INICIACIÓN A LAS quemas Y A LA piroecología

Pablo Rubio Torres

INICIACIÓN A LAS quemas Y A LA piroecología

Pablo Rubio Torres

INICIACIÓN A LAS QUEMAS Y A LA PIROECOLOGÍA
Autor: Pablo Rubio Torres (p.rubiotor@gmail.com)
Corrección de textos: Luis Requena Gijón (info@correctordetextos.com)
Diseño y maquetación: Beatriz Garrido (garrido.salazar.beatriz@gmail.com)
Edición: Pablo Rubio Torres
Impresión: Bubok Publishing S.L.
ISBN: 978-84-697-3302-8
Depósito legal: M-15074-2017

Cita recomendada: RUBIO TORRES, P. 2017. Iniciación a las quemas y a la piroecología. Autoedición. Madrid. 372 pp..

Esta obra ha sido publicada por su autor mediante el sistema de autopublicación de BUBOK PUBLISHING, S.L. para su distribución y puesta a disposición del público en la plataforma on-line de esta editorial. BUBOK PUBLISHING, S.L. no se responsabiliza de los contenidos de esta obra, ni de su distribución fuera de su plataforma on-line.

Autores de las fotografías del libro:
Alexandre Paz Castro: 7.31. y 8.108.
Ana I. Gómez Vilariño: 2.18.M y 5.14.M
Cristina López Martínez: 7.21.
Daniel Amor Martín: 1.13., 8.63. y 9.30.
Daniel Samper Sánchez: 5.26.M
Enzo A. Vattuone Nalvarte: 2.11.M, 2.28.M, 2.43.M, 3.8.M, 3.10.M y 3.38.M
Enrique E. Fernández Izquierdo: 9.37.M
Esteban Cuñat Ríos: 5.24.M
Froilán Sevilla Martínez: 6.30., 6.31., 6.32., 9.7., 9.11., 9.15, 9.16., 9.17. y 9.41.
Ignacio Rojo Pereda: 2.36.M, 3.23.M, 3.24.M y 9.4.
Javier Vara Sanz: 9.3.
J. Edenino Guerra Collantes: 2.24.M
Jesús M. Fernández Sanz: 7.30.
J. David Pérez Moro: 2.8.M, 2.38., 3.5.M, 3.17., 3.26.M y 7.24.
Luis Santos Nava: fotografía portada parte 1, 1.24., 2.22., 3.14., 3.16., 3.22., 3.39., 5.17., 5.20. y 8.1.
Marcos A. Martín Larrañaga: 9.39.
Marta Domínguez Delmás: 1.20.M, 2.23.M, 2.31.M, 3.21.M y 3.25.M.
Miguel Á. Botella Martínez: 6.23.
Neguillán Rubio Torres: 5.5., 7.29., 8.80., 9.12. y 9.13.
Rosa M. González Aguilar: 2.6.
Rubén Piñeiro Ruiz: 1.18. y 7.18.
Ruth Martín López: 2.16.M, 2.25., 2.39.M, 3.7.M, 3.11. y 5.13.
2.30.: fotografía tomada de ortofoto PNOA de la web del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es) en 2017.
5.8.: fotografía tomada de Caamaño *et al.* (2004)M. Fotografía de Pablo Rubio Torres tratada y rotulada por Juan Caamaño Azcárate.
Fotografías tomadas por el autor del libro en trabajos de explotación maderera de la empresa Garnica: 1.12., 2.5, 3.29., 3.30., 3.33., 8.9. y 9.9.
Fotografías tomadas en trabajos del dispositivo de incendios forestales de la Comunidad Autónoma de Madrid: las realizadas por Rubén Piñeiro Ruiz y algunas hechas por el autor del libro (1.7., 2.12., 2.42., 2.46., 3.1., 3.3., 3.4., 3.13., 5.23., 7.16., 8.48. y 9.2.).
Fotografías tomadas en trabajos del dispositivo de incendios forestales del actual Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (incluidas en su archivo de imágenes): todas las marcadas con "M", además de algunas de las tomadas por el autor del libro (1.21., 2.1., 2.15., 2.18., 2.20., 2.21., 2.26., 2.27., 3.2., 3.6., 3.9., 3,12., 3.15., 3.18., 3.19., 3.20., 3.24., 3.37., 5.6., 5.7., 5.12., 5.15., 5.16., 5.19., 5.22., 7.23. y 8.94.).
La autoría de las fotografías no detalladas anteriormente es del autor del libro.

Los dibujos y diagramas han sido hechos por el autor del libro, muchos reproduciendo modelos anteriores como se señala en cada uno de ellos, excepto:
Figura 2.1.: modificada del Departamento de la Madera y Mueble, Instituto Virgen de la Paloma, Madrid (www.maderapaloma.com).
Figura 6.1.: imagen LiDAR (.laz 2x2 km) tomada del vuelo PNOA 2009 del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es).

Cubierta:
Croquis de una quema: Duhamel du Monceau (1773), dibujo cortesía de la Editorial Maxtor (www.maxtor.es). La explicación del dibujo literalmente es:
La Fig. 112 representa un Brezal, al que se ha pegado fuego.
A Bosque que se ha de preservar del incendio.
B Brezal que se vá á quemar.
C zanja ancha y somera, á efecto de atajar el fuego para que no se comunique, y trascienda.
D rivazo que forma la tierra que se sacado de la zanja C.
E parte por donde se empieza á encender el Brezal.
Fotografía de quema bajo cubierta en La Victoria de Acentejo (Tenerife): Luis Santos Nava
Fotografía de un quemado 10 años después del incendio en Tartalés de los Montes (Burgos): del autor del libro.

— Sin embargo, son los caracteres que constituyen la tradición de su país — dijo el extranjero.
— Mi país es el monte — contestó Zalacaín.

Pío Baroja. *Zalacaín el aventurero* (1909).

A don Faustino Ibarrondo Gil,
maestro de escuela.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido un empeño personal, pero nadie camina solo por el mundo y muchas personas han colaborado, de un modo u otro, para que pudiera ver la luz.

Álvaro Escrig del Valle, Enrique Merino Gallo, Jesús Manuel Fernández Sanz y Rubén Laina Relaño me ayudaron a mejorar algunos capítulos. Ignacio Rojo Pereda fue la persona más entusiasta con el proyecto, me hizo recomendaciones acertadas sobre el texto y me aconsejó diversas lecturas. Cristina López Martínez, que ha vivido en primera persona todos los avatares del libro y muy a su pesar los de mi vida desordenada y nómada, ha corregido borradores hasta el hastío.

La opinión de José Antonio Vega Hidalgo y Froilán Sevilla Martínez tras leer los textos avanzados fue fundamental para animarme a rematar esta obra. El autor de ese "Quijote forestal" que es *Una teoría ecológica para los montes ibéricos* me aportó mejoras significativas para el texto final.

Pilar Zaldívar García y Fernando Trujillo San José me hicieron contribuciones sobre las áreas de conocimiento en las que son especialistas.

Ruth Martín López, Luis Santos Nava, José Alfonso Domínguez Núñez, Alfredo Pinillos Fuentes, así como otras muchas personas, me proporcionaron algunos materiales esenciales para nutrir a la redacción.

Me gustaría mencionar también a las personas que, sin participar de las tareas de concepción y redacción, me apoyaron para llevar este trabajo a buen puerto: Rubén Piñeiro Ruiz, optimista incorregible y compañero de trabajo y casa en la campaña de incendios de 2006, durante la que redacté el primer borrador, Noélise Delille y Maxime Litt, cuya cálida complicidad me permitió avanzar mucho en mi período boliviano.

Deseo asimismo agradecer a todos los autores de las lecturas que he hecho para este y otros trabajos que plasmaran en ellas sus conocimientos y sabiduría, sin las que este libro jamás habría podido ser una realidad.

Por último, quiero escribir a Jimena, que ha llegado para desbaratarlo todo, aunque para mejor. Le pido disculpas por el tiempo que no he compartido con ella durante sus primeros días de vida al haber estado empeñado en concluir esta obra y para otros retos no tan sencillos.

PRÓLOGO

Estamos asistiendo a un renovado interés en el uso del fuego prescrito en estos últimos años en el espacio forestal europeo, donde el fuego había sido, en general, anatemizado desde los ámbitos docente, de investigación y profesional durante muchos años y visto como un enemigo del bosque. Hay que dar la bienvenida a esa nueva disposición aunque no deja de resultar irónico, para los que hemos vivido un cierto tiempo, presenciar esa conversión acelerada al uso del fuego en los mismos escenarios –bien es verdad que por otros protagonistas– en los que hace unos decenios se proscribía terminantemente. En esto como en otras tantas cosas hemos de reconocer que el ejemplo científico de los Estados Unidos ha sido determinante para un cambio de perspectiva en Europa sobre el papel jugado por el fuego en los ecosistemas forestales y su posible utilización. En ese país hubo en su día una rebelión científica respecto a la consideración del papel del fuego en los ecosistemas forestales y en la vegetación de las grandes llanuras. Recuerdo como Robert Martin relataba que los forestales norteamericanos recibieron una enseñanza totalmente influenciada por la ciencia forestal germánica de su tiempo en la que el fuego quedaba excluido. Stephen Pyne ha descrito muy bien esa situación y el cambio de paradigma producido.

Sin embargo no podemos dejarnos llevar por el entusiasmo, ya que existe todavía una fuerte desconfianza sobre el posible uso del fuego en Europa, ni tampoco caer en la tentación de extrapolar de manera directa los conocimientos y resultados de la gestión de una región del mundo a otra. En Europa, y particularmente en los países mediterráneos, los espacios "naturales", aparte de sus singularidades geoecológicas, climáticas, y evolutivas, arrastran una larguísima historia de interacción del hombre con el medio y de aprovechamiento de sus recursos. Cualquier aproximación científica al fuego en nuestra región tendrá que partir de esa realidad. En ese contexto, libros como los de Pablo Rubio son bienvenidos porque aportan una visión amplia sobre el fuego y al mismo tiempo, realista, sin olvidar la compleja dinámica histórica, social y económica de los montes ibéricos. Sin duda esto es un valor importante de esta obra.

Decía Gaston Bachelard, a propósito del estudio del fuego, que era imposible para el hombre mantener la objetividad ante este fenómeno. Según él, el fuego era un buen ejemplo de la evidencia de los obstáculos epistemológicos que acechan al investigador que pretende la objetividad en su trabajo científico. En pocas palabras, las dificultades psicológicas que impiden el conocimiento científico objetivo, la apropiación adecuada de la realidad. Si reflexionamos sobre toda la carga psicológica, cultural, evolutiva, social, económica, histórica que el fuego encierra para el hombre no nos extraña en absoluto ese conflicto. Tampoco las apasionadas posturas sobre el uso del fuego que hoy seguimos encontrando. El libro de Pablo Rubio ha intentado sortear con acierto el problema de la objetividad en el tratamiento del fuego forestal, al presentarnos una visión amplia del mismo, con sus aspectos positivos y negativos desde la perspectiva antropocéntrica.

Me atrevería a decir que el autor nos ha ofrecido tres libros en uno. El primero es un sólido manual técnico sobre la quema prescrita, el uso deliberado del fuego en el ámbito forestal, con finalidades diversas, donde se traslucen sus conocimientos y destreza sobre el tema, impregnados también de su experiencia en la extinción de incendios. Es un valioso texto lleno de información útil para todo el que quiera instruirse en el uso del fuego forestal. Comparto la idea del autor de que los conocimientos empíricos tradicionales del uso del fuego en el ámbito rural ibérico han sido generalmente sobrevalorados. Hoy sabemos que muchas de esas prácticas reiteradas del uso del fuego, combinadas o no con otras, han contribuido notablemente a la erosión y degradación de los suelos y el empobrecimiento de la vegetación. Por ello, si el fuego quiere ser considerado como una herramienta selvícola y de manejo de la vegetación en el siglo XXI, es necesario un conocimiento científico y técnico profundo sobre él y trabajos como este contribuyen a ello.

El segundo libro es una revisión de conocimientos sobre ecología del fuego, aunque es más que eso. El capítulo sobre la dinámica de los montes nos recuerda como lamentablemente las limitaciones de la teoría Clementsiana están todavía lastrando la gestión de los espacios naturales en nuestro país y propiciando la falta de ella como la mejor gestión en muchos ecosistemas ibéricos. Parece como si el conocimiento ecológico se hubiera detenido en el tiempo. No se ha asumido el papel de las perturbaciones en la dinámica vegetal. Un ejemplo. Muchos de los ecosistemas de matorral de nuestro país, formando parte de la Red Natura, son producto de la acción humana y de un régimen de perturbaciones. En su declaración como espacios singulares se reconoció ese hecho y más concretamente el papel esencial que el régimen de fuego ha jugado en su permanencia. Sin embargo, en su gestión se ponen continuas trabas al uso del fuego y de otras herramientas de manejo de la vegetación.

