (biogas  leos, gasolinas s  nteticas y otros bioproductos obtenidos en las refin  rias.

En España, los cultivos energéticos forestales comúnmente implantados son plantaciones con especies de crecimiento rápido, pertenecientes a diversos géneros de frondosas, principalmente *Eucalyptus* (eucaliptos), *Populus* (chopos,   lamos) y *Pawlonia* (paulonia) aprovechados en monte bajo. En las plantaciones de eucaliptos (*E. maidenii*, *E. camaldulensis* y *E. gunii*) son usuales las densidades de 2 500 a 3 500 árboles por ha, con un primer turno (periodo entre plantación y corta a hecho) de dos a cuatro años y, tras la formación de nuevos brotes se puede llevar a cabo al menos dos cortas adicionales con igual duración del turno cada una. La producción media puede estimarse en 15 t ha⁻¹ año⁻¹ (materia seca) si bien existen diferencias sustanciales entre sitios y prácticas culturales.

Las plantaciones con clones de híbridos de especies de *Populus*, con certificación que acredita su condición, y nombres específicos (en muchos casos de uso internacional) muestran un amplio rango de densidades. Desde un marco de 2 m x 1m, con 5.000 plantones ha⁻¹ hasta 30.0000 pies ha⁻¹ (con marco de 1 m x 0.33 m) existe un variado repertorio. Al igual que con los eucaliptos los tratamientos culturales, el suelo y el régimen térmico condicionan el crecimiento y la propia supervivencia, con una clara interacción clon x sitio. A título de ejemplo, con datos de trabajos publicados, en una plantación del clon I-214, híbrido de *P. deltoides* x *P. nigra*, con densidades de plantación

de 5000 plantas ha⁻¹, se obtuvieron entre 10,90 y 17,30 Mg⁻¹ ha⁻¹año⁻¹ (1 Mg=1 tonelada, para el primer turno. Otros clones (Campeador, de origen español, producido en el antiguo IFIE, Viriato, entre otros) y mezclas de clones son objeto de ensayos repartidos por buena parte de la geografía peninsular española.

Las expectativas de crecimiento de plantaciones experimentales de híbridos de pawlonia (clon de *P. elongata* x *fortune*, importado de EEUU) superan las cifras de las especies mencionadas: con densidades de 1600 pies ha⁻¹ (3m x 2m), que permiten el paso del arado, con riego, y otros tratamientos culturales durante los dos primeros años, se esperan rendimientos de 35-45 t ha⁻¹ de materia seca. Asimismo, plantaciones experimentales de *Pawlonia tormentosa* y *Pawlonia elongata* con fines energéticos son objeto de seguimiento por diversas empresas. A su previsible alta producción se une su capacidad de rebrote y sus buenas características papeleras.

En clima mediterráneo, con incorporación de riego, revisten también cierto interés algunas especies del género *Leucaena*, tales como *L. leucocephala* y *L. diversifolia*. En plantaciones experimentales, se han obtenido rendimientos de 50 t ha⁻¹año⁻¹ de materia seca en rebrotes de un año de *Leucaena leucocephala*, similares a los de más alto rango descritos para otros países. En zonas con problemas de salinidad puede acudir a ensayar cultivares (p.e. del género *Acacia*) que compatibilicen una capacidad de crecimiento aceptable en términos de producción de biomasa con una cierta tolerancia a la salinidad en el agua de riego. En zonas más secas se ha plantado también *Ulmus sibirica* (olmo de Siberia) y en lugares con mayor aridez algunas especies de *Prosopis* sp y *Atriplex* sp. En países Nórdicos y en humedales, se han establecido plantaciones de algunos cultivares de sauces (*Salix* sp) y chopos (*Populus* sp).

La puesta en marcha de ensayos experimentales con plantaciones de pinos u otra especie de crecimiento rápido (o moderado), con una alta densidad de pies por hectárea, con producción mixta de biomasa y madera, para su corta alternativamente con destino a biomasa o a madera (p.e. de construcción) es una nueva vía de aprovechamientos combinados que reporten rentas a corto y medio plazo ajustadas a conveniencia de la propiedad.

Bibliografía Básica

BAJO PÉREZ V.M., 2007. *Guía de maquinaria forestal*. IDAE.

BERGLUND L., 2005. Cellulose-based nanocomposites. En A.K. Mohanty, M. Misra, L. Drzal (Eds). *Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Boca Raton, Florida, pp 807-832

DIVERSOS AUTORES, 2017. La biomasa: Clave para el sector forestal, *MONTES* 129.:6-73. (Entre otros: ARTIGAS J., *et al.* Balance y proyección de futuro de la bioenergía en España DANS del VALLE, F. y MOLINA B. 2017. Nuevos modelos de silvicultura para Galicia y Norte de Portugal. Producción mixta madera-biomasa.

FERIA *et al*, 2012. E AL, Biorefinery process for production of paper and oligomers from *L. Leucephala* K360 with or without autohydrolysis. *Bioresources Technology*, 126, 64-70.

IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Biomasa. maquinaria agrícola y forestal*. Diversas publicaciones.

ITENE, 2017. *Información periodística del proyecto MFC_PROD*. Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística (ITENE).

SIXTO, H *et al*, 2011, Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa. con fines energéticos: revisión INIA. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(3): 277-294.

Plantaciones Forestales: Celulosa

*El cielo es de ceniza.
Los árboles son blancos
y son negros carbones los rastrojos quemados.
Tiene sangre quemada la herida del Ocaso, y el
papel incoloro del monte está arrugado.
(POESÍA, Federico García Lorca)*

La celulosa ha sido (y sigue siendo) tradicionalmente la principal materia prima para la fabricación del papel y el cartón en sus muy diversas variedades, así como para la producción de rayón (seda artificial), celuloide y celofán, fabricación de explosivos (nitrocelulosa) y barnices. Así mismo, los productos *foamed WPC*, más ligeros que los anteriores, fabricados a partir de pasta de celulosa o de papel reciclado, de uso como aislantes, representan una innovación añadida, ejemplo del continuado empuje de la bioeconomía: la demanda global de productos WPC en 2009 se ha estimado en 2.6 millones de euros, con un posterior sustancial incremento.

La celulosa es una sustancia de naturaleza orgánica, insoluble en agua, presente en todos los tejidos vegetales y, por ello, la biomolécula más abundante de la biosfera terrestre. Su estructura química es la de un polisacárido con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$ formado por moléculas de β -d- glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídicos que forman largas cadenas lineales empaquetadas entre moléculas de lignina y hemicelulosas. Específicamente la nanocelulosa, a la que se alude con mayor detalle en otro capítulo, va a desempeñar un papel destacado en el ámbito de la bioeconomía.

El material ligno-celulósico de diversas especies de plantas, tanto herbáceas como mayoritariamente leñosas, se utiliza para la fabricación de pasta de celulosa (pulpa). Entre las primeras, como alternativa a los cultivos forestales en países en desarrollo, cabe mencionar el uso de kenaf, cáñamo, yute, sisal, lino y abacá; y, hogaño también, la caña de azúcar. En España se han realizado plantaciones de kenaf y experimentado para la obtención de celulosa, sin resultados concluyentes para tal fin. Se han realizado también ensayos con híbridos de *Pawlonia* (leñosa) con algunos datos experimentales sobre contenido en celulosa, lignina e índice de tracción de la pasta.

A escala mundial, la madera de troncos de algunas especies arbóreas de coníferas y frondosas, producida en plantaciones, es el material mayoritariamente usado para la fabricación industrial de pasta de celulosa. La madera es sometida a un

proceso de extracción de la celulosa, componente principal, junto a la lignina y las hemicelulosas, de la pared secundaria de los elementos vasculares del xilema (leño), formados mayoritariamente por traqueidas en coníferas y vasos en frondosas, junto en ambas de fibras propiamente dichas en sentido histológico; si bien industrialmente se aplica la denominación de fibras al conjunto de elementos xilemáticos que conforman las pastas de celulosa. Las pastas son de fibra corta, con longitud de 1 a 3 mm, característica de las frondosas y de fibra larga, con 3 a 6mm de longitud, propias de las coníferas.

La distinción en el tamaño de las fibras condiciona el uso de la pasta obtenida: la madera de coníferas, más blanda, de fibra larga (por la presencia de traqueidas), resulta más adecuada para la fabricación de papeles de elevada resistencia mecánica (envases), cartones, embalajes en general, pero menos aptos para papel de escritura, prensa o impresión. La madera de frondosas, más dura, con fibras más cortas (vasos) configuran un papel más débil, pero de superficie más lisa, apropiada para fabricación de papel de impresión, escritura y papeles tissue.

La madera de *Picea abies* y varias especies de pinos (*P.sylvestris*, *P.taeda*, *P.ellotii*, *P. strobus*) es utilizada para fabricación de pastas en los Países Escandinavos, Canadá y EEUU; *P. radiata* en España y Chile, y *P.pinaster* en Portugal. La madera de eucaliptos(frondosa) se usa para fabricación de pastas de celulosa en España, Portugal Francia, EEUU y varios países latinoamericanos (Argentina, Chile, Uruguay y Brasil, en este último de grandes plantaciones clonales del híbrido *Eucalyptus urophylla x grandis*.

En España se ha cifrado en 500.000 ha la superficie ocupada por los eucaliptares: *E. globulus* (325.000 ha), y en menor cuantía *E. camaldulensis* y *E. nitens* (unas 100.000 ha) aunque no todas estas superficies son de plantaciones destinadas a fabricación de pasta. En pequeña escala, se utilizan también los chopos, la paja, el reciclado de restos de papeles, cartones y otras fuentes menores en la fabricación de pastas.

Cabe resaltar la especial importancia de *E. globulus* en España, cuyas plantaciones presentan una considerable amplitud geográfica: Galicia, Cornisa Cantábrica, Huelva y Extremadura, de preferencia en suelos arenosos y de pizarra, en altitudes desde el nivel del mar hasta apenas sobrepasar los 400 m de altitud, dada su escasa tolerancia a las heladas, especialmente a edades tempranas; y con precipitaciones entre 500 y 1500 mm anuales, aunque en el Suroeste peninsular, con cierta sequía estival, se puede generar alguna mortandad en plantas jóvenes.

En las plantaciones comerciales para producción de pasta se han venido utilizando estaquillas enraizadas previamente en invernadero, procedentes de cepas madre cultivadas en vivero, a su vez generadas a partir de clones selectos (en selección fenotípica por su crecimiento y características de conformación). Actualmente se utilizan miniestaquillas enraizadas, también en invernadero, en condiciones controladas de disponibilidad de agua y nutrientes, temperatura y estado sanitario; condiciones que conducen a mejorar los porcentajes de supervivencia, tanto primero en el invernadero, como después en el terreno.

La densidad de las plantaciones es variable, en función de las características de la estación, que condicionan la supervivencia; también es importante el número de brotes dejados por pie en los recepes (cortas de regeneración). Densidades de 1430 pies ha^{-1} (3,50 m x 2,0m) o, un mayor espaciamiento, con 1143 pies (3,5 m x 2,5 m) son usuales.

La plantación exige una preparación previa del terreno: al tratarse de una especie heliófila y de temperamento intolerable; debe evitarse la competencia del matorral existente; así mismo se debe proceder a arrancar los tocones si la plantación se hace sobre una anterior plantación ya corta da. Tras la plantación, puede fertilizarse de nuevo unos años previos a la corta como fertilización de mantenimiento para incrementar la tasa de crecimiento; y, también, verificada la corta para favorecer el rebrote de las cepas.

Las podas ligeras (con la eliminación del tercio inferior del árbol), realizadas manualmente, son práctica puesta en juego para favorecer la resistencia al viento al reducir con ellas la superficie foliar y reforzar con ello la estabilidad de los árboles. Se requiere un control fitosanitario de las plantaciones, con especial atención a la aparición de puestas del temido insecto perforador de la madera, *Phoracantha* y, también, a las plagas del defoliador *Gonipterus*. Es práctica habitual el control biológico con los respectivos parasitoides específicos *Aveniatella* y *Anaphes*.

La excelente capacidad de rebrote de *E.globulus* hace posible realizar sucesivos recepes a lo largo del tiempo, en número variable (entre 3 y 6) en función de la estación y, en suma, de la respuesta de la planta a su ejecución. Su práctica (momento, altura a que se practican) son también objeto de cuidadosa atención y deben llevarse a cabo con minuciosidad pues su repercusión en la supervivencia y en la tasa de crecimiento es considerable.

El aprovechamiento del eucaliptar se hace por cortas a hecho. La calidad de la estación determina la evolución de la altura dominante con la edad. La determinación del turno de corta en cada recepe obedece al criterio de máxima renta en especie y la edad se establece por criterios técnicos; si bien, al estar el sector industrial de pasta de celulosa muy condicionado por el suministro de materia prima, pueden crearse condiciones de mercado que obliguen a modificar puntualmente dicho criterio.

Se han elaborado tablas de producción según calidades: para el suroeste español el rango se mueve entre 211 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de volumen maderable (calidad I) hasta 45 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, (calidad IV); con un notable incremento en la producción en el noroeste: 399 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ en el primer turno y 429 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ en el segundo para calidad I, hasta 86 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ y 153 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ respectivamente en la calidad más inferior, calidad IV.

En lo que sigue se hace breve referencia a dos aspectos, ligados uno al material vegetal y a las plantaciones, y el otro a la fabricación de la pasta a partir del mismo. Las actividades de mejora genética de *E. globulus* emprendidas en España por ENCE han conducido a la puesta en marcha de ensayos de las progenies de los árboles seleccionados; la posterior selección recurrente de los sucesivos materiales obtenidos

conducirá al incremento de la ganancia genética obtenida y a la obtención de nuevos clones con incremento de su potencial productivo. Éste puede incluir no solo el volumen sino también caracteres cuantitativos que condicionan el rendimiento y la calidad de la pasta obtenida en el proceso industrial, tales como la densidad básica y el rendimiento bruto en cocción. Con algunos de estos clones se ha impulsado el estudio fisiológico de factores de resistencia a la sequía.

La densidad básica y el rendimiento bruto en cocción condicionan el consumo específico de madera, es decir, la relación kilogramo de pasta obtenida a volumen de madera procesada, relación que en *E. globulus* es mayor que en otros eucaliptos. Los troncos para el transporte se tronzan a 2,40 m de longitud, condicionado por el ancho de la caja del camión. En fábrica se descortezan y se aprovecha la corteza como fuente energética. Seguidamente se astillan que es la forma en que se cargan los digestores.

En la fabricación de pasta (pulpeo) al sulfato (hay otras clases de pasta) se separa por acción química la celulosa de los otros componentes de la madera lignina y hemicelulosas. Se trabaja en un proceso cerrado (pasta Kraft) en el que se evita la contaminación por los efluentes líquidos generados en el proceso de cocción, el más importante, el llamado licor negro (con lignina y otros compuestos orgánicos de la madera, que se aprovecha como fuente calorífica en las calderas. La pasta con destino a papel requiere un blanqueo, proceso que exige un gran consumo de agua, y que actualmente se lleva cabo mediante peróxido de hidrógeno y ozono oxígeno, evitando así la formación de sustancias tóxicas (dioxinas, furano) que conllevaba el tradicional uso del cloro (tecnología TCF, Totally Chlorine Free).

Resta decir que la información expuesta en este capítulo procede en buena parte de la bibliografía básica reseñada a continuación, en especial del trabajo de Toval, Ruiz *et al* y hojas informativas de ENCE.

Bibliografía básica

ENCE, *Energía y Celulosa. Diferentes Hojas informativas*

JACOBS M.R., 1979. *Eucalypts for planting. FAO forest Series, nº11.*

De la LAMA G., 1976. *Atlas del eucalipto. Cinco tomos. INIA, Ministerio de Agricultura*

RUIZ F., LÓPEZ G., TOVAL G., ALEJANO R., 2008. *Selvicultura de Eucalyptus globulus Labill. En "Compendio de Selvicultura aplicada en España", Edit. R. Serrada, G.Montero y J.E. Reque, INIA, 117- 154.*

TOVAL G., 2010. *La Mejora Forestal. Cuadernos SECF nº11: 137-163.*

La madera, material en la vanguardia de la bioeconomía

Árboles

¿Habéis sido flechas caídas del azul?

¿Qué terribles guerreros os lanzaron?

¿Han sido las estrellas?

(ÁRBOLES, Federico García Lorca)

La primera acepción del término madera en el DRAE es “Parte sólida de los árboles situado debajo de la corteza”. En The Dictionary of Forestry (Society of American Foresters), la primera acepción de *wood(s)* se corresponde con el concepto de grupo de árboles y solo en tercer lugar la de madera como material. En francés, *bois* tiene indistintamente ambos significados, de bosque y material, si bien *fôret* es de mayor uso para bosque. En alemán dos voces diferentes, *Holz* y *Wald* se utilizan para designar respectivamente a madera y bosque. En el Diccionario Forestal (SECF) se especifican tres acepciones del vocablo madera en términos de Anatomía, Industria y Aprovechamiento forestal. En las definiciones mencionadas, con matices y diferente grado de precisión, la madera se relaciona directamente con el bosque, y así lo percibe el ciudadano común.

El bosque fue la habitación y la despensa alimentaria del hombre primitivo y los árboles van a proveerle de un material, la madera, que lo facilita. Su condición de recurso renovable y su multiplicidad de usos le confiere una permanencia continuada en la historia del hombre. A su uso en la construcción de espacios cerrados para guarecerse y para almacenar bienes (edificación), en la de medios de transporte (acuáticos y terrestres), a su consumo como fuente calorífica (biomasa), se incorporan a lo largo del tiempo un sin fin de aplicaciones.

La madera, de muy diversas especies (nogal, roble, caoba, ébano, cedro, pino, entre otras), en función de sus características de esculpido y duración, color y veteado, constituye desde el Antiguo Egipto material escultórico presente en los cinco continentes en forma de retablos, artesonados e imaginería religiosa, imágenes con fines estéticos, en algunos casos aprovechando las propias formas del árbol originario. La reciente escultura, expuesta en una calle neoyorkina, compuesta por 680 pequeñas piezas ensamblada hasta alcanzar una altura de cuatro metros de altura, obra de un

escultor español, a la que se ha bautizado con el nombre de Link, es muestra actual de su uso como material en la expresión de belleza ornamental.

El mayor conocimiento sobre su formación, constitución, aprovechamiento y sobre todo usos, ha conducido a que la adjetivación del término madera lleva a cerca de cien entradas diferentes en el mencionado Diccionario Forestal, que podrían distribuirse en los marcos de las tres acepciones que también incorpora la definición general de madera. Entre ellas cabe destacar en primer lugar su condición de material renovable a la que cabe unir las referentes a su origen taxonómico (frondosas y coníferas), perfil anatómico y formación (xilema secundario presente en el tronco de los árboles), constitución (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima), estructura (albura y duramen o corazón, posición del árbol en el suelo (madera de compresión y de tracción); época del año en que se forma, de primavera (temprana) y de otoño (tardía), edad del árbol (juvenil y madura), estado en el monte (en pie, cortada, apilada), estado físico (anhidra, verde y seca al aire), clase de destino (de sierra, de desmenuado, otros).

En el sector industrial la industria maderera puede concebirse como el conjunto de procesos industriales que atañen al producto natural desde la corta del árbol y su extracción hasta su transformación en objetos de uso práctico, pasando por su almacenamiento, tratamiento y moldeo. Incluso con una planificación previa de usos de la madera extraída en un determinado espacio forestal cabría extender dicha definición a la etapa de plantación de la masa arbórea.

La industria de la transformación de la madera es una de las fuentes de empleo más importantes en la Unión Europea; es una industria muy diversificada, con predominio de las PYMES, con unas 380.000 industrias; en ella la representación española es destacada. La demanda de madera es ascendente: entre 2010 y 2030 experimentará un incremento entre 21% (201,70 M m³) y 47% (453,20 M m³) referidos a la madera en rollo equivalente; lo que hace vaticinar un futuro muy esperanzador a un material renovable, cuyo aprovechamiento debe ser sostén de las masas forestales. El incremento neto anual de los bosques en la UE 27 es de 360 M m³ de los que solo se corta un 64%, por lo que el saldo neto es muy favorable al volumen mantenido por unidad de superficie de bosque: es decir, la extracción de madera en Europa es, en términos globales, conservacionista. Algunas cifras complementarias reflejan los diferentes destinos actuales de la madera cortada en España: sector del mueble, principal consumidor de la madera aserrada (49,90%), componentes de construcción (28,7 %), aserradero, devastado y tratamiento (13,30 %) y embalaje 83,90 %).

Los productos de la madera al entrar en una economía mundial de gran competitividad, determinan que la gestión forestal, a través de la silvicultura aplicada a la masa forestal y conduce al incremento en la tasa media de crecimiento anual por hectárea en los bosques gestionados de Europa y Norte América. Ello, unido al desarrollo experimentado en el proceso industrial a que se somete la madera, juega un papel importante en el mercado de la madera en términos de competitividad de los productos obtenidos.

El control de calidad, en opinión de los expertos, es requisito en el comercio internacional de la madera: implantación de procesos de control de calidad en toda la

cadena monte-corta-transporte- almacenamiento- fábrica, hasta el producto final. Así, es especialmente importante el control de la humedad de la madera y el secado de la misma, dada la variabilidad en el contenido en humedad existente entre especies, edades, calidad y partidas. Es éste un eslabón de la cadena industrial de procesamiento de la madera en el que el secado a vacío con vapor de agua sobrecalentado ha supuesto un importante avance tecnológico.

Junto a los caracteres anteriormente mencionados y, con mayor amplitud, la estación (clima y suelo) y la especie, incluso procedencia (de índole genética) que definen una madera, los tratamientos selvícolas son primeros determinantes de la calidad. Tratamientos, que requieren una planificación previa, desde su inicio tras la regeneración de la masa por semilla o plantación. Su implantación y seguimiento requiere, a su vez, que exista una estrecha relación entre la propiedad (estatal, comunal, privada) y la industria forestal. Ello adquiere especial importancia si la madera producida va destinada en los productos más innovadores de uso en decoración y construcción.

Dos requisitos adicionales deben tenerse en cuenta. Por una parte, la declaración de que los tratamientos selvícolas y cualquier otra actuación que afecte a la masa forestal den cumplimiento a la normativa ambiental ya generalizada (producto con certificado ambiental); por otra la constancia de la utilización de un material natural, la madera, implica una reducción en la huella de carbono frente a productos que contribuyen a su aumento (véase respecto a ambos aspectos los capítulos décimo y doceavo).

Otros eslabones de la cadena están implicados en el logro de conseguir mayor competitividad de los productos de la madera fabricados en España, no tanto por la mejora de organización de una empresa determinada (pues beneficiaría a todas), sino por el incremento de la cuota de mercado (frente a maderas de importación). Cabe aludir a mejoras en el almacenamiento y logística y en la innovación de procesos de control de calidad, que se unirían a mejoras en los procesos de gestión selvícola integrando las calidades demandadas por la industria, sin olvidar la necesidad de incremento de inversión en I+D.