Las reflexiones sobre la consideración del monte como un sistema complejo, abierto, y con una dinámica caótica, traídas a este capítulo por Pablo Rubio son muy pertinentes como introducción a los regímenes de fuego y la respuesta asociada de la vegetación. Más que ofrecer soluciones, esta parte del texto muestra una visón llena de interrogantes, en línea con la tesis de Bachelard de que "la ciencia no puede producir verdad sino buscar mejores maneras de preguntar" o en sintonía con el pensamiento de Karl Popper de que el conocimiento científico no avanza confirmando nuevas leyes sino descartando las que contradicen la experiencia.

El tercer libro es aparentemente virtual pero ocupa una considerable extensión en el texto, enriqueciéndolo notablemente. Me refiero a la gran cantidad de fotografías incluidas en él y especialmente a los textos que las acompañan, brindando reflexiones y puntos de vista del autor sobre diversos temas relativos al fuego.

En resumen, Pablo Rubio ha producido un completo texto que nos presenta una rica información, con una bien seleccionada bibliografía, sobre muchos aspectos relativos al fuego forestal y sus relaciones con la selvicultura y la dinámica de la vegetación en los montes ibéricos. Sin duda esta obra será de gran utilidad a cualquier profesional que quiera acercarse al tema sin prejuicios.

José Antonio Vega

índice

PARTE 1. TECNOLOGÍA DE LAS QUEMAS				**17**
CAPÍTULO 1. LOS USOS DE LAS QUEMAS.				19
1.1.	USOS DEL FUEGO EN LA GESTIÓN DEL TERRITORIO.			21
	1.1.1.	USOS AGRÍCOLAS.		21
	1.1.2.	USOS SELVÍCOLAS.		24
	1.1.3.	GESTIÓN SILVOPASCÍCOLA, GANADERA Y DE LA FAUNA SILVESTRE.		27
	1.1.4.	OTROS USOS.		30
1.2.	TENDENCIAS RECIENTES DE LAS QUEMAS EN LOS MONTES ESPAÑOLES.			32
CAPÍTULO 2. FACTORES DETERMINANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN LA EJECUCIÓN DE LAS QUEMAS.				35
2.1.	CONSIDERACIONES RESPECTO AL COMBUSTIBLE.			36
	2.1.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.		37
		2.1.1.1.	Composición química: poder calorífico y volatilidad.	39
		2.1.1.2.	Características estructurales.	40
			2.1.1.2.1. Carga.	41
			2.1.1.2.2. Disposición horizontal.	42
			2.1.1.2.3. Tamaño, forma y tiempo de retardo.	42
			2.1.1.2.4. Compactación y estratificación vertical.	45
		2.1.1.3.	Humedad.	47
			2.1.1.3.1. Determinación de humedades y comportamiento del fuego.	49
			2.1.1.3.2. Humedad del mantillo y del suelo.	52
	2.1.2.	MODELOS DE COMBUSTIBLES: UNA SISTEMATIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.		53
	2.1.3.	MODIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN PARA LA QUEMA.		57
		2.1.3.1.	Construcción de líneas de control en los tratamientos de quemas.	57
		2.1.3.2.	Anchura de las líneas de control.	61
2.2.	CONSIDERACIONES RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA.			63
	2.2.1.	RELIEVE.		63
	2.2.2.	EXPOSICIÓN.		63
	2.2.3.	PENDIENTE.		64
	2.2.4.	ALTITUD.		65
2.3.	INFLUENCIA DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS EN LAS QUEMAS.			66
	2.3.1.	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.		66
	2.3.2.	TEMPERATURA.		68
	2.3.3.	VIENTO.		69
	2.3.4.	PRECIPITACIONES.		73
	2.3.5.	ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.		74
	2.3.6.	OBSERVACIONES Y PRONÓSTICOS DEL TIEMPO.		76

CAPÍTULO 3: TÉCNICAS DE ENCENDIDO Y CONDUCCIÓN DEL FUEGO EN LAS QUEMAS.				79
3.1.	NOCIONES DE COMPORTAMIENTO DEL FUEGO PARA LA EJECUCIÓN DE QUEMAS.			80
	3.1.1.	TIPOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO SEGÚN FACTORES DOMINANTES.		80
		3.1.1.1	Propagaciones conducidas por el viento.	80
		3.1.1.2.	Propagaciones topográficas.	80
			3.1.1.2.1. Laderas.	80
			3.1.1.2.2. Vaguadas.	81
			3.1.1.2.3. Collados.	82
		3.1.1.3.	Propagaciones conducidas por los combustibles.	82
	3.1.2.	TIPOS DE AVANCE DEL FUEGO.		82
		3.1.2.1.	Prendidos puntuales y lineales.	83
		3.1.2.2.	Relación de fuerzas en la propagación.	84
		3.1.2.3.	Fuego de flanco.	84
		3.1.2.4.	Fuego a favor.	85
			3.1.2.4.1. Fuegos a favor débiles.	85
			3.1.2.4.2. Fuegos a favor fuertes.	86
			3.1.2.4.3. Fuegos a favor en divisorias.	86
		3.1.2.5.	Fuego en contra.	87
			3.1.2.5.1. Fuegos en contra del viento.	87
			3.1.2.5.2. Fuegos en contra descendentes en condiciones de calma atmosférica.	88
		3.1.2.6.	El encuentro de dos frentes de llamas.	88
3.2.	PROCEDIMIENTOS DE ENCENDIDO.			90
	3.2.1.	HERRAMIENTAS DE IGNICIÓN.		90
	3.2.2.	TÉCNICAS DE IGNICIÓN Y CONDUCCIÓN DEL FUEGO.		91
		3.2.2.1.	Quema en contra.	91
		3.2.2.2.	Quema a favor.	94
		3.2.2.3.	Quema a favor por fajas.	95
		3.2.2.4.	Quema de flanco.	99
			3.2.2.4.1. Quema de flanco aplicada en el interior de la parcela (quema en cuña o por fajas).	99
			3.2.2.4.2. Quema de flanco aplicada en los bordes de la parcela.	100
		3.2.2.5.	Quema por puntos.	101
		3.2.2.6.	Quemas circulares o perimetrales.	105
			3.2.2.6.1. Quemas circulares simples.	105
			3.2.2.6.2. Quemas circulares con encendido central.	106
		3.2.2.7.	Quema en contra por fajas.	107
		3.2.2.8.	Quema en estrella o a los cuatro vientos.	108
		3.2.2.9.	Quemas areales.	109
		3.2.2.10.	Quemas en pilas y cordones.	109
3.3.	MANEJO DEL HUMO.			112
	3.3.1.	TÁCTICAS PARA DISMINUIR EL EFECTO DEL HUMO.		114
		3.3.1.1.	Evitación de zonas sensibles.	114
		3.3.1.2.	Dilución de las emisiones.	115
		3.3.1.3.	Reducción de las emisiones.	116

CAPÍTULO 4: PRESCRIPCIONES.			119
4.1.	PRESCRIPCIONES SELVÍCOLAS DE QUEMA.		121
	4.1.1.	ESPECIFICACIONES Y ESTRATEGIA DE QUEMA.	121
	4.1.2.	TRANSFORMACIONES DEL ECOSISTEMA: LAS METAS SELVÍCOLAS.	122
	4.1.3.	PRESENTACIÓN DE LAS PRESCRIPCIONES.	123
4.2.	INTRODUCCIÓN A LA CREACIÓN DE UNA PRESCRIPCIÓN DE QUEMA.		124
	4.2.1.	MECÁNICA DE LA HERRAMIENTA FUEGO EN EL MONTE.	126
	4.2.2.	OBJETIVOS.	129
	4.2.3.	LIMITACIONES.	129
	4.2.4.	DESARROLLO DE UNA NUEVA PRESCRIPCIÓN.	130
CAPÍTULO 5: PLANES DE QUEMAS Y TRABAJOS DE EJECUCIÓN			133
5.1.	MARCO GENERAL PARA PLANIFICAR EL USO DEL FUEGO.		134
	5.1.1.	NATURALEZA DE LOS MONTES RESPECTO AL FUEGO.	134
	5.1.2.	EL ESCENARIO SOCIOECONÓMICO.	137
	5.1.3.	PLANTEAMIENTO FILOSÓFICO DE LA GESTIÓN.	138
	5.1.4.	PROGRAMAS Y PLANES DE QUEMAS.	140
		5.1.4.1. Programas de quemas.	140
		5.1.4.2. Plan de ejecución de quema.	141
5.2.	PERSONAL Y MEDIOS EMPLEADOS PARA LAS QUEMAS.		145
5.3.	ORGANIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS CON FUEGO: FLUJO DE TRABAJO Y OPERACIONES QUE REALIZAR.		148
	5.3.1.	LABORES DE PREPARACIÓN DE LA QUEMA.	148
	5.3.2.	LABORES DE QUEMA.	151
	5.3.3.	LABORES DESPUÉS DE LA QUEMA: LA EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO	156
		5.3.3.1. Tratamientos postfuego.	156
		5.3.3.2. Evaluación de las quemas.	157
		5.3.3.2.1. Evaluación a corto plazo.	159
		5.3.3.2.1.1. Evaluación de los cambios inmediatos en el ecosistema.	159
		5.3.3.2.1.2. Evaluación de la ejecución de la quema.	162
		5.3.3.2.2. Evaluación a medio plazo: observación de los efectos ambientales.	164
		5.3.3.2.3. Evaluación a largo plazo.	166

PARTE 2. ECOLOGÍA DEL FUEGO **169**

CAPÍTULO 6: UN ESBOZO DE LA DINÁMICA DE LOS MONTES.			171
6.1.	DINÁMICA DE LOS MONTES.		172
	6.1.1.	EL MEDIO GEOCLIMÁTICO	173
		6.1.1.1. El clima.	173
		6.1.1.2. Otros factores geoclimáticos.	174
	6.1.2.	LOS EVENTOS RENOVADORES: MODIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN POR LA ACCIÓN DE PERTURBACIONES.	176

6.1.3.	RELACIONES MUTUALISTAS: LA VEGETACIÓN CONVIVIENDO CON ANIMALES Y MICROBIOS.		179
6.1.4.	EL SER HUMANO COMO PARTE ACTIVA EN LA DINÁMICA FORESTAL.		179
6.1.5.	LA RELACIÓN ENTRE LOS VEGETALES.		181
	6.1.5.1.	Concurrencia	181
	6.1.5.2.	Estructura y significación de la vegetación dominante.	184
	6.1.5.3.	Desarrollo y relevo generacional.	185
	6.1.5.4.	Dispersión y colonización: llegada y asentamiento de nuevas especies.	186
	6.1.5.5.	La sucesión vegetal.	187
6.2.	UN CAMBIO DE PARADIGMAS.		190
6.2.1.	El monte como sistema complejo y abierto con una dinámica caótica.		190
6.2.2.	Un enfoque nuevo para la dinámica forestal.		193

CAPÍTULO 7: EL RÉGIMEN DE INCENDIOS			197
7.1.	REGULADORES DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS		200
7.1.1.	EL MEDIO GEOCLIMÁTICO		200
7.1.2.	LA POBLACIÓN HUMANA		201
7.1.3.	LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN		207
7.1.4.	EL RÉGIMEN GLOBAL DE RENOVACIONES		207
7.1.5.	PATRÓN DE IGNICIONES		208
7.1.6.	LOS REGÍMENES DE INCENDIOS ACTUALES: MEZCLA DE REGÍMENES NATURALES Y ANTRÓPICOS		209
7.2.	ATRIBUTOS DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS		213
7.2.1.	INTENSIDAD		213
7.2.2.	TIPO		214
7.2.3.	ÉPOCA		215
7.2.4.	EXTENSIÓN Y FORMA		216
7.2.5.	FRECUENCIA		217
7.2.6.	SEVERIDAD		219
7.2.7.	SINERGISMO		221
7.3.	TIPOS DE REGÍMENES DE INCENDIOS		222