Junto a la industria de la celulosa y el papel y otros usos tradicionales de la madera (maciza o como parte sustancial de diversos materiales de construcción e interiorismo) la ingeniería de la madera se proyecta en muy diversas aplicaciones en la industria del vino (duelas para barricas e incorporación de virutas para acelerar su envejecimiento), industria pesquera (embarcaciones) y en la construcción (viviendas, espacios deportivos, vías de comunicación), nuevas o con mejoras en su fabricación y mercantilización.

Las mejoras tecnológicas introducidas en la fabricación de madera laminada (piezas de madera aserrada encoladas en varias capas superpuestas con la dirección de la fibra paralela a su mayor dimensión), tableros: contrachapados (por desenrollado de las trozas en chapa y encolado de capas superpuestas), tableros de virutas y partículas (por disgregación parcial de la estructura de la madera) y tableros de fibras (por disgregación más intensa para la obtención de fibra), han supuesto una innovación en las

prestaciones técnicas y usos de los tableros: la reducción del uso de formaldehídos (productos tóxicos) y la incorporación de resinas proporcionan adherencia de las partículas de la madera y mayor ligereza (al reducir la compresión en su fabricación). En el Diccionario Forestal se recogen las definiciones de estos y otros productos y utensilios propios de la industria de la transformación de la madera.

Los tableros contra-laminados (TCL), formados por al menos tres capas de tablas de madera encoladas (generalmente de coníferas), perpendiculares entre sí (con posible inserción de clavijas de madera seca para reforzar la unión entre tabla (Brettstapel), se han extendido en la construcción de las paredes (externas e internas) de edificios sin límites de alturas. A su condición de material reciclable, reducción del tiempo de construcción que implica su uso, ligereza (ahorro en la cimentación), resistencia a terremotos y condición de aislante térmico (menor consumo energético exigido por la UE), se unen su capacidad de secuestro de carbono (una tonelada de CO₂ por metro cúbico de madera) y, a su vez, de la menor emisión en el proceso de fabricación. La cifra de 400.000 metros cúbicos de estos paneles producidos en países de Europa Central en 2011 es muestra de su potencialidad.

La aplicación de ultrasonidos y de termografía por infrarrojo para la detección de defectos, determinación de la densidad, clasificación de maderas, diagnosis del estado de maderas del patrimonio histórico es reflejo de la incorporación de la importancia concedida al uso de la madera en el ámbito arquitectónico y a la incorporación de nuevas tecnologías a la investigación sobre madera.

La madera puede ser la base de la fabricación de productos innovadores en términos de nuevas mercancías (p.e. los bio-polímeros) o de servicio; también, que el producto sea más competitivo (p.e. más económico): en ambos casos puede hablarse de innovación que se traduce en crecimiento de la industria. También, en UNECE/FAO se consideran como innovación los cambios en la organización del negocio de una firma comercial y los de una mejor percepción del producto por el consumidor en el mercado (p.e. su promoción).

Otras mejoras tecnológicas confieren a la madera aplicaciones que permiten actualmente la competencia con otros materiales: uso más duradero al aire libre y mayor resistencia al ataque parasitario por extracción de resinas y azúcares (madera acetilada); resistencia al agua, durabilidad y estabilidad dimensional en la madera termotratada (por aire o en aceite a elevada temperatura); envejecimiento acelerado (por incorporación de adhesivos a partir de taninos).

Los muebles ecológicos han cobrado especial relevancia en el mercado. Se entiende por tales aquellos que se fabrican con materiales naturales o reciclados sin ningún tipo de tratamiento químico ni aditivo que los altere; y en los que queda reducida la huella de impacto ambiental. La madera usada, maciza (de pino, roble, haya, entre otras especies) debe proceder de bosques gestionados de manera responsable, con certificación forestal; siendo recomendable usar para el transporte de los muebles embalaje de material reciclable (cartón).

Así mismo, la madera además de su papel en la industria maderera tradicional juega otro como fuente masiva de biomasa para usos energéticos (véase capítulo 17) y en la ya histórica fabricación de pasta de celulosa para papel y cartón (véase capítulo 18).

Las fibras de la madera (o ésta reducida a serrín o virutas) son materia prima para la fabricación de bio-materiales o materiales compuestos (composite). Entre ellos se encuentran los bioplásticos en los que las fibras de madera (componente matriz, con mayor peso en el compuesto) se mezclan con una gran variedad de plásticos (polipropileno, solo o en mezcla con poliestireno, y polietileno), formando los compuestos de madera-plástico (WPC, en sus siglas en inglés), un producto distinto a los tradicionales tableros de fibras de densidad media (MDF, en sus siglas en inglés) o de partículas. El moldeado generado por compresión del plástico y de la celulosa combina la termoplasticidad del polímero con el refuerzo que proporcionan las fibras de celulosa. Sus usos se extienden en áreas comerciales diversas: empaquetado de alimentos (en sustitución de papel o cartón), como absorbentes en productos de higiene; y en productos de consumo en la industria electrónica, de automoción y aeroespacial. El Tencel, producto generado por la industria textil a partir de maderas de eucalipto y haya, se usa en la tapicería de los asientos de automóvil (en combinación con otras fibras) por su capacidad de controlar la humedad y absorber el calor; en la fabricación de alfombrillas (en combinación con lana) al aportar fibra gruesa; y, también, en forma de polvo, en mezcla con plásticos para fabricar compuestos moldeados por inyección.

Especial relevancia puede tener la incorporación de la nanotecnología al sector de los productos forestales, que ha dado lugar a la palabra *nanowood* (nanomadera), como expresión de la conexión entre biología de la madera básica y la ciencia de los materiales. Se trata de la exploración (y en su caso optimización) de la madera como fuente de la producción de nanocelulosa; término con el cual se designa un material gelatinoso, translúcido, amorfo, obtenido tras la homogenización por ultrasonidos y reticulación de la pasta de celulosa. Este material; de condición amorfa, por hidrólisis ácida da lugar a nanocelulosa cristalina. Las nanofibrillas que la componen son nanocristales de celulosa con propiedades mecánicas (ligereza y resistencia ocho veces la del acero) y térmicas (gran conductividad) que les confieren utilidad como aditivo o refuerzo de polímeros compuestos (composite polymers) en recubrimientos que generan resistencia a la abrasión, protección frente a ataques de hongos y mejora de la resistencia al fuego. Sus aplicaciones, todavía en fase experimental, pueden extenderse a la elaboración de pantallas electrónicas flexibles, partes móviles para computadoras, vidrios blindados y como sustituto de material metálico en la fabricación de automóviles. Cubiertas de móviles, baterías y cargadores, teclados, tarjetas; diodos orgánicos (OLED) en ordenadores, pantallas TV y faros de automóviles en sustitución de diodos LED; bio-polímeros (fibras -poliamidas) para reemplazar partes funcionales con metales en la industria, son productos que, ya están en el mercado, o en espera de ser competitivos.

Un tercer aspecto de la utilización de la madera en el ámbito de la Bioeconomía es en forma de lo que ha venido en llamarse Biorrefinería forestal o Biorrefinería del árbol, por similitud con una refinería del petróleo. La madera (en general la biomasa lignocelulósica vegetal) se somete a una sucesión en cascada de procesos químicos (hidrólisis), enzimáticos (lignasas, lacasas) y biológicos (hongos) con el objeto de su fraccionamiento integral en componentes de interés industrial. Junto a las nanofibrillas de celulosa (antes mencionadas), a partir de la celulosa se obtienen productos de su degradación (etanol, ácido láctico, glutámico y levulínico, xilosa y sorbitol); a partir de la hemicelulosa polímeros y productos de su degradación (alcoholes); a partir de la lignina, emulsificantes, adhesivos y resinas junto a gas, aceite y carbón.

Bibliografía Básica

FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.I., 2007. *Manual técnico de secado de maderas*. AITIM, pp 249.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.I., HERMOSO E., 2015. Las necesidades de I+D+i y de formación de la industria primaria de la madera en España. *SECF, Cuaderno nº 39*, 337-344.

GARCÍA L., 2002. *La madera y su Tecnología*. Edit. Mundi- Prensa, pp 332

GARCÍA L., 2005. *Especies de madera*. AITIM, pp 750.

GARCÍA L., PALACIOS P., 2006. *Tecnología de la madera*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.

INTERNATIONAL WORKSHOP on *Biorefinery of Lignocellulosic Materials* (IWBLCM), Córdoba, Spain, June, 2015.

LÓPEZ G., *et al*, 2013. Estimation of wood density using infrared thermography. *Constr. Build. Mate*: 42: 29-32.

NEW SCIENTIST MAGAZINE, 2012. Why wood pulp is world's new wonder material?

del PRADO M^a, 2009. *Biorrefinerías: situación actual y perspectivas de futuro: informe de vigilancia tecnológica*. Genoma España, pp 149.

SECF, *Diccionario Forestal*. Edit. Mundi Prensa, pp1315.

VEGA A. y ocho coautores, 2015. Innovación de procesos y productos en el sector de la madera. *Cuadernos de la SECF, nº 39*, 323-336.

VIGNOTE S., 2005, *Tecnología de la madera*. Edit. Mundi-Prensa, pp 678.

Los Montes, fábricas de resinas, aceites esenciales, principios terapéuticos y recursos alimentarios

*No quiero pasar la noche, sin luna, el desfiladero.
No quiero.*

*Que no lo quiero pasar,
Porque no veo lo hondo que va el pinar
(HACIA LA TIERRAS ALTAS, Rafael Alberti)*

*Flotaba por los senderos el olor del esplego, del romero
Y de la aliaga, mezclada con l resina del pino negral: era
un olor fresco, una delicia, limpia, ingenua, alada
(BODEGÓN CON PECES. José Pla)*

El bosque, hábitat natural del nomadismo, mantiene con el sedentarismo su condición de despensa de recursos alimentarios (de origen animal y vegetal), de provisión de materiales en el desarrollo de las civilizaciones, y de laboratorio natural de fabricación de sustancias químicas, unas de aplicación en la industria, otras con fines curativos (base de las actuales farmacognosia y farmacología), otras para el adorno corporal; y, en los tres casos, en sus comienzos (y con relictos actuales en civilizaciones primitivas) en un entorno de magia y creencias religiosas.

El hombre ha sacado provecho del fenómeno natural de la biosíntesis en glándulas o canales secretores de sustancias resinosas, bálsamos, gomas, que forma parte del metabolismo secundario de diferentes vegetales. Su secreción y posterior exudación al exterior son incrementadas (incluso inducidas de novo) por acciones físicas (excisión de ramas y ramillas), agentes meteorológicos, incisiones provocadas por el hombre, mordeduras de animales, y daños diversos por insectos y hongos.

Junto a otras clases de secreciones naturales – latex (para producción de caucho), gomas (goma arábica), gomosis (enfermedad de frutales)- el término resina o sustancia resinosa (por su viscosidad) es también (y en mayor grado) aplicable a un abundante número de productos fabricados industrialmente, algunos de los cuales incorporan en su fabricación algún material resinoso natural.

En España, especialmente en el ámbito forestal, la palabra resina ha tenido una significación específica, ligada al aprovechamiento de algunos montes (montes resineros); al igual que otras derivadas de ella: resinación, industria resinera y resinero, términos en relación con la exudación de una oleorresina, sustancia líquida de color ambarino que, producida por algunos pinos, al fluir a la atmósfera y oxidarse, y retener impurezas existentes en el aire, se oscurece y hace más viscosa. Es lo que se conoce como miera (trementina).

Con el vocablo resinosas se alude a la mencionada capacidad de síntesis y secreción de oleorresinas en algunas Pináceas (*Pinus*, *Abies*, *Picea*), si bien es frecuente que dicho término, erróneamente, se contraponga al de frondosas, asignando el de resinosas al conjunto de especies arbóreas de Coníferas, aunque solo algunas tengan dicha propiedad.

En España, la resinación de algunos pinos (pino negral o resinero, pino piñonero y pino carrasco) se ha practicado ancestralmente, llegando a resinarse en Castilla y León una extensión de unas 400.000 ha de pino negral (*Pinus pinaster*); también se ha practicado, en menor cuantía y con rendimientos más bajos, en pinares tanto de esta especie (p.e. en algunas masas de pino rodeno en la Sierra de Albarracín en Teruel, y en Guadalajara y Albacete), como de pino carrasco (*P. halepensis*) en Levante. Los pinos *P.elliotti* y *P. palustris* en el SE de EEUU, por Naval Stores Industry, *Pinus merkusii* en Indonesia, *Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea* y *Pinus elliottii* principalmente en Brasil de Centro y Suramérica y *P. taiwanensis* y *P. Armand* en China, son, o han sido, también objeto de resinación.

La exudación de la oleorresina se provoca en el tronco de árboles maduros, que hayan adquirido cierto grosor, al practicarles sucesivos cortes horizontales (picas) en forma de media luna, eliminando la corteza y entrando en el xilema, en sentido ascendente o descendente, partiendo en torno a un metro de altura sobre el suelo, a lo largo del periodo vegetativo. El conjunto anual de picas se conoce como cara (sistema de resinación Hugues). Tras la cara de apertura, en campañas sucesivas se abren nuevas caras siguiendo el perímetro del árbol, a la misma altura que la primera, si lo permite el grosor y estado vital del árbol. La miera producida en cada campaña se deja que vierta en un envase de barro (pote) sujeto al tronco, mediante una grapa metálica anclada en el tronco. Después, acumulada en toneles, se transporta a la fábrica de resina donde tras la eliminación de las impurezas mayores, se procede a su destilación al vapor de agua, en alambiques, para la separación del aguarrás, líquido, rico en monoterpenos, y un residuo sólido, la colofonia, de aspecto y consistencia ambarina, en cuya compleja composición química son compuestos principales diversos diterpenos conocidos como ácidos resínicos.

Por acción de las picas se cortan los canales resiníferos horizontales, canales exclusivamente conductores, cuya disposición radial posibilita, al seccionarse, la exudación de la oleorresina al exterior. Los canales horizontales conectan a su vez con canales verticales, provistos de células secretoras que configuran cilindros huecos a cuyo interior secretan la oleorresina que producen. Su conjunto forma una red tridimensional de canales a lo largo del leño(xilema) del árbol, en cuyo interior se acumula la oleorresina secretada. Esta red espacial se extiende vertical y radialmente con cada nuevo anillo de crecimiento del tronco, con un incremento del número de canales por la acción traumática que generan las picas. La acción de corte de las picas se complementa con la aplicación de ácido sulfúrico diluido, bien formando una pasta con caolín o, también aplicado en forma líquida por pulverización (resinación con estimulante). Esta incorporación produce un incremento en la producción de

miera por el efecto facilitador del ácido (desgarramiento celular) en la conducción y salida de la oleorresina, sin efecto metabólico alguno sobre su biosíntesis.

La resinación en el monte y la industria resinera han sufrido en España un agudo descenso, hasta casi la extinción en algunas zonas resineras en las que los pinos han dejado de resinarse ante la fuerte competencia de precios con los productos de los mercados asiáticos y americano. Sin embargo, el sector ha evolucionado en el último quinquenio alcanzándose una producción de 12 313 toneladas de miera y un valor económico de 12,30 M de euros en la Comunidad de Castilla y León; así mismo, existe un especial empeño en la modernización del sector a nivel formativo (resineros especializados, cuyo número se ha quintuplicado) y en la mecanización de la resinación en el monte y en el proceso industrial, así como en el apoyo técnico, con el tratamiento selvícola para la prevención de incendios. Otras iniciativas impulsadas por la Junta de esta Comunidad Autónoma atañen a la certificación en Gestión Forestal Sostenible bajo el sistema PEFC y el reconocimiento de proyectos de innovación en el sector en términos de fomento del I+D+i y obtención de ayudas a través de ADE Rural.

En este nuevo marco de resurgimiento de la producción de miera y de la industria resinera cabe destacar la productividad en Segovia, con una media de 3 a 4 Kg/árbol y la cercanía de la industria transformadora a los pinares de resinación, con las dos principales empresas en Coca y Cuéllar. Cabe, también, aludir a la vía experimental abierta de prospección de potenciales grandes productores (en algunos pies se duplica e incluso triplica el valor medio de miera recogida por campaña) con la búsqueda de posibles correlaciones entre la producción en un árbol con los valores de la presión de exudación de la oleorresina (medida con tubos capilares insertos en el tronco) y con algunos parámetros fisiológicos. En el ámbito del mejoramiento genético, el establecimiento de bancos clonales de pies injertados con púas colectadas en la copa de grandes productores, y la puesta en marcha de ensayos de progenie de los mismos son vías de investigación prometedoras, que debe continuarse hasta la obtención de resultados a medio plazo..

Cabe añadir, que, según los expertos, los países del Sur de Europa podrían fácilmente alcanzar una producción de 100.000 toneladas de miera, cifra muy a tener en cuenta para la industria química en la apuesta por la bioeconomía de la Comisión Europea. La colofonia se usa en la fabricación de tintas de impresión, como emulsionante en la fabricación de caucho sintético, en adhesivos y en la fabricación de productos depilatorios, jabones y pinturas. El aguarrás ha tenido su uso principal como disolvente y en la fabricación de pinturas, pero en la actualidad la aplicación más importante es en fabricación de fragancias, aromas alimentarios, y resinas politerpénicas.

Junto a las formaciones arbóreas (pinares) ligadas a la producción de miera, en algunos matorrales, particularmente abundantes en espacios sin o con escasos árboles, muchas veces en situaciones de borde, en los montes existe una copiosa presencia de especies aromáticas, ricas en aceites esenciales. Algunas especies, principalmente de la familia labiadas, y más específicamente del género Lavándula, son fábricas naturales de aceites esenciales, sustancias sintetizadas en glándulas, mayoritariamente presentes en las hojas, en cuya destilación fraccionada se separan componentes

líquidos, volátiles y singularmente aromáticos; aromas, cuyas diferencias van determinadas por su composición terpénica (mayoritariamente monoterpenos) ligada a la especie, también al ecotipo e incluso al genotipo (aspecto pendiente de investigación).

Las humildes matas de lavándula, salvia o romero, nacidas en montes no singularmente apreciados, han sido el punto de arranque de extensos cultivos, que han popularizado el nombre de las aromáticas con el que se designa su conjunto, principalmente de lavándula, y la industria derivada de los mismos. Cultivo que, por la naturaleza de los terrenos en que se implantan (condiciones térmicas, hídricas y nutritivas poco exigentes), proporciona una renta competitiva con otros cultivos más tradicionales; circunstancias que se complementan con la facilidad de instalación en proximidad a las plantaciones de los equipos industriales de destilación requeridos para la obtención de los aceites esenciales dada su sencillez tecnológica.

Por otra parte, la flora denominada melífera es componente principal de la vegetación no arbórea (arbustos y matorral) abundante en los montes de la España mediterránea y las colmenas instaladas en ellos proporcionan una sustancial riqueza con la obtención (con una sencilla elaboración) de un variado elenco de clases de miel, cuyas diferencias de coloración, consistencia y sabor se relacionan con las especies en que liban las abejas, fieles colaboradoras en la obtención de renta en los montes.

Una grave amenaza se cierne sobre la apicultura. En el otoño de 2004 apicultores de todo el mundo comenzaron a alertar de pérdidas masivas en sus colmenas, con desaparición de un alto porcentaje de las abejas adultas quedando únicamente la reina y las crías. El fenómeno se ha denominado síndrome del colapso de las colonias (CDD por sus siglas en inglés, Colony Collapse Disorder). En varios informes se alude al efecto de diversos pesticidas (neonicotinoides) que atacan el sistema nervioso de las abejas provocando su desorientación; se relaciona su uso con el incremento de mortalidad de las abejas y la producción de miel, e incluso que las abejas pueden verse atraídas por el néctar con estos pesticidas.

Los montes, principalmente en situaciones marginales, son también hábitat de especies de herbáceas y leñosas que contienen principios activos de aplicación terapéutica. El beleño, la digital, la belladona, el estramonio y otras solanáceas ricas en glucósidos de aplicación terapéutica, presentes en situaciones de borde, frente a la umbrófila valeriana, cuyo extracto se usa como sedante y ligeramente hipnótico; sin ignorar las diferentes especies conocidas como manzanilla, son buen ejemplo de la rica flora ibérica de herbáceas y vivaces presentes en los montes recogida en la farmacognosia española. A ellas cabe añadir otras, arbóreas y arbustivas, laboratorios naturales de síntesis de principios usados farmacológicamente, o susceptibles de uso, como el tejo, del que se obtiene el taxol, usado en procesos cancerígenos, y la adelfa, abundante en ramblas, con sustancias digitálicas; o con propiedades curtientes como la gayuba. También cabe mencionar las propias fresas y grosellas, los arándanos y otras bayas presentes en el estrato inferior, o en los bordes de algunas masas arboladas, que

representan una riqueza del monte necesitada de una regulación de uso y valoración económica como lo va siendo la riqueza micológica

Biblioteca básica

FAHN A., *Plant Anatomy*, Edit. Pergamon Press.

FONT QUER P., 1962. *Plantas Medicinales. El Dioscórides renovado*. Edit. Labor.

NAJERA F., 1961. *Sistema de resinación de pica de corteza estimulada con ácido sulfúrico: normas de aplicación*. M^º de Agricultura, IFIE, Madrid.

PEREZ AGUILAR, E., 2013. *Revisión histórica de la resinación. Un caso especial en la Serranía de Albarracín*.

PINILLOS F.M., PICARDO A., ALLUÉ-ANDRADE M., 2009. *La resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares*. CESEFOR, Soria, pp 78.

TADESSE W., AUÑÓN F.J., PARDOS J.A., GIL, ALÍA R., 2001. Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 10(1).

Subericultura e Industria Corchera, un sector en evolución

*... gusto de viento de garbe perfumado
de peladuras de alcornoque. Aroma del país
EL CUADERNO GRIS, Josep Pla)*

*Pero tú, sacra encina del celta,
y tú, roble de ramas añosas,
sois más bellos con vuestro follaje
que si mayo las cumbres festona
salpicadas de fresco rocío
donde quiebra sus rayos la aurora,
y convierte los sotos profundos
en mansión de gloria.
(EN AS ORILLAS DEL SAR, Rosalía de Castro)*

El término corcho es amplia y comúnmente conocido como apelativo de un material usado para fabricar tapones de botellas de vino y otras bebidas alcohólicas. Su condición de materia prima obtenida de un árbol y el abanico de sus aplicaciones no lo es tanto; y si se inquires sobre cómo se genera en el árbol y se extrae del mismo, la respuesta será menos precisa.

La Subericultura es el término usado para designar la selvicultura de los alcornocales, título conocido por ser el que encabeza el tratado sobre el corcho del profesor portugués Vieira Natividade, traducido a varios idiomas. En él se encuentra una amplia y rigurosa información técnica sobre el Conjunto de processos empregados na criação, exploração e proteção do sobreiro (corcho en español).