CAPÍTULO 8: RUDIMENTOS DEL FUEGO EN LA NATURALEZA			225
8.1.	LA VEGETACIÓN Y EL FUEGO		226
8.1.1.	EL MONTE QUE RECIBE AL FUEGO		226
8.1.1.1.	Atributos vitales de las plantas frente al fuego		227
8.1.1.1.1.	Estrategias perpetuadoras y mecanismos de ocupación		228
8.1.1.1.1.1.	Estrategias rebrotadoras		228
8.1.1.1.1.1.1.	Tipos de regeneración vegetativa		230
8.1.1.1.1.2.	Germinadoras obligadas		232
8.1.1.1.1.2.1.	Estrategias de diseminación y conservación de semillas		234
8.1.1.2.	Las tácticas resistentes: estructuras y formas de protección		237
8.1.1.2.1.	El manto edáfico y la columna de aire como protectores		237
8.1.1.2.2.	Estructuras vegetales aislantes propias		238

		8.1.1.2.3.	El tamaño como ventaja	239
	8.1.1.3.	Predisposición individual ante el fuego		243
	8.1.1.4.	El legado y las dinámicas poblacionales ante el fuego		245
		8.1.1.4.1.	El legado biológico tras el fuego: los supervivientes	245
		8.1.1.4.2.	Las dinámicas poblacionales	247
	8.1.1.5.	Características biológicas frente al fuego a escala de ecosistema		249
		8.1.1.5.1	La composición específica del monte	249
			8.1.1.5.1.1. Diversidad, sucesión y susceptibilidad al fuego	250
		8.1.1.5.2.	El estado del monte: la estructura como indicador	252
8.1.2.	INFLUENCIA DEL FUEGO			257
	8.1.2.1.	Efectos del fuego sobre las plantas		257
		8.1.2.1.1.	Efectos directos del fuego sobre las plantas: la influencia física sobre los individuos	257
			8.1.2.1.1.1. Daños a las plantas establecidas	257
			8.1.2.1.1.2. La activación de semillas pirófitas	260
			8.1.2.1.1.3. La activación de los meristemos	261
		8.1.2.1.2.	Efectos indirectos del fuego sobre las plantas: la modificación del ambiente	261
	8.1.2.2.	Características del evento renovador		262
		8.1.2.2.1.	El comportamiento del fuego como generador de heterogeneidad a escala detallada	262
		8.1.2.2.2.	Las características del evento renovador como moduladores de la severidad a escala amplia	265
			8.1.2.2.2.1. Intensidad y tipo de fuego	265
			8.1.2.2.2.2. La época del fuego	267
			8.1.2.2.2.3. Tamaño y forma del quemado	269
			8.1.2.2.2.4. Frecuencia de los fuegos	271
8.1.3.	OTROS INFLUYENTES IMPORTANTES SOBRE LA SEVERIDAD Y LA REACCIÓN DEL ECOSISTEMA AL FUEGO			275
	8.1.3.1.	El medio geoclimático		275
	8.1.3.2.	Otros agentes del régimen de renovaciones: la concatenación sinérgica de eventos		278
8.1.4.	DINÁMICA VEGETAL TRAS EL SUCESO DE FUEGO			282
	8.1.4.1.	Generalidades sobre la ocupación del terreno e inicio de la sucesión tras el fuego		283
	8.1.4.2.	Algunos patrones sucesionales habituales relacionados con el fuego en los montes ibéricos		287
8.2.	OTRAS AFECCIONES DEL FUEGO AL ECOSISTEMA			290
8.2.1.	EFECTOS SOBRE EL SUELO			290
8.2.2.	EFECTOS SOBRE LA FAUNA			293
8.2.3.	EFECTOS SOBRE EL AIRE			296

PARTE 3. UN ENFOQUE PARA LAS QUEMAS Y LA GESTIÓN FORESTAL			**299**
CAPÍTULO 9: UN ENFOQUE PARA LAS QUEMAS Y LA SELVICULTURA CONVENCIONAL EN ESPAÑA			301
9.1.	LAS QUEMAS EN LA GESTIÓN		304
	9.1.1.	EL FUEGO, UN MANEJO SELVÍCOLA CON CABIDA EN LA GESTIÓN	304
	9.1.2.	LOS PROBLEMAS DE LAS QUEMAS	305
	9.1.3.	EL USO TRADICIONAL DEL FUEGO COMO RIESGO	308
	9.1.4.	LA GESTIÓN FORESTAL CON FUEGO, REFLEXIONES SOBRE LAS TENDENCIAS NOVEDOSAS	311
9.2.	LA SELVICULTURA COMO HERRAMIENTA BÁSICA PARA LA GESTIÓN DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS		315
	9.2.1.	EFECTOS DE LA APLICACIÓN DEL MANEJO DE ESPESURAS ARBÓREAS SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS INCENDIOS EN LOS BOSQUES	319
	9.2.2.	LA SINERGIA DE LA SELVICULTURA FRENTE A LOS INCENDIOS: EL EFECTO PREVENTIVO DE LOS ENTRAMADOS SOCIECONÓMICOS FORESTALES	326
		9.2.2.1. Algunos ejemplos de atenuación del régimen de incendios	329
		9.2.2.2. Algunas sinergias ambientales y sociales positivas	330
	9.2.3.	LIMITACIONES DEL ENFOQUE PROPUESTO	334
ANEXOS			**337**
ANEXO 1. CLASIFICACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES IBÉRICAS SEGÚN SU INFLAMABILIDAD Y COMBUSTIBILIDAD			338
ANEXO 2. METODOLOGÍA PARA EVITAR MOLESTIAS A LA POBLACIÓN POR EL HUMO DE LAS QUEMAS			340
ANEXO 3. REACCIONES DE LA VEGETACIÓN FRENTE A LA RENOVACIÓN POR FUEGO SEGÚN LOS ATRIBUTOS DEL EVENTO			342
ANEXO 4. ESPECIES Y FORMACIONES VEGETALES SEGÚN ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DOMINANTES			344
BIBLIOGRAFÍA			**349**

INTRODUCCIÓN

La motivación inicial por la que este trabajo surgió fue resolver las dudas que el uso del fuego me planteaba y los resultados de las quemas en las que participé hace ya más de una década. En aquel momento, tenía unos conocimientos relativamente suficientes sobre la gestión y conducción de la dinámica de los montes mediante la selvicultura convencional y la pascicultura alcanzados en mi formación académica. No obstante, mi entendimiento respecto al manejo del fuego y sus resultados sobre los montes era somero, ya que el cuerpo de conocimientos del que me había nutrido estaba centrado en extinción y prevención tradicional. Además, no encontré textos de referencia en español por aquel entonces que aliviasen totalmente mis inseguridades con relación a las quemas e, imaginando que esas dudas eran comunes a los profesionales de mi generación, me lancé ingenuamente a crear uno que pudiera atenuarlas.

El objetivo primero fue crear un manual básico de quemas, pero la gran duda filosófica sobre si es conveniente o no el uso del fuego como herramienta selvícola siempre estaba presente. Tratar de explicarme la utilidad del fuego en la gestión para hacer un relato introductorio medianamente coherente me llevó a dar mayor peso al asunto del régimen de incendios y a la piroecología hasta convertirse en medio libro.

El resultado ha sido que este libro tiene tres partes diferenciadas:

- Parte 1: Rudimentos tecnológicos para la ejecución de quemas.
- Parte 2: Dinámica forestal, régimen de incendios y ecología del fuego.
- Parte 3: Reflexión sobre si resulta más conveniente implementar la selvicultura por corte que la aplicación general de quemas en España.

Dichas partes se pueden leer independientemente, aunque guardan una lógica relación entre sí.

Actualmente se está produciendo cierto debate sobre la herramienta fuego en la gestión de nuestro ámbito derivado del cambio de enfoque producido desde la década de 1990. Los incendios son un agente normal y rutinario de los montes ibéricos y macaronésicos, y así está asumido ya por los profesionales del ramo. Sin embargo, creo que queda por definir cuál debe ser la importancia de los incendios y las quemas en la gestión de los montes, así como en el resto de los tratamientos selvícolas. Sobre todo, en la dinámica española actual, en la que montes y bosques crecen en extensión y complejidad, lo cual es una oportunidad histórica en muchos sentidos. En este trabajo —en el Capítulo 9 concretamente—, aporto mi punto de vista sobre el asunto quizá de una forma generalista, ya que es difícil incluir a toda la enorme heterogeneidad de situaciones que hay en España. Obviamente, es la parte más controvertida, discutible y prescindible de esta obra. Mi posicionamiento en este sentido probablemente tenga una buena carga de voluntarismo y subjetividad derivada de una visión personal marcada, pues crecí en un ambiente de gente que vivía del bosque y sus productos. Ahora bien, considero que el contrapunto que aporto a otros enfoques es necesario dado que me llama poderosamente la atención la manera en que las iniciativas para ensayar quemas menudean en algunas regiones a cargo de los presupuestos públicos y, en cambio, otras actividades selvícolas —como las cortas— hechas por particulares y que generan riqueza y recursos fiscales están sujetas a odiseas burocráticas y legales que —si se me permite una referencia a la cultura popular— resultan dignas de las doce pruebas de Astérix.

Insisto en la importancia de la selvicultura convencional, con todas sus limitaciones ya conocidas, para la atenuación del régimen de incendios en la última parte del libro. Este es un planteamiento forestal clásico, muy manido, pero es cierto que ha funcionado en muchos de los lugares en que se ha aplicado dentro del ámbito europeo. Desde mi punto de vista, el problema de los incendios forestales debe afrontarse desde una perspectiva holística del territorio y de quien lo habita. Para ello, es necesario no solo asumir que los incendios son naturales en la cuenca mediterránea y que siempre van a aparecer, sino que es necesario crear, además, un entramado virtuoso que una a la gente y a los bosques y que disminuya la prevalencia del fuego. Esto ayudaría asimismo a paliar otros problemas, como el desempleo, la dependencia de las energías fósiles, el abandono rural o el cambio climático, y a alcanzar la conservación efectiva de la naturaleza bajo una visión dinámica.

Obviamente, no es posible abordar la selvicultura en grandes extensiones bajo la forma de "obra", sino a modo de "aprovechamiento", para lo que muchas cosas deben cambiar empezando por el enfoque de las Administraciones Públicas.

Por último, cabe decir que ha habido un gran desarrollo de conocimientos y materiales sobre incendios forestales desde que inicié la redacción del libro hasta ahora; aunque he tratado de estar relativamente al día, no sé si lo he logrado. Espero, al menos, que el mismo sea útil al lector que quiera iniciarse en la *pirotecnia forestal*, como era mi aspiración original.

Pablo Rubio Torres

Marzo de 2017

PARTE 1
TECNOLOGÍA DE LAS QUEMAS

Quema bajo arbolado para disminuir la carga de combustible en un área cortafuegos. La Victoria de Acentejo (Tenerife).

En nuestros ecosistemas el fuego ha sido un elemento fundamental de la dinámica vegetal, tan responsable de la estructura del paisaje como el clima o el suelo, lo que desgraciadamente no ha sido tenido en cuenta en muchas interpretaciones de nuestro paisaje forestal.

Álvaro Picardo. Aprovechamiento pastoral del monte (2007).

1 LOS USOS DE LAS QUEMAS

Por quema se puede entender el manejo humano del fuego en montes y campos buscando una meta utilitaria normalmente relacionada con la modificación de la vegetación o de sus restos.

Los hombres ancestrales observaron los cambios que el fuego de los incendios forestales ocasionaba en los montes; al menos, sus efectos más notables. Entre estos se cuentan el despeje y apertura de los bosques, la simplificación de las estructuras vegetales, la estimulación del rebrote y la germinación de algunas especies y, consecuentemente, la mejora de los hábitats de los grandes herbívoros, que fueron un recurso esencial para el sostenimiento de las primeras sociedades.

Obviamente, el ser humano comenzó a usar el fuego en su beneficio en cuanto lo "domesticó" convirtiéndose en un agente activo del régimen de incendios. El manejo del fuego para fines venatorios probablemente fue importante desde los albores de la humanidad.

Es fácil imaginar que la primera tecnología de quema era incontrolada: se elegía el momento y sitio de prendido y poco más. No obstante, el intento de controlar las quemas para minimizar el daño a otros predios comenzó a medida que la colonización del territorio y la agrarización de las sociedades avanzaban. En ese momento, los prendidos con fines cinegéticos fueron cediendo importancia frente a los pastoriles y agrícolas.