La industria corchera, de amplia tradición en España y Portugal, comprende los procesos que conciernen a la fabricación, la investigación y la comercialización de

productos en los que el corcho es componente único o en combinación con otros materiales.

En ambas, subericultura e industria corchera, se ha producido un importante proceso de renovación con la incorporación de tecnologías para la extracción del árbol y para la fabricación con el material obtenido de productos que abren nuevos mercados al corcho en competencia con otros materiales, sobre los que destacan su condición de recurso natural, renovable y con propiedades industriales muy variadas. En lo que sigue se da una sucinta visión de los alcornoques y el aprovechamiento del corcho, por una parte, y de la industria corchera e innovaciones en la misma, por otra.

Los alcornoques forman masas arbóreas típicamente mediterráneas, puras o en mezcla, extendidas por una superficie total de más de dos millones de hectáreas, mayoritariamente en la Península Ibérica; también presentes en el sur de Francia, Norte de África, Córcega, Cerdeña, Italia y litoral de Albania. En España abundan en el cuadrante SO y en las provincias de Gerona y Barcelona, junto con reducidas poblaciones relicticas en otras regiones.

El factor edáfico, su naturaleza de especie calcífuga (en sentido amplio) y su preferencia por suelos silíceos (granitos, gneis, areniscas, cuarcita y pizarras) es el factor ecológico más definitorio de la especie. A él se une la preferencia por lugares termófilos (temperatura media anual de 14-17°C) e hidrófilas (precipitaciones de 600–1000 mm anuales), llegando a los 1.000 m de altura; formando masas puras, también en mezcla, principalmente con encina, y en menor grado con los pinos negral y piñonero (ver capítulo 12).

Los alcornoques forman masas arbóreas fuente de un material renovable, biodegradable y reutilizable, el corcho; a su aprovechamiento se unen el de leñas, las bellotas, la caza, los pastos y el posible cultivo de cereales. Su madera, de mediana calidad, de extrema dureza, se ha empleado para traviesas de ferrocarril, apeas de mina y duelas.

En los alcornoques adehesados (en terrenos llanos o suavemente ondulados) el pastoreo y el laboreo continuados han dificultado/impedido su regeneración natural y las podas excesivas para la obtención de leñas han conducido al envejecimiento prematuro de las masas, a la escasa producción de corcho y a la invasión de matorral. A decir de los expertos solo una regeneración asistida podría rejuvenecer estas masas.

En España, en algunas sierras de Andalucía y Extremadura y, particularmente, en el nordeste peninsular -Alto Ampurdán y estribaciones del Montseny- se encuentran los alcornoques más densos, mejor tratados selvícilmente y con mayor producción de corcho, con rentabilidad mayor para la producción de corcho triturado. En el capítulo doceavo puede encontrarse más amplia información sobre la selvicultura de la especie.

A los hechos y circunstancias mencionadas se unen los efectos del cambio climático, incendios, plagas y enfermedades. La culebrilla o perforador del corcho (*Coraebus undatus*) es una especie de coleóptero de la familia Buprestidae, que se alimenta casi en exclusiva del alcornoque al que puede causar graves daños. El hongo *Hypoxylon mediterraneum* constituye una amenaza latente; el hongo *Diplodia diezma* rodiales enteros y deja claros considerables en las masas; *Armillariella mellea* es causante de “la mancha amarilla”, con grave deterioro de las panas de corcho; *Phytophthora cinnamomi* es causante de la podredumbre radicular. El análisis de su control en el marco de gestión de los alcornocales, producción y *transformación* del corcho se encuadra, a su vez, en uno más amplio sobre el manejo sostenible de los sistemas forestales y obtención de bioproductos e impulso de la bioeconomía.

Una definición anatómica del corcho, o suber, es la de tejido vegetal formado a partir del meristemo denominado felógeno en plantas con crecimiento secundario; es la porción externa de la peridermis (corteza) que restituye la función protectora de la epidermis en troncos y ramas principales de los árboles en general, pero que en el alcornoque adquiere el grosor y consistencia (células de pared gruesa y abundantes espacios intercelulares) que confieren al corcho sus excepcionales propiedades.

A la ancestral fabricación de tapones y discos en el embotellado de vinos y licores se une, su uso como aislante térmico y acústico, propiedades a las que se unen su flexibilidad y resistencia, bajo peso específico (0,13 - 0,25 g cm³), elasticidad, impermeabilidad a líquidos y gases y resistencia al fuego (ignífugo). Con los gránulos de corcho del primer y segundo descorche (no usado para tapones), dadas sus características de densidad y tamaño (70-90 kg m⁻² de superficie y 0,25 a 22,4 mm respectivamente) se fabrican planchas de uso en decoración, paredes y suelos.

La extracción del corcho del árbol (descorche o pela) se practica en el estío, reiniciado el periodo vegetativo, tiempo en el que el desarrollo del tejido subyacente y generador del suber facilita la operación del descorche, aunque no sin causar un cierto desequilibrio hídrico en el árbol; y que visualmente confiere a los troncos de los árboles recién pelados un color marrón-rojizo muy característico. Así mismo, la ausencia del suber provoca un aumento de la vulnerabilidad al fuego del árbol (se calcina a partir de los 120°C) y puede conducir a mortandades considerables, por lo que es aconsejable tras un fuego dilatar el descorche varios años.

Es práctica común realizar el primer descorche (corcho virgen) a los 20-25 (incluso 35-40) años, cuando el árbol alcanza unos 70 cm de circunferencia a 1,30 m de altura, en todo caso condicionadas por la fertilidad del suelo y tratamientos selvícolas aplicados; factores de los que así mismo depende el periodo entre los descorches sucesivos, en general, cada 9 a 10 años, periodo que debe prolongarse tras un incendio. Los ciclos de descorche pueden extenderse hasta los 140, incluso 200 años de edad del árbol, lo que evidencia su vigor y la longevidad de la especie.

España es, después de Portugal, la segunda productora mundial de corcho, con una fabricación estimada de 3.000 millones de tapones el año 2014, la mitad con

destino a la exportación. La industria corchera, de inveterada tradición, pero con la competencia con la que se enfrenta (materiales sintéticos que cubren parte de las aplicaciones del corcho) se está abriendo a innovaciones conducentes a potenciar la puesta en valor del corcho en cuatro frentes: ambiental, forestal, industrial y comercial.

En el contexto forestal son recalcales diferentes aspectos que afectan directa o indirectamente a los alcornocales objeto del aprovechamiento industrial del corcho.

La técnica LCA (Life Cycle Assessment en inglés) se aplica en la evaluación de impactos ambientales asociados a todos los estadios de la vida del corcho (la propia masa arbórea, la pela y el procesado del corcho) y especialmente se proyecta a los dos principales productos naturales del corcho, tapones y discos; estos últimos, pegados a conglomerado de corcho triturado generan también tapones. Se muestra que la emisión atmosférica de CO₂ en el descorche, evaluado con esta técnica, es muy inferior a la fijación y secuestro de carbono por el corcho, lo que ratifica el positivo papel de los alcornocales en la mitigación del carbono atmosférico y aboga por nuevas plantaciones.

El impulso de nuevas plantaciones de alcornoque, la aplicación de técnicas sensoriales en el control de plagas y enfermedades y el seguimiento y manejo pormenorizado de las masas corcheras productoras de corcho industrial con tecnología digital supone un importante avance en la gestión de alcornocales.

Especial énfasis merecen las investigaciones sobre el mejoramiento genético: selección de masas de alcornoque, establecimiento de ensayos de progenie, propagación vegetativa y cultivo in vitro (inducción de yemas adventicias, embriogénesis somática) partiendo de árboles fenotípicamente sobresalientes por su producción de corcho; así mismo, se trabaja en la secuenciación del genoma de la especie y creación de un chip de ADN que condensa la información genética. Cabe destacar el estudio de las diferencias de expresión génica y genética entre el suber de la encina y de los híbridos de encina y alcornoque con objeto de conocer mejor las bases moleculares de la formación del corcho y caracterización de los híbridos de ambas especies.

En el frente industrial se ha incorporado instrumentación de precisión en el análisis de vinos y en la evaluación del comportamiento de los diferentes productos que contiene el corcho en el proceso de conservación del vino. La Cromatografía de Gases/Masas/Masas (SPME) para la cuantificación de aromas en vino (detección de la presencia de más de 800 compuestos volátiles a nivel de nanogramos); el desarrollo, en vías de aplicación, para la detección de olor, de una nariz electrónica que facilita la separación de los tapones dañados antes de entrar en la cadena de embotellamiento, y el uso del sensor laser L-sensor CO₂ en el seguimiento (y exigible mantenimiento) de la presión interna de CO₂ en botellas con diversos tipos de tapones y condiciones de posición de la botella, ejemplifican el avance tecnológico conseguido y evidencian la apuesta por la innovación que lleva a cabo la industria corchera en Portugal y España.

Se ha impulsado la investigación sobre potenciales aplicaciones industriales de los principales componentes químicos del corcho. En el ámbito comercial cabe destacar el fomento internacional del comercio de productos manufacturados con corcho, la creación de un código (International Code of Cork Stoppers) que certifica el cumplimiento de la normativa por parte de los fabricantes; y la participación colaborativa de diversos centros y laboratorios de investigación sobre el corcho: Centro de Formação Profissional da Indústria da Cortiça (CINCORK) en Portugal; Institut Català del Suro (ICSUR), Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal (IPROCOR -CICMC- adscrito a CITYTEX), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia (INIA), Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) entre otros.

Los granulados de corcho (en sus variantes industriales blanco y negro) fabricados a partir del material residual de la fabricación de tapones y de los residuos generados en el descorche en monte, se utiliza en la fabricación de aglomerados. Los aglomerados “composite” o aglomerados blancos, se fabrican con gránulos de corcho sometidos a cocción a baja temperatura a los que se mezclan con muy diferentes productos (caucho, plásticos, asfalto, cemento, yeso, caseína, resinas, y gomas). Por otra parte, al calentarse, la fusión de la suberina (biopolímero componente de la estructura celular del corcho) actúa como aglutinante y permite la conformación del material en placas sin necesidad de ningún aditivo químico. El proceso de tostado incrementa las prestaciones aislantes del corcho, la célula se expande, aumenta de volumen y mejora las características térmicas y acústicas del mismo.

La laminación de corcho aglomerado para la fabricación de la cubierta en zapatillas de deporte, en tablas para patinar sobre asfalto y en tablas y accesorios para surf, paraguas, incluso en móviles, muestran su multiplicidad de usos dada su resistencia y duración. El uso potencial como combustible del polvo de corcho generado en los procesos de trituración y clasificación por cribado del granulado de corcho se encuentra en proceso de análisis. También, en el Institut Català del Suro (ICSUR) un nuevo proyecto de economía circular con 3D Spider está en fase de desarrollo para crear un producto con alrededor del 20% de masa de corcho en su composición para la impresión 3D, extrusión, inyección y manufactura

La capacidad absorbente del corcho tiene dos efectos antagónicos para su uso industrial. En el alcornocal, el suber absorbe contaminantes atmosféricos (pesticidas organoclorados) que se transfieren desde los tapones a los vinos embotellados y que generan graves anomalías en su aroma y sabor. Tal sucede con la formación de tricloroanisol (TCA), compuesto cuya presencia se relaciona con la “mancha amarilla” de las panas de corcho generada con el crecimiento del hongo *Armillariella mellea*. Su presencia conjunta en los tapones es causa de pérdidas económicas en el sector vitivinícola.

Contrapunto a la negativa absorción de TCA, el corcho puede desempeñar un papel industrial en la absorción como absorbente de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)- pentacloro- y hexaclorobenceno-, considerados carcinógenos y

contaminantes de aguas. Con este objetivo se ensaya el uso de residuos de corcho de tamaño inferior al corcho granulado; y, con igual propósito, es objeto de experimentación la interacción de otro compuesto PAH, el fenantreno, con diversos componentes estructurales del corcho (suberina, lignina y holocelulosa).

Cabe, finalmente, recalcar que la heterogénea composición química del corcho, solo parcialmente conocida, pero con diferencias significativas en los componentes mencionados, relacionadas con la procedencia geográfica, y posiblemente con el genotipo, abre una vía de inexploradas aplicaciones en la industria química, que junto a las aplicaciones actuales sitúa al corcho como material destacado en el marco de la bioeconomía

Bibliografía básica

CINCORK, ICSUR, INETI, INIA, IPROCOR -CICMC, varios años. *Noticias en Prensa*, *www* de las propias instituciones sobre investigación y tecnología en la industria corchera.

ICSUR, Información en la *página www del Centro*.

MONTERO G., LÓPEZ E., 2008. Selvicultura de *Quercus suber*. En: Compendio de Selvicultura Aplicada, pp 779-829. Edit. R. Serrada, G. Montero, J. A . Reque, INIA.

MONTOYA M., 1988. *Los alcornocales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
VIEIRA NATIVIDADE J., 1992. *Subericultura*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

CINCORK, ICSUR, INETI, INIA, IPROCOR -CICMC, varios años. *Noticias en Prensa*, *www* de las propias instituciones sobre investigación y tecnología en la industria corchera.

ICSUR, Diversas informaciones en la *página www*.

Uso recreativo de los Montes. Setas y trufas, caza y pesca fluvial

*Dichoso el árbol que es apenas sensitivo, y más la oiedra dura,
porque esa ya no siente, pues no hay dolor más grande que el dolor de ser vivo
(LO FATAL, Ruben Darío)*

*Aquella forma inerte fue un día el vuelo.
Extasiado en la luz, el canto ardiente
De amanecer
la paz nocturna. Del nido allá en la cima....
(LAS NUBES, Luis Cernuda)*

La sociedad urbanita -en aumento exponencial- requiere, necesita, librarse con alguna frecuencia del aire contaminado de la gran urbe, del trasiego del ir y venir al/del trabajo y de romper transitoriamente con el mismo, de la visión de la propia ciudad y de sus habituales congéneres.

Las escapadas al monte, en sus diversas versiones (fines de semana y vacaciones más prolongadas) satisfacen esta necesidad; pero la presencia masiva y frecuente, no regulada, de población urbanita en los montes, particularmente en aquellos objeto de alguna forma de aprovechamiento forestal o tratarse de espacios naturales de especial protección, puede conducir a daños de muy diversa condición: incendios, acumulación de basura, alteraciones en la regeneración de la masa forestal, daños indirectos en la misma, arranque de especímenes leñosos y herbáceos de especial singularidad y daños directos en la fauna terrestre y acuícola. Daños, directos o indirectos que afectan a la propia sostenibilidad del ecosistema y que, económicamente, perjudican a la propiedad, pública o privada del espacio dañado.

El Reglamento de Ordenación de Montes (véase capítulo 13) al tratar de los aprovechamientos de los montes, junto a los ancestrales de caza y pesca fluvial, especifica la designación de espacios (cuarteles) destinados a usos recreativos. Sin embargo, esos espacios (cuando existen) quedan desbordados por la actual afluencia masiva y descontrolada de personas.

En el documento “La Regulación de los Usos Recreativos de los Montes en España” editado por el Ministerio de Medio Ambiente, en conjunción con la Federación de Usuarios, Consumidores Independientes se recogen las normativas sobre diversos aspectos del tema emitidas por diferentes Comunidades Autónomas.

En cualquier caso, y con carácter general, cabe pensar que debe compatibilizarse la preservación del bien tangible (aprovechamiento material) y del ecosistema en conjunto, que lo sustenta, con su proyección social. Una campaña de concienciación ciudadana, bajo un eslogan que haría recordar el ya popular de que “cuando un monte se quema, algo tuyo se quema”, sería un elemento complementario, con mayor amplitud, y subrayando el coste en gestión técnica (medios humanos y materiales) que entraña la sostenibilidad de un espacio tan complejo como son los montes y cuyo disfrute resulta oneroso; y que la sociedad beneficiaria de su disfrute debe pagar. A ello, hay que añadir el obligado cumplimiento de las normas, que exige la existencia de una guardería forestal- actuales agentes forestales- (hoy insuficiente) con autoridad legal para obligar a cumplir las normas establecidas y capacidad de denunciar las posibles infracciones cometidas.

La figura de bosques urbanos y periurbanos (véase capítulo 4) cobra, a este respecto, especial significación, pues cabe la ampliación de los existentes y la creación de nuevos espacios en terrenos otrora objeto de cultivo susceptibles de adquirir por las diversas administraciones públicas con tal fin.

Inveterados usos recreativos de los montes son la recolección de setas e implantación de truferas, los recursos cinegéticos (caza) y los recursos piscícolas (pesca fluvial); recursos, en todo o en buena parte, ligadas a diferentes ecosistemas forestales. Tienen, además en común, dos características: una proyección social, recreativa, pues su búsqueda y obtención conducen al disfrute del paisaje de que forman parte; también los tres productos obtenidos son alimentos, en algunos casos de gran valor económico.

Las setas, nombre común asignado a la estructura reproductiva aérea (carpóforos) de los hongos Basidiomicetos salpican los montes en determinadas épocas del año. Las trufas, son los cuerpos fructíferos subterráneos (ascospóforos) de algunas especies del género *Tuber*, hongo ascomiceto. En ambos casos su existencia va obligatoriamente ligada a la de vegetales (árboles y arbustos) con los que ambos hongos viven asociados formando una simbiosis micorrícica (véase capítulo 8) de la que el beneficiario final es el degustador de las setas y las trufas.

La producción de hongos comestibles es la manifestación más conocida de las relaciones entre árboles y los -hongos en un monte. En Europa se sitúa como tercera fuente de producción forestal de los bosques tras la producción de árboles de Navidad, que sigue a la de madera. Díaz Balteiro menciona algunas cifras de producción: 6×10^7 t para el intercambio comercial de hongos en los países de la UE, un valor económico que ronda el 4,50% de la producción forestal en los países del Sur y Oeste de Europa; y para España, Oria de Rueda da una cifra media de 8×10^3 t para la producción anual de especies de hongos del grupo de los *Boletus*.

La formación de carpóforos y la producción de esporas, que al germinar generan nuevo micelio y nueva producción de setas, está determinada por sus requerimientos de luz, clasificándose en especies heliófilas, umbrófilas e indiferentes, en función de dichos requerimientos; si bien el micelio se desarrolla en el interior del suelo y es, por tanto, lucífugo. Cabe mencionar, entre las especies más conocidas, el níscolo y la trufa negra entre las primeras y la temida falsa toronja entre las que requieren más sombra para fructificar.

En el ámbito mediterráneo, y particularmente en España, la variabilidad topográfica, edáfica, climática, y en general medioambiental, de los montes, con formaciones vegetales muy diversas, y otros ralos, confieren una riqueza micológica exuberante. Así, pinares, abetares, hayedos, castañares, robledales, alcornocales, encinares, abedulares, entre otras formaciones arbóreas, arbustados y matorrales, son hábitat de setas comestibles. En dichas formaciones y en función de los requerimientos de luz mencionados y del perfil edáfico (silíceo versus calizo) pueden encuadrarse el rico elenco de especies de hongos comestibles.

Cabe aludir brevemente (pues es materia amplia y rigurosamente expuesta por micólogos forestales, véase bibliografía adjunta) a la presencia en suelos pobres, de preferencia silíceos, del popular níscolo o rebollón (*Lactarius deliciosus*), omnipresente en pinares; y a la seta blanca o de calabaza (grupo *Boletus edulis*), ambos con producciones cifradas en varios de miles de toneladas anuales en España. Procede, también mencionar, por su atribuida condición de manjar exquisito, la oronja (*Amanita caesarea*), en contraposición a sus congéneres tóxicos, la oronja verde (*A. phalloides*), mortal, y la falsa oronja (*A. muscaria*); especies, todas, que comparten principalmente formaciones de diferentes frondosas. Suelos silíceos con jarales y páramos calcáreos con cubierta escasa o nula son también hábitat de hongos cuya producción reviste también interés económico.

Caso especial son las trufas, producidas en suelos calizos, en asociación de los hongos *Tuber melanosporum* y *T. aestivum*. con diversas especies de *Quercus* (encina y alcornoque entre otras). Se trata de estructuras reproductoras subterráneas, globosas de tamaño considerable (1 a 3 cm de diámetro), detectables con perros adiestrados que perciben su olor y, también, por la formación de círculos sin vegetación denominados quemados en derredor de la planta.

A escala productiva (tras varios años que requiere su formación) las trufas quedan confinadas en la práctica a plantaciones (truferas) con brinzales de especies

(encina, quejigo, avellano, entre otras) previamente micorrizadas con *Tuber melanosporum*); plantaciones que son objeto de prácticas culturales para maximizar la producción. En España, la truficultura ha alcanzado un desarrollo de cierta importancia económica con plantaciones de brinzales previamente micorrizados en suelos de monte ralo o de cultivos agrícolas abandonados y se ha creado una industria para la comercialización de productos en los que el componente principal son las trufas. La micorrización artificial se lleva a cabo por inoculación de las plántulas con el hongo, lo que requiere la extracción de las esporas de los cuerpos fructíferos, su germinación in vitro y la preparación del inóculo (que genere el micelio micorrícico) en medios nutritivos líquidos, todo ello en condiciones de estricta esterilidad para impedir la contaminación con esporas de otros hongos. En la práctica, existen productos comerciales en forma de gel, péllets y granulado con micelio o esporas para su uso como inóculo de micorrizas trufas.

La importancia económica de la producción de hongos comestibles en España lleva a que la selvicultura micológica, en opinión de los expertos, se abra como espacio propio en la gestión de los montes en España. De ahí la necesidad de prestar especial atención a la repercusión, negativa o positiva, de las prácticas selvícolas tales como rozas y quemas controladas, laboreo del suelo y posible manejo de riegos, podas, desbroces, claras y clareos, el resalveo en las especies tratadas en monte bajo y las cortas finales; sin olvidar los efectos de la ganadería, los incendios (que generan la difusión de hongos pirófitos) y el propio cambio climático (ver capítulo 12).

El seguimiento de una serie de condicionantes selvícolas y de control por la guardería, el establecimiento de normas estrictas de aprovechamiento sostenible de las setas (evitación, e incluso penalización, de recogidas antiecológicas y destructivas para el propio monte), harán posible, no solo la elevación de la renta micológica, sino también el necesario acoplamiento de la producción de setas con otros servicios que prestan los montes, incluido el desarrollo rural con la creación de empleo, y aspectos recreativos en el marco de su papel multifuncional.

A nivel de mercado, el potencial micológico de los montes en España dista mucho de haberse alcanzado. Para su logro los hongos comestibles deben considerarse como un recurso cuyo valor económico debe formar parte de la valoración integral de un monte. Ello, sin embargo, en opinión de los expertos (véase bibliografía adjunta) se enfrenta con la carencia de un cuerpo de estadísticas que posibiliten dicha integración. A este respecto se manejan modelos de demanda y de oferta de una de las especies más apreciadas, el níscolo o rebollón; también se incluye la relación con el mercado de las otras especies comestibles. Ello permite explicar cómo se configuran los precios en el mercado y ayudar a la toma de decisiones por parte del productor.