El fuego ha sido una herramienta básica en el manejo de la vegetación durante todo el sistema agrario tradicional, y también se ha utilizado en distintas actividades forestales tradicionales. Más tarde, estos usos se integraron en la selvicultura ilustrada, como la eliminación de restos en montones o el despeje de parcelas para repoblación arbórea.

Históricamente, las quemas se emplearon persiguiendo diferentes objetivos determinados por el tipo de cultura o sociedad, el grado de desarrollo de esta y el medio natural en que sus miembros habitaban. Las condiciones del comportamiento del fuego y de la ecología restringen lo que el fuego puede, o no, hacer, pero los condicionantes culturales son los que realmente dictan lo que el fuego debe, o no, hacer (Pyne *et al.*, 1996).

Diferentes ecosistemas reaccionan o se modifican de diversa forma bajo un mismo régimen de renovaciones debido a la disparidad de sus naturalezas. De igual modo, un mismo monte muda con regímenes de renovaciones diferentes de manera contrastada. La estructura

Fotografía 1.1. La cultura y las costumbres determinan lo que el fuego debe, o no, hacer.

Gran hoguera en un casco urbano. *La Foguera de Sant Antoni.* Canals (Valencia/València).

de la vegetación y la composición biológica pueden ser manipuladas mediante la variación del régimen de fuego (Bond y van Wilgen, 1996) o del régimen de renovaciones global desde una perspectiva más completa.

Por otro lado, el grado de desarrollo técnico y económico de una sociedad influye en los objetivos que se persiguen con las quemas. Por ejemplo, el uso del fuego en campos y montes fue paulatinamente abandonado en el conjunto de Europa durante el siglo XX debido al progreso socioeconómico, a la generalización de alternativas mecánicas para muchas labores rurales y a profundos cambios sociales y culturales. En España el fuego ha sido un útil rural relativamente habitual para distintos menesteres hasta la década de 1960 (véase Fuentes, 1966). En esta región del mundo, los cambios técnicos y sociales vinieron acompañados por una mudanza en la percepción social del fuego. De ese modo, muchos incendios de matorral en los montes españoles actuales se consideraban quemas de manejo del territorio hace medio siglo, cuando el sistema agrario tradicional daba sus últimos coletazos. El abandono rural generalizado, la desagrarización de la economía y la extensión de los arquetipos urbanos posmodernos a casi toda la sociedad tuvieron mucho que ver con este cambio en el enfoque.

A pesar de lo anterior, no se debe olvidar que el fuego sigue siendo el útil de desbroce de la vegetación más usado por la humanidad; sobre todo, en las sociedades rurales humildes[1].

Fotografías 1.2. (arriba) y **1.3.** (abajo). El uso del territorio por parte de las sociedades determina en buen grado el régimen de renovaciones de los montes, en el que el efecto del fuego se encuadra. Esto es especialmente notable cuando existen contrastes en el manejo dentro de un mismo medio geoclimático. Por ejemplo, los valles pasiegos y la comarca de las Encartaciones de Vizcaya son vecinos. Sin embargo, la gestión del territorio es distinta en cada área basándose en orientaciones de explotación económica divergentes. Dinámicas ecológicas distintas generan montes diferentes.

Arriba: Cultivo y explotación maderera intensiva de *Pinus radiata* mediante cortas a hecho y plantación. La gestión en este caso genera un paisaje boscoso teselado según se alternan en el espacio los rodales en diferentes fases de desarrollo. El fuego es raro en este medio, y no aparece salvo en caso de accidente o para eliminar a veces los restos tras las cortas. Balmaseda (Vizcaya/Bizkaia).

Abajo: La ganadería ha sido la actividad económica por excelencia en los valles pasiegos. El arbolado no es importante aquí, y los herbazales y matorrales que constituyen pasto para las vacas y caballos son el objetivo principal del manejo. De ese modo, los principales agentes de renovación de la vegetación han sido el diente de los herbívoros y el fuego. Las quemas o incendios han resultado tradicionalmente esenciales para desbastar aquellos rodales en que el matorral se hace impenetrable o poco palatable. Actualmente se está tratando de sustituir totalmente al fuego por desbroces para lograr compatibilizar la ganadería y el progreso de los bosques. Las Machorras (Burgos).

[1] Se recomienda consultar la segunda parte del libro en caso de duda con algún concepto de ecología forestal.

1.1. USOS DEL FUEGO EN LA GESTIÓN DEL TERRITORIO

Fotografías 1.4. (arriba) y **1.5.** (abajo). El fuego es un elemento dual en gran parte del medio rural: puede llegar a ser un peligro descontrolado, pero es —o ha sido dependiendo del lugar— una herramienta agropecuaria de primer orden. El aforismo finés que afirma "el fuego es un buen criado y un mal amo" cobra realidad en la visión rural. En cambio, el fuego únicamente tiene una imagen de destructor en el medio urbano moderno. La gente de ciudad solo se relaciona con este elemento de forma confinada e indirecta para cocinar o calentarse. En el caso concreto de España, actualmente domina una visión pública del elemento negativa, de peligro y de emergencia.

Arriba: El fuego permite hacer agricultura de subsistencia en zonas boscosas con pocos medios, y sirve principalmente para abrir rasos en la espesura con facilidad. En la imagen, se puede observar una plantación de maíz en una parcela de bosque intervenida con "tumba y quema". Ndjiacon (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

Abajo: Es innegable que el fuego es un agente destructor en muchas ocasiones. Incendio de una vivienda de madera. Mbubuin (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

Las quemas se utilizan para tratar de alcanzar diferentes objetivos en la gestión de la vegetación, y muchos de ellos son consuetudinarios en distintas culturas. Tanto es así, que la creación, mantenimiento o modificación de numerosos paisajes rurales y naturales dependen del fuego como herramienta (Goldammer *et al.*, 2007). En los países avanzados, las quemas actuales son manifestaciones modernas del tradicional uso del fuego por el hombre, solo que ahora apoyadas por conocimientos en ecología y otros ámbitos (Vélez, 1992).

1.1.1. USOS AGRÍCOLAS

El fuego ha sido consustancial con la agricultura desde los inicios de esta y debió de empezar a usarse en cuanto los agricultores se dieron cuenta de que obtenían más ventajas al sembrar algún cultivo en condiciones de terreno despejado que haciéndolo bajo la competencia de la vegetación silvestre.

La "tumba y quema" es la práctica de cultivo más antigua y aún se conserva en algunas regiones del mundo poco pobladas y desarrolladas. Se basa en la creación de campos temporales rozando y quemando el monte, ya sea este bosque, matorral o herbazal. Seguidamente, se cultiva durante tres o cuatro años hasta agotar la fertilidad natural del suelo. Es una agricultura de subsistencia primitiva asociada a suelos pobres, como muchos de los tropicales o boreales. Además, es itinerante, porque se desarrolla en medios donde son necesarios bastantes años de barbecho para recapitalizar mínimamente el suelo de fertilizantes. Está desligada de abonos orgánicos o minerales y necesita amplias áreas para poder desarrollarse con continuidad. Fue inicialmente practicada por poblaciones nómadas —y, más tarde, sedentarias— en marcos territoriales todavía no colonizados agropecuariamente. No obstante, también se ha practicado en otros medios, como zonas montañosas de regiones templadas, en momentos de escasez. Una vez agotadas, las parcelas se abandonan reincorporándose al monte

mediante colonización y sucesión natural, pudiendo volver a cultivarse posteriormente según el modelo de explotación y los avatares humanos.

El fuego cumple dos funciones en el modelo de tumba y quema: por una parte, sirve para despejar la vegetación silvestre muchas veces con un apeo previo del arbolado si se realiza en bosques; por otra, es la herramienta que mineraliza parte de los nutrientes atesorados por la vegetación silvestre de modo que pasen al manto edáfico en forma de cenizas quedando a disposición del cultivo.

La capacidad del fuego para romper monte le ha hecho un útil esencial y característico de las áreas y momentos en que hay una expansión de la frontera agrícola. Todas las regiones agropecuarias del mundo se crearon despejando los montes mediante fuego, apoyado en distintas medidas por el diente del ganado, el hacha y el arado. Por ejemplo, este proceso ocurrió hace miles de años en la cuenca mediterránea cuando sucedió la revolución neolítica. Asimismo, se produjo en el oeste estadounidense durante la segunda mitad del siglo XIX y está ocurriendo ahora en lugares como la Amazonia o Indonesia (Pyne, 1999).

Fotografía 1.6. El fuego suele tener un papel preponderante en la expansión de la frontera agropecuaria.

En la imagen se ven campos de relativamente reciente creación en los que se han dejado franjas del bosque chiquitano original.

San Julián (Departamento de Santa Cruz, Bolivia).

El sistema agrario tradicional es un régimen de subsistencia preindustrial basado en el uso agropecuario de todo el territorio apto sin maquinaria u otros insumos foráneos que ayuden en las labores del campo. Desde el punto de vista europeo es una conceptualización de la relación hombre-territorio que hubo desde el fin de la colonización agropecuaria neolítica hasta la industrialización. Es un período heterogéneo y dilatadísimo en el que hubo fuertes cambios y fluctuaciones debidos a los adelantos tecnológicos, cambios demográficos y otras circunstancias humanas, pero que se caracterizó, simplificando, porque la frontera agropecuaria fue relativamente estable e incluyó en muchas fases superficies inadecuadas para el cultivo debido a la necesidad y la superpoblación. El fuego fue una herramienta agrícola esencial en este régimen socioeconómico:

- Servía para el despeje de parcelas en barbecho, incluso las colonizadas por vegetación herbácea. Las acumulaciones vegetales silvestres que estorbaban a la acción del arado al labrar los suelos de nuevo se eliminaban mediante la quema, y este era un aspecto de notable relevancia cuando se trabajaba con tiro de sangre.
- Se usaba para suprimir los restos de cosechas anteriores, como los rastrojos del cereal. Al alzar los suelos para la siguiente sementera, los restos del cultivo anterior ayudan a crear huecos de aire en el sustrato relativamente grandes que disminuyen el contacto íntimo de las nuevas semillas con el suelo y, a veces, pueden provocar una reducción de la germinación y, por ende, de la producción en la siguiente cosecha. El fuego también se utilizaba para eliminar restos de poda de los cultivos leñosos si la necesidad de combustible doméstico o preindustrial en ese momento no era elevada; usualmente, mediante quemas en montones u hogueras. En este caso, se perseguía deshacerse de los residuos por problemas de espacio físico, ya que la pudrición de restos lignificados es bastante lenta; sobre todo, en medios secos como los mediterráneos.
- Las quemas agrícolas también permitían dinamizar los ciclos de nutrientes. El fuego fuerza una rápida liberación de los compuestos acopiados en las plantas silvestres de los barbechos o en los restos del cultivo y no hace necesario esperar a su descomposición, que suele demorar un tiempo excesivo para los ciclos agrícolas.
- Con la quema se buscaba asimismo reducir el banco de semillas silvestres que pudiera competir con éxito sobre el cultivo; principalmente, en la fase de germinación. El fuego también sirve, por otro lado, para esterilizar las tierras diezmando a algunos patógenos de los cultivos.

El sistema agrario tradicional fue desapareciendo paulatinamente en España desde finales del siglo XIX en las zonas más desarrolladas hasta la década de 1960 en las más atrasadas (Sevilla, 2008). Las quemas han tenido su importancia en las actividades agrícolas de nuestro país hasta hace pocos años. Todavía existe cierta costumbre de usar el fuego en las operaciones de cultivo, si bien es cierto que las quemas son cada vez menos empleadas debido a un cambio de los usos y la tecnología agrícola (picadoras de restos, siembra directa, herbicidas más eficaces, etc.), así como por regulaciones legales más restrictivas (Vélez, 2007b). Es posible que la quema de restos leñosos —mucho más común ahora por la baja necesidad de leña durante las últimas décadas— se vaya abandonando según se implementen mejores sistemas logísticos para la valorización de la biomasa. Ahora bien, no hay que olvidar que el fuego sigue siendo actualmente una herramienta común en la agricultura a lo largo y ancho de todo el planeta; fundamentalmente, en las regiones con una economía más modesta.

Por último, es importante destacar que el principal factor de daño producido por la quema en parcelas agrícolas ya establecidas es usualmente la pendiente, porque puede facilitar erosiones y migraciones importantes de nutrientes (Ruiz del Castillo, 2000). En terrenos más o menos llanos, incluso con repetición de quemas, no suele haber desequilibrios del balance de nutrientes significativos a medio plazo (Wright y Bailey, 1982; Fernández *et al.*, 2011). Sin embargo, existen importantes diferencias en función de la naturaleza de la roca madre, la textura del suelo y el comportamiento del fuego (Fernandes *et al.*, 2002).

Las quemas suponen una merma de fertilidad total de los suelos por emisiones de gases, pero normalmente son un menoscabo inferior que la cosecha del producto en sí misma si no median arrastres o lixiviaciones de cenizas y sales en la agricultura convencional, sujeta a fuertes aportes externos.

Fotografía 1.7. El fuego es una herramienta agrícola muy utilizada en todo el mundo, aunque su uso es cada vez menor en España.

Los cambios tecnológicos en los campos españoles están permitiendo reducir la necesidad de prender las parcelas cosechadas periódicamente. No obstante, las presiones de las administraciones para limitar el riesgo de incendios y la alarma social que el uso del fuego produce han sido los principales motivantes de esta transformación.

Quema de rastrojos de maíz. Borox (Toledo).

Fotografía 1.8. El fuego es el útil de desbroce más utilizado en el mundo. En la imagen se aprecia la tradicional técnica de la agricultura tropical de "tumba y quema" o "chaqueo". La fertilidad del terreno solo servirá para mantener un cultivo de substistencia durante tres o cuatro años a lo sumo. Luego, el bosque reocupará la parcela si no median otros intereses humanos.

Lagunas (Departamento de Loreto, Perú).

Fotografía 1.9. El fuego es una herramienta rural necesaria para la economía de los pueblos, aunque no exenta de peligro. Los incendios son un problema forestal, pero esencialmente de origen agropecuario, y esto es una constante en muchas regiones del mundo.

Cartel sensibilizador frente a las negligencias de origen agrícola. Destaca que está hecho desde el enfoque forestal y maderero en un área con una socioeconomía de subsistencia donde no se puede prohibir el uso del fuego en el campo.

Ejido Laguna del Carmen (Estado de Chiapas, México).

1.1.2. USOS SELVÍCOLAS

El fuego debió usarse en los bosques desde los albores de la humanidad. Por ejemplo Spence (1999) comenta que algunos indios norteamericanos hacían quemas rutinarias de bosques cerca de los lugares que elegían para instalar sus campamentos de invierno, y así generaban una provisión de leñas secas grande y cercana a sus hogares. Es un comportamiento lógico en sociedades cazadoras-recolectoras en regiones vastas sin percepción de restricciones ecológicas en el uso de los recursos naturales.

La necesidad de madera como material tecnológico fundamental durante toda la historia fue usualmente baja salvo en determinados momentos y regiones hasta la edad moderna, época en que resultó estratégica para las Armadas europeas. Los usos principales de los montes ibéricos en el sistema agrario tradicional consistieron en proveer de leñas —el combustible básico para todas las actividades— y sostener a las cabañas ganaderas, que proporcionaban alimento y fuerza de trabajo, y que eran un vector de fertilidad de la vegetación silvestre a los cultivos. Por ello, el fuego en los montes se usó preferentemente en actividades pastoriles y residualmente en trabajos de madereo: para eliminar restos de corta o despejar algún rodal que se quería semillar o plantar con otra especie.

El fuego se ha utilizado para actividades tradicionales en España desde los albores de la selvicultura ilustrada, aunque con algunos cambios debidos a los progresos tecnológicos y a las fluctuaciones económicas:

- El fuego se ha empleado comúnmente como método de desbroce para la preparación del sitio de plantación arbórea (Navarro, 1977), aunque este uso se ha restringido para este fin en el último medio siglo por la popularización de los tractores.
- La eliminación de restos de pequeñas intervenciones de corte, desbroce o poda se sigue realizando mediante quemas en montones, aunque llegaron a valorizarse de modo doméstico o industrial en momentos anteriores y de mayor necesidad de combustible.
- Se han quemado grandes acumulaciones de restos de cortas a hecho en pilas o montones, o bien extendidas en el rodal intervenido. No obstante, estas operaciones son en buena medida minoritarias, porque es un método de regeneración poco usado en la selvicultura ibérica, y la quema ha estado restringida al cultivo del eucalipto y otras pocas especies de trato intensivo. De ese modo, su uso se está abandonando —desde hace una década sobre todo— por el auge de la valorización de la biomasa.

Fotografía 1.10. Las quemas en montones son una técnica extendida para eliminar restos vegetales agrícolas y forestales; sobre todo, los provenientes de podas y pequeños desbroces.

Quema de restos no válidos como leñas domésticas generadas en el trasmochado de un soto de *Fraxinus angustifolia*.

El Espinar (Segovia).

Otros empleos del fuego en la selvicultura que se llevan a cabo en distintas partes del mundo sobre la base de ciertos mecanismos ecológicos son:

- Como herramienta de preparación del sitio antes de las cortas de regeneración para facilitar la germinación e instalación natural de los brinzales de algunas especies, como en algunos pinares de *Pinus sylvestris* en Suecia (Egnell, 2000).
- Actualmente, el fuego se considera como un agente fundamental en los montes pirófitos para la creación y mantenimiento funcional de estos ecosistemas (Hardy y Leedhouts, 2001). En este caso, las quemas se pueden usar persiguiendo fines de gestión, como la regulación de la competencia del sotobosque, para dirigir la composición específica o con el objeto de mantener una determinada diversidad biológica de especies dependientes del fuego (Martin y Dell, 1978; Bond y van Wilgen, 1996; Fernandes y Loureiro, 2010; Pausas, 2012). Por ejemplo, Wade y Lunsford (1989) exponen el caso de quemas efectuadas en algunos bosques de Estados Unidos con el fin de eliminar a las frondosas que compiten con éxito con las coníferas, de mayor interés económico.

Las quemas también se emplean desde hace medio siglo en la lucha contra incendios forestales, aunque en España, de forma oficial y a pequeña escala, únicamente se lleva a cabo en algunas comarcas desde hace un par de décadas. La meta principal del uso preventivo del fuego es ayudar a disminuir el peso de los incendios en el régimen global de renovaciones. La estrategia se fundamenta en que las quemas pueden ayudar a amortiguar los cambios bruscos e indeseados producidos por los grandes incendios siempre que se empleen adecuadamente. Con estas quemas, se pretende rebajar la susceptibilidad al fuego de ciertas teselas de vegetación, reducir las superficies totales recorridas por el fuego y minimizar los riesgos asociados con los incendios. El uso del fuego en este enfoque también sirve en algunos casos para cumplimentar algunas demandas de parte de la sociedad rural y disminuir la conflictividad social, lo que a veces se traduce en incendios intencionados en determinadas comarcas. Sea como sea, hay que tener presente que las quemas pueden ser una herramienta útil en la lucha contra los incendios forestales, pero no la solución definitiva (Pyne *et al.*, 1996), sino una posibilidad más para ayudar a conformar un régimen global de renovaciones acorde con los objetivos de gestión buscados (Myers, 2006).

El uso del fuego para prevenir incendios forestales es el objetivo más extendido de las quemas en los países desarrollados que disponen de extensas áreas forestales con baja presión antrópica, y en las que es común la perturbación por incendios. Las quemas se utilizan en estos lugares para disminuir las acumulaciones de combustible generado por el crecimiento vegetal y para modificar las estructuras forestales intentando disminuir la susceptibilidad de los paisajes a los incendios catastróficos. Para ese fin se queman anualmente más de 1,5 millones de hectáreas en EE.UU. y 0,9 millones de hectáreas en Australia (Vega *et al.*, 2001). Suelen ser quemas rotacionales y cíclicas cuyos ritmos vienen determinados por el crecimiento de la vegetación, la etapa sucesional, la frecuencia histórica de incendios y la capacidad de trabajo de los servicios forestales (Martin y Dell, 1978).

Las tendencias más novedosas ponen el acento en las quemas como medio para conservar los ecosistemas y paisajes dependientes del fuego, asunto que sinérgicamente puede servir también en la prevención de incendios. En este sentido, las quemas se usan para tratar de mantener el rol del fuego o de restaurarlo en las dinámicas naturales o anteriores del monte (Pyne *et al.*, 1996) y facilitar la conservación de especies y comunidades adaptadas a este agente. Incluso existen políticas activas de restauración de regímenes de incendios de períodos pasados en ciertos lugares apartados que se consideran más apropiados para el manejo de montes y paisajes (Parsons y Landres, 1998; Parsons *et al.*, 2003; Keeley *et al.*, 2009). Por ejemplo, se aplican quemas de baja intensidad para el clareo irregular y reducción del combustible en algunos extensos bosques australianos poco intervenidos (Vega *et al.*, 2001).

Debido a la experimentación científica, aparecen propuestas de quemas para nuevos objetivos; por ejemplo, las vinculadas con la gestión y aprovechamiento micológico (Oria de Rueda *et al.*, 2009). En este sentido, se observan fuertes incrementos de producción de ciertos hongos con interés comercial en algunos montes quemados bajo determinadas circunstancias frente a la de rodales no afectados por el fuego (Fraile *et al.*, 2009). También se recomienda la quema de restos de corta en predios forestales en los que se va a hacer un cultivo agroforestal trufero con el fin de reforzar la basicidad de ciertos suelos y realizar una esterilización superficial del suelo que elimine micelios ectomicorrícicos previos a la plantación (Reyna y García, 2011).

Fotografía 1.11. La vegetación silvestre de lagos y lagunas también se ha renovado habitualmente con fuego.

Columna de humo de una quema de totora (*Schoenoplectus californicus*), probablemente añejada, para forzar su renovación y poder obtener luego juncos con mejores características tecnológicas.

Lago Titicaca, Puno (Departamento de Puno, Perú).

Fotografía 1.12. Las posibilidades de mecanización actual de los trabajos madereros y las oportunidades económicas abiertas por la alta demanda de astilla para los tableros de partículas o la dendroenergía están permitiendo la valorización de restos de madereo que antes se eliminaban por fuego en España.

Astilladora sobre autocargador triturando restos de una corta a hecho de una plantación de *Populus X canadensis* que no son válidos para desenrollo.

Cabreros del Río (León).

Fotografía 1.13. Quemas bajo arbolado para imitar el régimen de fuegos anterior al asentamiento europeo en la región. El riesgo de gran incendio se rebaja con el tratamiento mediante la eliminación de combustible y la alteración de la estructura del bosque.

El tratamiento del rodal abre de modo irregular el dosel y elimina a los árboles de menor talla y a los más tolerantes a concurrencia, como *Calocedrus decurrens* y *Abies concolor*. Con esta actuación, se beneficia a las secuoyas adultas (*Sequoiadencron giganteum*), y también, aunque en menor medida, a *Pinus ponderosa* y *P. lambertiana*.
En el lugar hay un manejo activo para mantener los valores de gestión objetivo.

Mariposa Grove, Parque Nacional de Yosemite (Estado de California, Estados Unidos).

1.1.3. GESTIÓN SILVOPASCÍCOLA, GANADERA Y DE LA FAUNA SILVESTRE

Probablemente, el primer uso del fuego que la humanidad hizo para manejar a la vegetación fue con fines venatorios. Se debió de buscar tener horizontes despejados para otear mejor a las manadas, lo que además conllevó aumentar los herbazales y matorrales, que tienen mayor capacidad de carga de herbívoros que los bosques. Lógicamente, toda la sabiduría en el manejo de los pastaderos de las sociedades cazadoras-recolectoras continuó siendo útil cuando se produjo la revolución neolítica y las primeras comunidades pastoriles aparecieron.

La generación o renovación actuales de los pastaderos para herbívoros silvestres o domésticos son la razón de quema que más superficie ocupa en el mundo y son seculares en diferentes regiones del planeta. Por ejemplo, las quemas constituyen una herramienta básica para el mantenimiento de las sabanas africanas y de las poblaciones de grandes mamíferos asociadas con ellas, y se utilizan habitualmente incluso en los parques nacionales (Ajayi y Halstead, 1979).

Fotografía 1.14. Tener fuegos muy recurrentes conlleva generalmente un cambio en los ecosistemas hacia formaciones más pirofitas y simples específica y estructuralmente, principio usado en los manejos cinegéticos o pastoriles desde siempre para generar y mantener herbazales que sean capaces de sostener a manadas o rebaños más numerosos.