La caza y la pesca continentales constituyen recursos naturales, en buena parte con una vinculación territorial a los montes. Hecho que también se refleja en sucesivas leyes por las que desde 1928, se promulga la creación y posterior derogación del Consejo Superior de Caza y Pesca; la Ley de 1942, la posterior creación en 1951 del Servicio Nacional de Pesca Fluvial y Caza, la creación en 1953 del Consejo de Pesca

Continental, Caza y de Parques Nacionales, con dos secciones, una de Pesca y otra de Caza y Parques Nacionales; en 1968, por Orden de la Presidencia del Gobierno, se regula la colaboración entre el Servicio de Pesca Continental, Caza y Parques Nacionales y la Administración Turística.

En 1970 se aprueba la Ley de Caza en la que se aborda la posibilidad de realizar proyectos de ordenación cinegética. En 1971 se crea ICONA que incorpora las competencias en la materia. En la constitución española de 1978 se aborda la caza, como una competencia exclusiva de las Comunidades Autónomas que asume como competencia en sus respectivos Estatutos de Autonomía. En 1989 es aprobada la ley de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestre, con la que se impone la obligatoriedad de los Planes Técnicos en España y se crea el Censo Nacional de Caza y Pesca dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, a fin de mantener la información más completa de las poblaciones, capturas y evolución de las especies autorizadas, en el que se incluirán los datos que facilitarán los órganos competentes de las Comunidades Autónomas. Hoy todas las Comunidades Autónomas han trasladado estas exigencias a sus respectivas Leyes de Caza, dando forma a lo que hoy conocemos como Ordenación Cinegética en todos sus ámbitos.

Los recursos cinegéticos tienen actualmente en España una abundante y variada representación tanto en caza menor como mayor, en consonancia con el conjunto de ecosistemas susceptibles de albergarla, auténtico paraíso de la caza en el mundo. La caza es una gran fuente de riqueza y de arraigo para el medio rural: el 80% del territorio español tiene gestión cinegética, lo que suponen 43 millones de hectáreas, divididos en unos 33.000 cotos, de los cuales sólo el 2% son intensivos (aquellos cuya explotación está dedicada a la caza mediante sueltas periódicas de piezas criadas en granjas). Igualmente, es fuente de beneficios en el comercio de todo tipo de material de caza y desplazamientos que conlleva. Según estimaciones facilitadas por la Oficina Nacional de la Caza (ONC), el sector generó el año 2016 más de 5 000 millones de euros, e involucra directa o indirectamente más de 54 000 empleos anuales.

La caza se remonta a tiempos en los que era actividad de subsistencia fundamental para el hombre, hasta que la crianza del ganado la relegase (particularmente la caza mayor) a subsistencia marginal y la convirtiese en actividad social. En el Derecho Romano y en el Derecho Germánico hay disposiciones referentes a la propiedad y al ejercicio de la caza; en la Edad Media; la sociedad feudal cede los derechos de caza a la nobleza y la Iglesia y, finalmente, a los municipios, aunque eran piezas reales el oso y el jabalí; en el Renacimiento la caza se transforma en actividad social y el venado pasa de ser el oso al ciervo, mientras que otras piezas (corzo, gamo, cabra) son caza del pueblo llano; en el siglo XIX el derecho de caza se liga a la propiedad del suelo; en el siglo XX se reconoce el derecho a cazar que tiene cualquier ciudadano, pero condicionado a la posesión de una licencia y permiso especial en zonas de régimen especial., tal como cotos y reservas.

Las grandes sierras peninsulares son hábitat de unas u otras en función de sus características de clima, relieve y vegetación. En ciertas áreas como los Montes de Toledo y Sierra Morena, existen grandes cotos de caza, en que es objeto de monterías.

Los Planes de Ordenación Cinegética son un instrumento de mejora del hábitat, y de gestión integral del territorio. La caza está regulada por Real Decreto 1095/198 y asimismo existe una normativa con vigencia temporal de aplicación a nivel europeo, nacional y local, cuyo cumplimiento es determinado por las Comunidades Autónomas, que tienen transferido toda la normativa sobre su aprovechamiento.

La Memoria Estadística Anual de Caza, elaborada por el Ministerio de Agricultura, distingue entre caza mayor (especies de mamíferos de gran tamaño, con un peso superior a los 20 kg: arruí, cabra montés, ciervo, corzo, gamo, jabalí, lobo, muflón, rebeco...) y caza menor (pequeños mamíferos como conejos, liebres, zorros, y aves: acuáticas y anátidas, avefría, becada, codorniz, córvidos, estornino, faisán, paloma, perdiz, tórtola común, zorzal). La caza menor es, después de la pesca, el deporte más popular que se practica al aire libre, pues se extiende a todo el territorio nacional, tanto de monte como de cultivos y barbechos. En cuanto a las prácticas, la Real Federación Española de Caza (RFEC) subraya la diversidad de tipos de lance: montería tradicional española, rececho, espera, batida, cetrería (Bien Inmaterial de la Humanidad, según la Unesco), caza menor en mano, ojeo, perdiz con reclamo, alanceo y un largo etcétera hasta casi 40 modalidades reglamentadas por la normativa legal española.

En la Ley de 20 de febrero de 1942 se regula el fomento y conservación de la **pesca fluvial**, que rige y regula en España el derecho de pesca. Tuvo por objeto la conservación, el fomento y el aprovechamiento de los peces y otros seres útiles que, de modo permanente o transitorio, habitan en los cauces fluviales. La Normativa de pesca fluvial en España fue actualizada 2016 por Comunidad Autónoma, estableciéndose las especies objeto de pesca: trucha, salmón, barbo, black bass, carpa, lucioperca, lucio y siluro.

Conservacionismo, industria turística o deportiva, han sido, son, diversas concepciones que zarandean la caza y la pesca fluvial en España, en medio de las cuales se encuentra la intervención de los ingenieros de Montes como herramienta instructora de Leyes, Decretos y órdenes con la que se regulan ambas actividades.

Cabe aludir a la piscicultura como técnica de cría de peces y arte de repoblar ríos y otros cauces de agua y fomentar su reproducción. En España en las piscifactorías oficiales se han criado principalmente salmónidos, sobre todo trucha común, cuyo mayor destino es la producción industrial con fin alimentario, con un porcentaje muy bajo el destinado a la pesca deportiva, que apenas llega al 5%; también black bass, lucio y cangrejo de río.

Actualmente, en la gestión de la piscicultura centro del debate conservación de especies y puesta en valor de recursos naturales, se concede especial importancia al ecosistema fluvial en su conjunto, a su biodiversidad, y por ello al hábitat de las poblaciones piscícolas; poblaciones que tienen gran riqueza genética, por ejemplo, las estirpes de la trucha común.

El gran potencial económico de la caza y pesca en los montes requiere una eficaz gestión, basada en estrategias de gestión sostenible, en las que se investiguen los modelos de poblaciones y su dinámica, los efectos de las interacciones interespecíficas

y los ciclos poblacionales. Los procedimientos básicos para la mejora de la productividad cinegética: aumento de la capacidad de carga (manejo del hábitat), reducción de la mortalidad por depredación y modificación de la estructura de población (caza selectiva), así como la repoblación son temas relevantes. A ellos hay que añadir la aplicación de herramientas de gestión cinegética, y estimas de abundancia relativa, estructura demográfica y productividad, así como el cálculo del cupo de capturas, factores de mortalidad y manejo del hábitat

Bibliografía básica

Setas y trufas

DÍAZ BALTEIRO, L. 2015. Aspectos económicos del recurso micológico. Implicaciones para la gestión forestal. *Cuadernos de la SECF*, nº39, 345-366.

ORIA DE RUEDA, J.A., GARCÍA, C., MARTIN, P., MARTÍNEZ DE AZAGRA, A., OLAIZOLA, J., DE LA PARRA, B., FRAILE, R., ALVAREZ, M.A., 2007. Hongos y setas. Tesoros de nuestros montes. Edit. Cálaro, pp 280.

ORIA DE RUEDA J.A., DE LA PARRA, B., OLAIZOLA, J. 2008. Selvicultura micológica. En "Compendio de selvicultura aplicada en España", Edit.R. Serrada, G. Montero, J.A. Reque), 833-860.

REYNA, S.B., 2000. Trufa, truficultura y selvicultura trufera. Edit. Mundi-Prensa pp 229. Caza y pesca fluvial

ARRIGNON J., 1984. Ecología y Acuicultura de las aguas dulces. Edit. Mundi- Prensa.

JARCÍA DE JALÓN, D. et al. 1993. Principios y técnicas de la gestión de las aguas continentales. Edit. Mundi-Prensa, Madrid.

JARCÍA DE JALÓN, D., SCHMIDT, 1995. Manual práctico para la gestión sostenible de la pesca fluvial. AEMS, Madrid.

TORRENT F., 2015. Reflexiones sobre la gestión de pesca deportiva actual en España. *Cuadernos de la SECF*, nº39, 197-213.

WWW, *Historia de la ordenación cinegética*.

....., . *Jara y Sedal*. Revista sobre caza y pesca. Edit. INNOVA

La investigación forestal en y de los montes: : objetivos, marcos de actuación, receptores y problemas

No seáis más sabios de lo necesario; sed sobriamente sabios
ROMANOS 12, 3, San Pablo)

*“... el mayor descubrimiento de la
ciencia ha sido la ignorancia.”*
(AFORISMOS, Jorge Wagensberg, 2016)

*La historia de la comprensión de la ciencia es más
la historia de las preguntas que la historia de las
respuestas*
(AFORISMOS, Jorge Wagensberg)

.....

Cabe, razonablemente, admitir que los cinco grupos de capítulos expuestos anteriormente -El Bosque, Los Montes, Gestión Técnica, Restauración y Recursos- abarcan, si no todas, gran parte de las presumibles actividades técnicas de la Ingeniería de Montes directamente vinculadas a los montes. Tras ellas se debe traslucir la investigación.

Investigación y experimentación constituyen sustento de la gestión forestal con la que afrontar (y resolver en lo posible) los problemas inherentes al manejo de los montes, a su sostenibilidad en el marco de su dinamismo ecológico; problemas, en muchos casos inveterados, ante los cuales ambas actividades pueden desempeñar un papel crucial, sin menoscabo de las actuaciones tradicionales, que siempre deben tenerse presentes.

Con la incorporación del presente capítulo no se ha pretendido enumerar y describir los temas y los logros conseguidos en España que, indudablemente, los ha habido, los sigue habiendo y presumiblemente aumentarán en calidad y número, si se apuesta por una bien definida política forestal de ámbito nacional que integre la investigación. Los resultados – logros y fracasos- todos tienen valor y deben servir de

plataforma de reflexión para la continuidad de los objetivos marcados o, en su caso, para introducir los cambios pertinentes, con la idea de mejora.

Se trata, simplemente, de ofrecer una sucinta panorámica de las peculiaridades de la investigación de y en los montes, y expresar algunas ideas, no novedosas, sobre los cauces y dificultades por los que ha discurrido ese doble cauce (difícil de delimitar) de investigación y experimentación en el sector forestal.