Se pueden apreciar en la imagen unos montes con uso preferente pastoril en los que las herbáceas han ido ganando el dominio a base de quemas reiteradas, apoyadas con el diente del ganado vacuno, hasta acabar con la cubierta anterior del bosque chiquitano. El laxo estrato de palmeras (*Arecaceae*) confiesa la importancia del fuego en la dinámica del lugar. Estas monocotiledóneas son más resistentes al fuego que el resto del arbolado original del lugar porque tienen unos meristemos apicales profusamente protegidos de la combustión y del calor por su sistema foliar. Además, el engrosamiento del tallo está hecho por unos meristemos laterales bastante distintos del cámbium vascular de dicotiledóneas leñosas y gimnospermas. Tales meristemos generan gran cantidad de tejido parenquimático que mejora el aislamiento térmico de las conducciones de savia y aumenta la resistencia de los tallos a la combustión.

San Javier de Chiquitos (Departamento de Santa Cruz, Bolivia).

El fuego tiene los siguientes efectos sobre los pastaderos:

- Las quemas contribuyen a realizar simplificaciones estructurales en los montes; fundamentalmente, con el objeto de eliminar o reducir la cobertura arbórea o arbustiva y facilitar el dominio del estrato herbáceo, que es más accesible a la boca de los herbívoros (Gil, 2009a). Además, el despeje aumenta la eficiencia del pastoreo: concentra la actividad fotosintética en el estrato superficial incrementando su productividad y facilita el movimiento de los animales ahorrándoles energía en la función de alimentación.
- Existe una íntima relación entre las dinámicas del fuego y los herbívoros a través de las modificaciones que ambos hacen de la vegetación. Las combustiones influyen sobre las plantas variando el hábitat de los animales, que modifican al combustible y contribuyen a la sucesión cambiando los posibles patrones de combustión mediante el pastoreo y la zoocoria. Si bien la casuística sucesional de los pastaderos es amplia (véase, por ejemplo San Miguel, 2004) la combustión generalmente induce cambios bromatológicamente positivos aunque efímeros, salvo cargas posteriores de herbívoros muy elevadas. Se observan algunos patrones:
  - Las quemas en bosques, arbustedos o matorrales posibilitan la instalación de especies herbáceas colonizadoras que tienen valor pastoral en algunos casos, si bien su efecto es pasajero y eso obliga a repetir el tratamiento pasados unos años (Martínez-Sánchez *et al.*, 1996).
  - La combustión produce una liberación de nutrientes (Fuentes, 1966; Afif y Oliverira, 2006), que son captados por las primeras generaciones de vegetales tras la quema si no ha mediado erosión o lixiviación, de modo que los renuevos son más abundantes y apetitosos para los herbívoros (Zamora, 1988).
  - La quema estimula la floración y fructificación, como mecanismos vegetales de perpetuación, en algunos taxones.
  - El fuego supone una renovación que aumenta la diversidad específica en ciertas comunidades herbáceas (Guerra, 1998), aunque suele retornar a niveles similares a los de partida transcurridos tres o cuatro años (Ferrer *et al.*, 2001).

Todo lo anterior provoca un aumento de la disponibilidad temporal de recursos para toda la cadena trófica (Fernandes *et al.*, 2002) y un efecto llamada al quemado de numerosos animales (Wright y Bailey, 1982; Bond y van Wilgen, 1996).

Fotografía 1.15. Las quemas para la renovación de pastaderos son un uso del fuego consuetudinario en muchas partes del globo y en ecosistemas contrastados. Quema en pajonal andino, dominado por macollas de *Festuca orthophyilla*, para mejorar el pasto a los camélidos domésticos y silvestres. El lugar está a gran altitud, en el dominio de la keñua (*Polylepis tarapacana*), que forma los arbustedos más altos del mundo (se observa un monte abierto de esta especie en la ladera derecha de la imagen).

Sajama, Parque Nacional Sajama (Departamento de Oruro, Bolivia).

La formación de heterogeneidades ecológicas y el mantenimiento de algunos montes en un determinado estado sucesional o estructural por medio de quemas o incendios son en general procesos positivos para los macrovertebrados. El fuego puede ser una herramienta de conservación de especies faunísticas que ayuda a lograr mejoras de la diversidad biológica e incrementos demográficos de ciertas poblaciones que habitan determinadas formaciones vegetales (Whelan, 1995; Goldammer, 2007). Por ejemplo, es conocida la recuperación del hábitat y el incremento demográfico del lagópodo escocés (*Lagopus lagopus scoticus*) mediante quemas de renovación de formaciones de *Calluna vulgaris* (Bond y van Wilgen, 1996; Lázaro y Montiel, 2010). Por su parte, Thompson y Smith (1970, citados por Ladrach, 2009) relacionan la prohibición de quemar a los nativos estadounidenses durante el siglo XX con una notable disminución de las poblaciones de aves y de mamíferos en ciertas áreas debido a que la falta de fuego facilitó que el paisaje se tornara en bosques cerrados y que perdiera capacidad de carga total de herbívoros y de sus predadores.

A pesar de lo anterior, existen lugares donde la presión pastoril ha sido tan alta que ha llegado a producir severas degradaciones de los montes, como ocurrió en muchos lugares de España siglos atrás. El problema ecológico de estas quemas ganaderas tradicionales, junto con el sobrepastoreo, ha sido la alta recurrencia de aplicación, que ha ayudado a simplificar los ecosistemas silvestres

Fotografía 1.16. El mantenimiento de pastaderos es uno de los usos del fuego más extendidos en el mundo. En España, se hace sobre todo en el norte actualmente. La importancia de la ganadería extensiva sobre el medio ibérico ha sido enorme, y el nexo entre esta y las quemas es estrecho (véase Picardo, 2007).

Por ejemplo, según Gil (2009a y 2009b), el término ganadero de origen navarro *trashumar* se encuentra íntimamente relacionado con el fuego, y es posible que tenga el sentido original de nomadear o "mover el hogar". Otra interpretación es la de "andar tras humo"; es decir, quemar el monte y pastorearlo después.

Un hato de vacas trasladándose de monte. Muñana (Ávila).

y a descapitalizar los suelos. La ganadería extensiva regulada constituye una oportunidad para el mundo rural y para el manejo forestal si se hace dentro de la capacidad de regeneración del ecosistema y es respetuosa con otros usos del monte. Por ello, quemas pastoriles se siguen realizando en algunas comarcas españolas para el sostenimiento de los rebaños extensivos, lo que además rebaja la conflictividad de incendios al cubrir parte de las demandas de manejo del matorral de los ganaderos de algunas comarcas.

Por otro lado, cabe destacar que el fuego es negativo para muchos taxones de la microfauna (Whelan, 1995). Las combustiones provocan mortalidades directas en las poblaciones de animales terrestres de pequeña talla dado que tienen escasa capacidad de huida, y también porque los fuegos homogenizan por un tiempo las zonas de habitación de estas especies dando menos oportunidades de supervivencia en general, y frente a sus predadores en particular, al devastar sus áreas de habitación. La elección adecuada de la época de quema puede limitar el efecto directo de las llamas sobre los animales.

Fotografía 1.18. La fauna terrestre de pequeño tamaño es la más susceptible de perecer en los fuegos. Cadáver de un ofidio sobre el esqueleto de un enebro de miera (*Juniperus oxicedrus*) quemado en un conato.

Torrelodones (Madrid).

Fotografía 1.17. Hay algunos ejemplos singulares en las quemas ganaderas. Por ejemplo, el fuego ha sido también una importante herramienta para el mantenimiento de las cabañas apícolas en la península ibérica; especialmente, antes del descubrimiento de América, cuando no había otros edulcorantes y la demanda de miel era elevada (Gil, 2009a y 2009b). El fuego se usa en este caso para mantener formaciones de matorral en diferentes situaciones de desarrollo, alargar la presencia de flores en el monte y, por ende, incrementar las producciones melíferas (Monserrat y Fillat, 2004).

Carcagente/Carcaixent (Valencia/València).

Fotografía 1.19. Una quema con distintos fines en el borde del bosque: por una parte, se busca desbrozar y fertilizar una zona de cultivo de subsistencia, pero principalmente se pretende dificultar la llegada de serpientes al poblado. De ese modo, se intenta proteger a las personas frente a los peligros de la naturaleza.

Mbubuin (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

1.1.4. OTROS USOS

Las quemas también se utilizan habitualmente en la extinción de incendios mediante las técnicas de contrafuego y quema de ensanche, que son las tácticas de control más efectivas de los grandes frentes de llamas, aunque su aplicación no está exenta de complejidad y riesgo. De cualquier modo, este libro se centra en el uso del fuego en la gestión forestal y no en las labores de extinción de incendios, por lo que el tema no se trata específicamente.

Además de las anteriormente mencionadas, las quemas se usan también en otras actividades y con otros fines, como la creación de infraestructuras de defensa, control de plagas y dolencias vegetales, mantenimiento o mejora estética del paisaje, mejora del acceso físico, con propósitos hidrológicos, experimentación científica, entrenamiento de zapadores forestales o eliminación de residuos de distinta naturaleza. La utilización del fuego en los montes tiene a veces usos puntuales y singulares, como la eliminación de munición de guerra sin estallar (Fernandes y Loureiro, 2010) o la limpieza de derrames de hidrocarburos (IPIECA-IOGP, 2016).

Fotografía 1.20. La realización de quemas es normal en el entrenamiento de los zapadores forestales.

Zapador practicando con extintor de explosión en matorral dominado por *Ulex*.

Tineo (Asturias).

Tabla 1.1. Relación entre la socioeconomía imperante en el territorio y los usos de las quemas.

Cazadores-recolectores	*Sociedades primitivas de subsistencia que vivieron en el monte y del monte directamente. Bajísima densidad de población y ligera presión sobre el territorio salvo por fuego descontrolado, con el que logran hacer cambios extensos y profundos en los ecosistemas.* 🔥 Quemas descontroladas para despejar el paisaje con objetivos venatorios: mejorar la observación y vigilancia de la presas, aumentar la cantidad y calidad del pasto. 🔥 Quemas descontroladas para la renovación de algunos rodales persiguiendo la generación de leñas secas y/o aumentos en el crecimiento, fructificación o regeneración de ciertas plantas.
Pueblos nómadas con ganadería y/o agricultura itinerante	*Sociedades primitivas o que mantienen modos de vida tradicionales de subsistencia en territorios vastos y de baja capacidad de producción (al menos, con las tecnologías usadas). Baja densidad de población y presión sobre el territorio salvo por fuego descontrolado.* 🔥 Quemas ganaderas (y cinegéticas) descontroladas, y controladas, para la mejora del pasto (por ejemplo, en las estepas asiáticas). 🔥 Quemas descontroladas, o controladas, de despeje para la creación de parcelas de cultivos temporales (por ejemplo, en zonas selváticas).
Colonización agropecuaria	*Proceso de transformación radical del territorio por el asentamiento permanente y masivo de la agricultura y ganadería. Los terrenos silvestres disminuyen y tienden a rarificarse al avanzar la frontera agropecuaria. Según la región, esto pudo haber sucedido hace milenios (ej. cuenca mediterránea) o está ocurriendo ahora (ej. Amazonia). Alta presión sobre el territorio y proliferación de asentamientos humanos.* 🔥 Quemas masivas controladas, y descontroladas, para "romper" del bosque y otros montes leñosos con el fin de crear pastaderos para el ganado o campos de cultivo permanentes.
Sistema agrario tradicional	*Sociedad tradicional agropecuaria de subsistencia. En el caso europeo, la agricultura y la ganadería se extendieron por todos los terrenos aptos, e incluso fuera de ellos en algunas épocas de carestía o superpoblación. Tecnología agropecuaria sin insumos externos a escala local. Los montes alcanzaron superficies de presencia mínimas.* 🔥 Quemas ganaderas (y cinegéticas) controladas para la renovación de pastaderos. 🔥 Quemas agrícolas controladas para la eliminación de restos y despeje de barbechos. 🔥 Quemas de selvicultura primitiva: eliminación de restos (pocas por la alta necesidad de combustibles leñosos) y quemas de despeje para alguna repoblación puntual. 🔥 Quemas de despeje del monte para la agricultura itinerante. En las zonas de menor aptitud agrícola y en momentos de necesidad.
Economía moderna	*Economía en la que hay disponibilidad de recursos exógenos de forma abundante y un comercio desarrollado. Agricultura y ganadería tecnificadas que reciben insumos externos. El uso del fuego puede deprimirse o aumentar para cada objetivo en función de las características del territorio, usos principales y orientación de la gestión.* 🔥 Quemas ganaderas (y cinegéticas) controladas para la renovación de pastaderos. 🔥 Quemas agrícolas para la eliminación de restos y despeje de barbechos. 🔥 Quemas selvícolas: construcción y mantenimiento de infraestructuras de defensa contra incendios, gestión del régimen de incendios, eliminación de restos, gestión de la vegetación y conservación.

1.2. TENDENCIAS RECIENTES DE LAS QUEMAS EN LOS MONTES ESPAÑOLES

En España, el fuego se ha empleado usualmente desde el empirismo (Veléz, 1992).

La investigación para el desarrollo de prescripciones de quema y el análisis científico de los efectos del fuego se remonta a tan solo finales de la década de 1970 en Galicia, y aún no ha pasado de la fase de experimentación en muchos casos. Por su carácter pionero, destacan los estudios realizados por José A. Vega y su equipo del Centro de Investigación de Lourizan (Vega, 1978; Vega *et al.*, 1983; Bará y Vega, 1983; Vega, 1985 a, b y c; Vega *et al.*, 1987 o Fontúrbel *et al.*, 1995).

En el ámbito de la gestión forestal, el fuego se está utilizando para eliminar restos selvícolas; fundamentalmente, quemándolos en montones. Respecto al manejo de despojos, ha habido un cambio de política en algunas Administraciones. Así, durante la década de 1990, algunas Administraciones restringieron severamente o prohibieron las quemas de restos en montones siguiendo las políticas exclusión estrictas, pero volvieron a permitirlas algunos años después.

Fotografía 1.21. La gestión del paisaje es otro uso de las quemas. Esta utilización del fuego se encuentra vinculada en algunas ocasiones con una visión cultural antigua, ligada al sistema agrario tradicional y a la resistencia de la población a la evolución de los entornos vegetales. El dominio de montes desarbolados en el norte de España es consecuencia de una arraigada cultura ganadera.

Quemado de matorral dominado por *Ulex* y *Erica*.
Ucieda de Abajo (Cantabria).

Fotografía 1.22. El uso del fuego llegó a eliminarse de los trabajos selvícolas de muchos montes en años anteriores bajo el influjo de la idea de la supresión total para recuperarse después, en algunos casos, tras una racionalización del riesgo y las bondades de la herramienta.

Por la significación del lugar en la cultura forestal española, el caso del monte de Valsaín resulta paradigmático. En él estaba prohibido el uso del fuego para la eliminación de restos durante la década de 1990, para permitir quemar en montones los restos selvícolas años después avisando de ello mediante carteles con la leyenda "Trabajamos con fuego" expuestos en el borde de la carretera que atraviesa al bosque.

Vista de unas perezosas columnas de humo asociadas con trabajos selvícolas en el pinar de Valsaín (Segovia).

Algunas comarcas de tradición ganadera —esencialmente, en el norte y oeste peninsular— se convirtieron hace décadas en zonas conflictivas respecto a los incendios forestales dados los cambios socioeconómicos que tuvieron lugar en ese momento. El problema se produjo por diversas causas, entre las que destacan el desmoronamiento del sistema tradicional sin producir un cambio en la costumbre de uso del fuego, la resistencia de algunas comunidades rurales a la evolución del paisaje hacia el bosque y la falta de entramados socioeconómicos forestales mínimos. De forma soterrada, alegal o hasta incontrolada, las quemas para control del matorral han sido continuas en estas comarcas; sobre todo, en el noroeste y región cantábrica, y también —aunque en menor medida— en el Sistema Central occidental, en otras comarcas del oeste peninsular y en los Pirineos.

Actualmente, el uso del fuego es relativamente habitual en algunas de estas zonas, donde se realizan quemas con los objetivos de renovar los pastos y control del matorral, pero también para limitar la problemática de los incendios forestales tanto en su vertiente social como en la de la estructura de la vegetación (Gómez-Arnau y Picardo, 1995; Alfonso *et al.*, 1997; Rodríguez, 1998; Rey, 2000).

La reducción del impacto producido por los incendios y el control del combustible despertaron el interés de algunas Administraciones Públicas por las quemas durante la mencionada década de 1990. Es un manejo del fuego que puede aumentar en función de las políticas seguidas por cada Administración.

La ordenación del fuego para reducción del matorral, renovación de pastaderos y trabajos experimentales que buscan la disminución del impacto provocado por los incendios de forma continua desde la década de 1990 está ocasionando un notable desarrollo técnico-científico y unos significativos cambios de paradigmas en el sector. Algunas Administraciones trabajan en este sentido destacando la función extensionista, y pionera en algunos lugares, de los Equipos de Prevención Integral de Incendios (EPRIF) de la Administración central. De este modo, el uso del fuego está regulado en Galicia desde hace más de veinte años (Alfonso *et al.*, 1997), aunque con un renovado impulso durante los últimos tiempos (Grandas y Pardo, 2009), y esto también sucede en algunas otras regiones del norte, como ciertas comarcas de Castilla y León (Gómez-Arnau y Picardo, 1995; Rodríguez, 1998).

Cataluña, por su parte, es puntera en el manejo de la vegetación mediterránea con fuego de modo experimental (Arilla *et al.*, 2005), si bien las quemas por razones pascícolas fueron tradicionales en todo el Pirineo catalán (Abréu y Montserrat, 1975; Rey, 2000) y en otras áreas de la cordillera (Fillat y Villar, 1975). Andalucía y algunos otros servicios forestales —como los de ciertos cabildos insulares destacando el de Gran Canaria— comenzaron a experimentar con fuego hace unos años y trataron de desarrollar programas de quemas en algunos casos (Rodríguez, 2000; Molina, Galán *et al.*, 2007). En Castilla-La Mancha, también existe un replanteamiento de las políticas tras el incendio de Guadalajara de 2005. En mayor o menor medida, se comprueba cierto contagio de ideas y posturas a otras regiones, y los experimentos comienzan a menudear, como los realizados en la reserva de caza de La Muela de Cortes (Comunidad Valenciana).

En Portugal, se comenzó a trabajar con fuego prescrito en 1982 en el área Entre Douro y Minho, y en Entre Vez y Coura a partir de 1991; mayoritariamente, mediante quemas bajo arbolado de *Pinus pinaster* (Rego y Ferraira, 2000).

A escala continental, varios proyectos de investigación en incendios forestales se han desarrollado y siguen haciéndolo, como *Eufirelab*, *Firesmart*, etc., bajo encomienda de la Comisión Europea. Respecto al uso del fuego, destaca el proyecto *Fire Paradox* (Silva *et al.*, 2010), realizado entre 2006 y 2010 tratando de buscar avances hacia la gestión integrada del fuego en los montes.

Fotografía 1.23. La quema de residuos urbanos ha sido una importante causa de inicio de incendios desde hace unas décadas, y se encuentra asociada con el desarrollo socioeconómico. Los esfuerzos públicos para evitar tanto los vertidos como las quemas de basuras están reduciendo esta problemática.

Quema en un vertedero incontrolado junto a un pinar.
Santiuste de San Juan Bautista (Segovia).

Fotografía 1.24. El desarrollo técnico y el cambio de paradigmas en algunos servicios forestales ha llevado a un significativo cambio de enfoque en el uso del fuego respecto del que se tenía hace dos o tres décadas.

Quema para el manejo de combustibles superficiales y refuerzo de un área cortafuego bajo dosel de *Pinus canariensis*.
La Victoria de Acentejo (Tenerife).

Este agente, no bien interpretado en Europa, es analizado casi siempre de manera simplista como una catástrofe puntual y de origen antrópico que arrasa los ecosistemas en los últimos años. Al fuego se le considera como causante de la ruptura del "equilibrio con la Naturaleza", pero este proceso ayuda a preservar parte de la diversidad del planeta,...

Raúl Tapias y Luis Gil.
Adaptación reproductiva de las especies forestales al fuego (2000).

2 FACTORES DETERMINANTES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO EN LA EJECUCIÓN DE LAS QUEMAS

El conocimiento y análisis de los factores que influyen en el comportamiento del fuego es la base para la ejecución de las quemas.

Frente a la extinción de incendios, las quemas tienen la gran ventaja de que, dentro de un amplio espectro, se eligen las condiciones ambientales en que el fuego va a actuar en los montes: cuándo, dónde y en qué orden aparecerá. En cambio, estos factores en la extinción vienen impuestos por la situación y son desfavorables en muchas ocasiones; además, se debe trabajar a contrarreloj (Arévalo, 1968).

A la hora de plantear un tratamiento selvícola, el pilar fundamental es tener bien determinado el objetivo de gestión. Una vez elegido el fin, hay que estudiar las posibles intervenciones que pueden permitir la consecución de dicho objetivo mediante el fuego o de otra forma. En el caso de elegir la quema, asimismo, habrá que determinar los rangos de los factores ambientales que permitirán conseguirlo de un modo seguro.

Es posible influir directamente sobre el grupo de factores de los combustibles; se puede aumentar el porcentaje de materia muerta mediante corte, modificar estructuras, compactar la vegetación, construir líneas de control más anchas u otras opciones, pero son modificaciones económicamente caras y, por tanto, se usan lo mínimo indispensable.

El tiempo atmosférico es otro grupo de factores ambientales que estudiar junto con las dinámicas de humedad del combustible, y es el que más influye en el comportamiento del fuego. La elección de las condiciones meteorológicas que habrá en el momento de la quema resulta fundamental a la hora de realizar un tratamiento correcto. El análisis de la conformación del terreno y su influencia en la quema, por otro lado, deben condicionar la elección de las técnicas de encendido y conducción. Siempre hay que tener presente que estos factores influyen entre sí, de forma que se debe buscar una ponderación entre ellos para lograr el comportamiento y los efectos del fuego buscados.

Por todo lo anterior, la ejecución de quemas es un trabajo facultativo que necesita una formación teórica y capacidad de análisis del medio con el fin de lograr cumplir los objetivos perseguidos.

Fotografía 2.1. Los trabajos en extinción de incendios se hacen con el objetivo fijo del control del fuego, y en ocasiones se llevan a cabo en condiciones desfavorables y siempre trabajando contra el tiempo.

Zapadores forestales llegando a un incendio grande. La cabeza avanza con fuego de copas y hay prendidos por vuelos de pavesas a cientos de metros, como el de la imagen. La táctica está clara: contrafuego y quema de ensanche desde las zonas rasas.

A Gudiña (Orense/Ourense).

2.1. CONSIDERACIONES RESPECTO AL COMBUSTIBLE

El combustible es la biomasa que va a arder con el fuego. El combustible disponible es todo material que se encuentre en condiciones de quemarse en contraste con la vegetación total. La cantidad de combustible disponible depende de ciertas variables que interactúan entre sí, como características de la vegetación, disposición estructural y humedad de ésta, formas de avance de los frentes de llama, características del fuego (intensidad, tiempo de residencia, etc.) y meteorología previa y del momento de quema (Fernandes *et al.*, 2002).

Cada ecosistema posee unas propiedades diferentes y únicas ante la combustión de acuerdo con el aporte que cada individuo y población hace al conjunto sobre la base de sus atributos y situación. La vegetación define las propiedades del dosel arbóreo y del combustible superficial de cada rodal, y estas determinan el comportamiento del fuego en buena medida (Jain y Graham, 2004). Cada monte tiene una *inflamabilidad*, que es la facilidad para arder, y una *combustibilidad*, que es la capacidad de la vegetación para propagar el fuego, propias (Elvira y Hernando, 1989; Vélez, 1990b; Vélez, 1993; Hernando, 2000).

El combustible es un complejo dinámico, cambia constantemente. El crecimiento, la sucesión y el efecto del régimen global de renovaciones sobre el monte determinan en gran parte la susceptibilidad del ecosistema que va a arder o a ser quemado, así como la forma en que puede suceder. Por tanto, a la hora de planificar el manejo de la vegetación en la prevención de incendios, se debe considerar su variación temporal y abordar la gestión razonablemente.

En general, las formaciones vegetales pueden arder si tienen una o más de las siguientes características: presentan combustible suficiente, está distribuido de forma adecuada en el espacio, poseen bajo contenido de humedad en el follaje y tienen altos niveles de componentes volátiles (Bond y van Wilgen, 1996).

Fotografía 2.2. El comportamiento del fuego es distinto en función de las características de cada monte. En la imagen se observa un hayedo (*Fagus sylvatica*) a la izquierda y un robledal a la derecha (*Quercus petraea*); abajo, una repoblación de *Pinus sylvestris* y campos de cultivo. En caso de un hipotético incendio, el comportamiento típico del fuego en cada rodal, y sus consecuencias en la dinámica ecológica, pueden ser contrastados en cada predio.