A la complejidad estructural de un bosque, a su dinamismo (en oposición a su aparente quietud) se unen la magnitud de sus dimensiones, en superficie y volumen (que requieren acotamiento) y la necesidad del seguimiento, casi continuo, en especial de la masa arbórea; de sus respuestas en términos de crecimiento y desarrollo, a perturbaciones naturales (p.e. fuego, plagas y enfermedades) y a las derivadas del propio aprovechamiento de los recursos. Todo ello exige tiempo (años, decenios), preparación académica, trabajo y entusiasmo, y medios cuantiosos (inasequibles en muchos casos). De ahí la dificultad de acometer y prolongar durante decenas de años muchas de las tareas de investigación experimental en los montes en el estrecho marco de proyectos de investigación trianuales.

La índole de los objetivos y los medios (humanos y materiales de que se dispone) marcan la actuación conjunta de trabajos en campo (monte) y en laboratorio, vivero, invernadero, o de una u otra manera en exclusividad. La conjunción puede lograrse en investigaciones llevadas a cabo en cooperación, o al menos coordinación, de varios grupos del mismo o diferente departamento, centro, organismo, bien sean autonómicos, nacionales o de otros países.

Varios son los cauces y espacios territoriales por los que discurren las actuaciones forestales, para buena parte de las cuales son de necesaria utilidad los datos cuantitativos obtenidos en las revisiones periódicas del Inventario Nacional Forestal y de los proyectos de ordenación. El seguimiento continuado de la evolución de masas arboladas con presencia de rodales de diferente clase de edad hace factible un análisis detallado de las respuestas a los tratamientos selvícolas aplicados; y dichas masas son, por tanto, excelente campo de experimentación selvícola, particularmente pinares, hayedos y robledales de propiedad pública. Mayor problema, cabe pensar, se suscita en el seguimiento de las dehesas, en buena parte de propiedad privada, con arbolado envejecido y escasa regeneración, y con dificultades para mantener una renta sostenible.

Los datos del Inventario Nacional Forestal y las series de datos climáticos de AEMET son también fuentes de información en estudios para la caracterización autoecológica de las principales especies arbóreas forestales y su uso potencial en repoblaciones de situaciones climáticas y edáficas análogas a las masas existentes. Así mismo, constituyen soporte esencial para estudios fitoclimáticos, la evolución de los efectos del cambio climático y, en general de la polución atmosférica y edáfica, en las masas forestales.

El seguimiento del estado sanitario de los montes ha contado durante años con un eficaz servicio de plagas y enfermedades, con estaciones experimentales en algunos montes para su control y lucha (p.e. de la procesionaria de los pinos pinaster y laricio en Mora de Rubielos, Teruel). Desgraciadamente el Servicio de Plagas Forestales ha quedado desdibujado en las últimas décadas; cabría esperar la reversión a su primitiva condición administrativa, pues redundaría en un seguimiento más directo de los daños en los montes y una mayor eficacia en términos sanitarios.

Los propios montes que han sufrido incendios en distinto grado son campo de actuación para el análisis de las causas implicadas en la producción del fuego, tanto socio-económicas como en un contexto ecológico marcado por el conjunto clima-topografía-suelo-vegetación. Así mismo, conducen al desarrollo de modelos predictivos y, por otra parte, al desarrollo de posibles medidas de predicción y reducción de riesgos, actuaciones selvícolas, detección del incendio a tiempo real y toma de decisiones a posteriori para la recuperación forestal.

En el ámbito de la forestación, las propias repoblaciones son un buen campo experimental para ensayar la eficacia de los diferentes procesos de plantación y analizar los efectos de la calidad de la planta, su origen genético y los procedimientos y utensilios para mejorar el arraigo y protección posterior de los plantones. También lo son las operaciones llevadas a cabo en la gestión técnica de cultivo en viveros e invernaderos a efectos de riego, fertilización y envases.

En la elección de la planta producida en vivero, tanto para repoblaciones masivas como para plantaciones de especies de crecimiento rápido, los ensayos de introducción de especies, y procedencias, progenies, e incluso de bancos clonales (en especies de elevado potencial de crecimiento), se requiere el establecimiento de una red de ensayos en terreno, de larga duración; práctica poco habitual, que se conjuga bien con los trabajos de laboratorio y gabinete y desarrollo y aplicación de complejos modelos estadísticos.

El estudio experimental de las cuencas (y específico de ríos y riberas,) y su comportamiento en la detención del proceso erosivo, la ancestral restauración hidrológico forestal, requiere mediciones con la instalación permanente de equipos para la parametrización de los modelos aplicables. Aunque ello no es siempre factible, debe concitar especial interés: se trata de una de las actividades técnicas más características de la Ingeniería de Montes.

Las dificultades se acrecientan cuando a los problemas mencionados se añade la necesidad de instalación en monte, y su mantenimiento, de costosos equipos de medición de variables ecofisiológicas para el seguimiento en rodales maduros. Una alternativa es reducir las mediciones a un número reducido de pies con copas asequibles a un operador mediante una plataforma instalada sobre una torre metálica, como se ha hecho en el hayedo de Montejo de la Sierra (Madrid). El uso de plantas de edades entre uno y cuatro a cinco años, crecidas en vivero al aire, o en invernadero (más o menos convencional) durante algunos años; y el de brinzales en experimentos de pocos meses de duración en cámara climática en un microambiente controlado, son alternativas más factibles, aunque la extrapolación de resultados entre edad juvenil y edad madura plantea serios interrogantes.

Las actividades de investigación experimental concerniente a los seis capítulos que integran el bloque recursos forestales se ubican por una parte en los propios montes o en plantaciones, ambos bien determinados por la naturaleza del recurso; y, por otra parte, dado el uso industrial de los productos obtenidos, están ligadas a un laboratorio industrial y/o a un laboratorio de investigación química y/o biológica (normalmente especializado en productos naturales); también, en deseable relación a la renta del monte y comercialización de los productos producidos.

Tras esta alusión a los distintos tipos de ubicación de la experimentación forestal (a cuya complejidad hay que añadir las dificultades de acceso al propio monte), es

importante hacer referencia a los organismos implicados en su ejecución y financiación, y a los presuntos receptores de los resultados obtenidos.

La puesta en marcha de un proyecto de investigación/experimentación forestal implica una persona jurídica (entidad estatal, autonómica, entidad privada) responsable en cuyo seno (o por su delegación) se lleve a cabo. En España institutos y centros de investigación: OPIS (INIA, CSIC, CENEAN, CREAM, centros dependientes de varias Autonomías) y departamentos universitarios, son las sedes de equipos de investigaciones de índole forestal (en sentido amplio), para cuya financiación existen diversas vías (CE, el Estado, las CCAA, también fundaciones, subvención privada, otras). Es frecuente la presentación de un proyecto en colaboración de varios grupos de investigación, cada uno de los cuales se ocupa de una parte del mismo (un subproyecto) con independencia económica y una coordinación común. Ello permite abordar temas más amplios y a su vez con mayor grado de especialización, y el uso compartido de instrumentación costosa de la que no todos los equipos pueden disponer. Desgraciadamente, finalizado el proyecto suele quedar un tanto difuminado el efecto positivo de la colaboración y los resultados acaban publicándose de forma separada con un individualismo manifiesto.

En los programas marco de investigación de la CE, los programas nacionales y los autonómicos, es en los propios organismos (CE, los Ministerios implicados o las respectivas consejerías de las CCAA) donde se definen las líneas prioritarias en las que se enmarcan los objetivos de los proyectos. En España, su evaluación, y su adjudicación subsiguiente, corre (¿ha corrido?) a cargo de la Agencia Nacional de Evaluación (ANEP) integrada por especialistas de las diferentes disciplinas.

La investigación forestal, al menos en los Planes Nacionales, se ha incluido en un apartado dentro del sector de investigación agraria lo que suele dejar un tanto desdibujados los temas forestales (en el lenguaje común referidos en bloque *como lo forestal*); los cuales, no obstante, requieren modos operatorios muy diferentes: parcelas de investigación (tamaño), dificultades de acceso a las mismas y necesidad de autorización de operar en ellas, como se ha mostrado anteriormente. A este problema se añaden el ya comentado largo tiempo que exige la obtención de resultados de la experimentación en monte que choca con los, ya aludidos, cortos periodos de vigencia de los proyectos de investigación.

Aspecto no menor deriva de la pregunta (al parecer, obvia, pero que no lo es tanto) de a quien/quienes van dirigidos los resultados y conclusiones obtenidas (*quien las va a leer y aprovechar en la práctica*) y qué mecanismos existen que los hagan llegar al gestor técnico del monte. Cabe pensar que su objetivo, más definido en disciplinas como la silvicultura, es ayudar a resolver problemas con los que se enfrenta el técnico gestor del monte, problemas considerados prioritarios, y encontrarles soluciones; o, al menos, explicaciones sobre su origen y circunstancias.

En la práctica existe una impresión bastante generalizada de que los resultados derivados de la experimentación/investigación forestal no tienen la proyección que deberían tener, bien porque no llegan a sus principales beneficiarios, o bien porque éstos no les prestan la debida atención. Cabe preguntarse si las líneas prioritarias no son tan prioritarias como se suponía, también que aun siéndolo bajo una visión general, los resultados de los temas específicos tratados no aportan soluciones concretas a los problemas planteados, lo que a la larga puede generar un cierto escepticismo en los

presumibles destinatarios: en definitiva, existe una falta de comunicación. ¿A quién corresponde promoverla?

El otro objetivo de los trabajos realizados es darlos a conocer en el mundo científico mediante su publicación en revistas internacionales y nacionales, algunas de las cuales tienen el marchamo de figurar en un índice (p.e. *Journal Citation Index*) que refleja su impacto internacional por su citación en trabajos de terceros. En España los resultados de investigación forestal (muy variada) tienen en la actualidad un foro de prestigio internacional, los actuales Anales del INIA, Serie Forestal, categoría alcanzada con el esfuerzo y rigor científico de investigadores de la Institución.

La proyección práctica de la investigación/experimentación debe llegar al gestor técnico del monte y, a su vez, conseguir que sus resultados científicos acaben en un *paper* publicado en una revista de carácter internacional. No debe olvidarse el lícito objetivo del investigador en contribuir con las publicaciones en revistas científicas a crearse una carrera profesional estable y progresiva, en la que la vocación científica sea compatible con un nivel económico de vida digno. También el centro se beneficia de que sus investigadores hagan aportaciones de calidad científica contrastada en el ámbito internacional. ¿Cómo se puede conjugar ambos objetivos? Acabo, sin respuesta.

Un apunte adicional: la necesidad de fomentar la exigua política de concesión de becas en el marco de la investigación forestal con la realización de masters, y sobre todo doctorados, en departamentos forestales de reconocido prestigio de universidades de otros países. Es evidente el escaso número de becarios que han recibido dicha formación, lo que atañe no solo a las instituciones españolas que las conceden, sino también, y en igual grado, a la falta de ambiente propicio en el propio medio universitario (centro, profesorado y estudiantes), sin duda marcado por la rémora de la contestación a la pregunta ¿dónde me coloco después con mi flamante “Ph D in Forestry”?

Una política forestal estatal, más allá de la proyectada en la lucha contra los incendios (sin duda necesaria) y un mayor empeño personal a todos los niveles de participación conduciría a cambiar el triángulo *política forestal-gestión -técnica de los montes-investigación forestal-* de su condición de escaleno en equilátero, más en consonancia con la simetría que rige en la naturaleza.

Un recordatorio final: las opiniones y críticas vertidas en este capítulo, son en buena parte fruto de vivencias personales y lecturas, y están presididas por el deseo de dar una visión panorámica de la investigación forestal en España y sus relaciones con la gestión técnica en un marco de política forestal común a ambas.