Santurdejo (La Rioja).

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

Cada complejo combustible tiene unas características determinadas principalmente definidas por la composición específica del monte. Por su parte, esta composición influye, en mayor o menor medida, en otros atributos importantes del combustible, como constitución química, estructura y ciclos de humedad.

Por otro lado, cada especie de planta tiene unos atributos frente al fuego que la hacen más o menos proclive a arder y propagar al fuego; es decir, a ser más o menos piroprona. Tener unas sustancias químicas particulares, estructura y forma típicas, tasas de descomposición y acumulación de biomasa distintas, patrones de distribución espacial determinados y humedades diferentes en sus partes vivas en cada época del ciclo vegetativo confieren a cada especie una inflamabilidad y combustibilidad características. Si bien no hay organismo totalmente incombustible, existen notables diferencias en la manera de quemarse y transmitir el fuego en cada taxón e, inclusive, entre las distintas poblaciones o individuos. Desde el punto de vista del combustible, el monte es un complejo resultante de la agregación de los organismos que lo forman y sus restos. La composición específica y la estructura demográfica y espacial de las poblaciones que conforman el ecosistema condicionan el modo en que dicho monte puede arder.

La influencia de la composición florística del monte se hace visible observando ejemplos contrastados:

- Las especies arbóreas de temperamento tolerante usualmente forman bosques menos susceptibles a quemarse o, en caso contrario, arden con menos intensidad que muchos bosques de especies colonizadoras. Por ejemplo, Vega (2000) contrasta el régimen de incendios en dos rodales vecinos dominados respectivamente por *Abies pinsapo* y *Pinus pinaster*, y muestra que los fuegos típicos del pinsapar fueron más irregulares, de menor intensidad y de una frecuencia ligeramente más baja que en el pinar debido al ambiente más umbrófilo que el abeto genera y a su preferencia por suelos rocosos probablemente debida a cierta búsqueda de refugios frente al fuego.
- Los bosques galería, dominados por especies freatófilas, son la muestra clásica de las diferencias en cuanto al comportamiento del fuego entre rodales con composiciones florísticas contrastadas. Los bosques de ribera suelen ser considerados como zonas con atributos cortafuegos, y en ellos hay mayor probabilidad de éxito en las extinciones.
- Los montes de matorral pirófito, por su parte, también poseen ciertos matices frente al fuego según su composición. Así, las landas de brezo con abundancia de *Erica arborea* arden con facilidad en cualquier época del año; en cambio, los jarales de *Cistus ladanifer* propagan mal el fuego en condiciones de humedad invernal (Martínez, 2001) a pesar de ser una especie con gran cantidad de esencias combustibles y que arde decididamente en el seco ambiente del estío.

Por otra parte, es importante señalar que, como tendencia, se observa que un taxón es más frágil frente al fuego cuanto más tolerante con la concurrencia sea (ICONA, 1981a). Esta siempre ha sido una limitación evidente para las poblaciones de algunas especies bajo regímenes de incendios frecuentes.

Algunos aspectos importantes del combustible se desarrollan seguidamente, como:

a) Composición química de los vegetales.

b) Características estructurales.

c) Humedad.

Fotografía 2.3. Algunas formaciones forestales dependen del fuego como factor esencial para su perpetuación. Buena parte de los montes de matorral ibéricos están relacionados con regímenes de fuego activos y con altas frecuencias en la repetición de eventos. Las especies dominantes en estos ecosistemas suelen ser pirófitas y, lógicamente, tienden a presentar estructuras piropronas; es decir, arden y transmiten el fuego con facilidad a los individuos de su derredor.

En la imagen se observa una landa de brezo en el inicio de la fase de decrepitud: las cepas se encuentran faltas de vigor y con parte de la estructura aérea necrosada. Los pimpollos de *Pinus sylvestris* que están iniciando una tímida colonización arbórea confiesan que el rodal no ha ardido en los últimos 15 o 20 años. La ocurrencia de un incendio o quema aquí facilitaría la perpetuación del matorral.

Rosinos de la Requejada (Zamora).

Fotografía 2.4. Los distintos tipos de montes tienen una susceptibilidad contrastada a sufrir incendios en función de su composición, estructura y región donde se encuentren.

En la imagen se observa el borde de un bosque ecuatorial con un notable foco de combustión como vecino. Esta gran hoguera produce necrosis en la vegetación más cercana, pero el fuego no se propaga por el bosque ni siquiera en las estaciones secas. El tipo de bosque tropical, una estructura trabada pero nemoral, y el ámbito climático facilitan que la susceptibilidad a la propagación sea bajísima.

Mbubin (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

Fotografía 2.5. Si bien hay bosques más nemorales o frescos en los que el fuego suele propagarse peor, determinados episodios meteorológicos pueden aumentar su susceptibilidad temporalmente. El clima mediterráneo ibérico se caracteriza por una gran irregularidad interanual (Costa, 2006) en comparación con el mismo clima de otras regiones del mundo. Por eso, es relativamente habitual que se den condiciones idóneas para el suceso de incendios en épocas extraordinarias.

Vegetación natural ripícola que ha sufrido un incendio en pleno mes de mayo durante una primavera especialmente seca.

Monzón (Huesca).

2.1.1.1. Composición química: poder calorífico y volatilidad

El poder calorífico y la volatilidad de las sustancias son dos aspectos afines que repercuten en la inflamabilidad y combustibilidad de las plantas y sus restos.

El poder calorífico indica la energía contenida en el combustible, aunque es un factor de menor importancia relativa en la inflamabilidad que la composición de la masa, su estructura y humedad (Bond y van Wilgen, 1996). Los rangos de poder calorífico no varían mucho entre las diferentes especies y tejidos. Según datos de Ubysz y Valette (2010) y Vélez (2000b), la mayor parte de la energía corresponde a la celulosa y la hemicelulosa, que está entre 18,6 y 23,2 kJ/g, aunque la lignina alcanza casi los 25,6 kJ/g. Usualmente, la energía emitida en los fuegos oscila entre los 18,5 kJ/g de las hojas de roble y 24 kJ/g de la pinocha de pino con follaje de brezo. La diferencia de capacidad calorífica bruta de cada especie y tejido viene dada principalmente por la presencia de elementos volátiles combustibles.

El poder calorífico de los combustibles influye en el sostenimiento de la combustión y en su intensidad, aunque esta también se ve condicionada por la compactación de la vegetación, densidad de los materiales y humedad. La compactación interviene en la relación con el comburente y en transmisión de la llama de un elemento a otro. La densidad de los combustibles, por su parte, influye lo rápido que los combustibles alcanzan la temperatura de ignición, en la velocidad de quema de los elementos y en la liberación de la energía. De ese modo, un elemento contiene más energía cuanto más denso sea, pero tenderá a necesitar más energía hasta llegar a arder y lo hará con mayor lentitud. La "capacidad calórica" es la cantidad de calor que debe recibir un cuerpo para elevar su temperatura, y tiene íntima relación con la densidad. Desde el punto de vista del combustible la capacidad calórica es significativa porque influye en la velocidad que un elemento alcanza la temperatura de ignición (Nájera, 2015): los materiales densos necesitan incorporar mucha energía para llegar a incendiarse, en cambio los livianos con poca energía que reciban pueden arder de forma autosostenida. En este sentido, se observa que los materiales ligeros son envueltos por el fuego velozmente y que contienen menos energía por unidad de volumen que los más densos, aunque suelen emitirla con más rapidez, potencia o intensidad. Por otra parte, el poder calorífico es un factor antagónico de la humedad del combustible, ya que se ve proporcionalmente reducido a la energía disipada durante el cambio de estado del agua.

Por otro lado, la volatilidad es la capacidad que ciertos componentes vegetales tienen para pasar al estado gaseoso, y muchos de ellos son inflamables (Wright y Bailey, 1982). Generalmente, la presencia de sustancias volátiles en el aire hace que las intensidades de las llamas sean mayores además de incrementar la energía liberada. Por el contrario, ciertos componentes rebajan la combustibilidad, como las concentraciones elevadas de algunos minerales (Whelan, 1995; Vélez, 2000a). Entre la flora ibérica, por ejemplo, géneros halófilos como *Atriplex* o T*amarix* arden mal por su alto contenido en sales (Vélez, 1990b).

En función de esta cualidad, los combustibles se pueden dividir en dos grandes tipos: volátiles y no volátiles.

Los combustibles volátiles son materiales vegetales que contienen ceras, resinas, aceites, terpenos, fenoles o grasas; así, muchas de las formaciones mediterráneas de labiadas, cistáceas, leguminosas, coníferas o quercíneas esclerófilas, entre otras, se pueden clasificar en esta categoría. Las especies con más volátiles en general tienen tendencias pirófitas, colonizadoras y heliófilas, y son consideradas aromáticas en muchos casos. Usualmente, la mayor presencia de esencias vegetales se relaciona con adaptaciones xerófilas, de resistencia a la predación y/o de estrategias de inhibición química por alelopatía. La presencia de esencias hace, además, que los combustibles se descompongan más lentamente (San Miguel *et al.*, 2008) facilitando la acumulación de materia muerta y, por ende, redundando en la susceptibilidad del monte al fuego. Combustibles no volátiles son, por ejemplo, las herbáceas y los restos leñosos sin esencias.

La ya clásica relación de especies ibéricas según inflamabilidad de Elvira y Hernando (1989) presenta cierta correspondencia con el nivel de esencias típicas de cada especie (véase el **Anexo 1**).

En general, los materiales muertos poseen menor poder calorífico que los vivos porque van perdiendo buena parte de las esencias que atesoran a lo largo del tiempo (Vélez, 2000b), aunque el potencial energético neto de la vegetación verde es menor al estar siempre hidratada.

Los combustibles no volátiles son más seguros de quemar, mientras que los volátiles pueden generar problemas en ocasiones, como fuegos muy rápidos o intensos en los días de calor; por eso, deben quemarse con mayor cautela.

Fotografías 2.6. (arriba) y 2.7. (abajo). Las sustancias volátiles son comunes en la vegetación mediterránea. Los pinos negrales (*Pinus pinaster*) resinados tienen facilidad para entorcharse en los incendios, ya que las resinas son muy combustibles. Entre los matorrales, la jara pringosa (*Cistus ladanifer*) destaca por sus vapores inflamables en el verano.

Arriba: Secreción de miera en pino negral. Navas de Oro (Segovia)
Abajo: Jara pringosa iniciando la floración. Piedralaves (Ávila).

2.1.1.2. Características estructurales

La manera en que el combustible se dispone en el espacio y su cantidad, forma y tamaño influyen en el desarrollo del fuego y hacen al monte más o menos susceptible ante el incendio. Este es un aspecto bien conocido respecto al comportamiento de los frentes de llamas y sus efectos en el ecosistema según qué estratos ardan o sean afectados por las altas temperaturas.

Como se ha mencionado antes, buena parte de las características del combustible dependen de la composición específica del monte. Sin embargo, la estructura de la vegetación también interviene en la susceptibilidad al fuego; por ejemplo:

- Las diferencias de combustibilidad entre rodales de las distintas especies arbóreas son pequeñas antes de que culmine la fase de expulsión del sotobosque intolerante en los bosques. Esto se debe a que la propagación del fuego está regida por la influencia del sotobosque hasta ese momento (Sevilla, 2008 y 2013); lo mismo sucede en montes en fase de prebosque o en bosques adultos con espesuras defectivas.
- La estructura de cada forma de masa condiciona la propagación y efectos del fuego. Por ejemplo, existen fuertes contrastes en el modo de arder entre rodales adultos regulares e irregulares dominados por la misma especie.

Debido a la importancia de la estructura, se justifica que la prevención de incendios esté más focalizada en una aproximación estructural a los combustibles que específica. La disposición y cantidad de los vegetales, junto con la humedad de los combustibles muertos, son los factores más inmediatos en la propagación e intensidad de los fuegos en condiciones ambientales desfavorables, que es cuando los incendios problemáticos suelen propagarse.

La adecuada determinación de los combustibles, sobre todo su cantidad y disponibilidad, es importante para ejecutar quemas. La explicación de las distintas metodologías de inventario desborda el ámbito de este libro, pero se recomienda la revisión de la bibliografía disponible, destacando el trabajo de Morfín-Ríos *et al.* (2012) que es una buena compilación de métodos para la cuantificación y caracterización de los combustibles.

A continuación, se desarrollan los aspectos clásicos de la estructura de los combustibles:

a) Carga.

b) Disposición horizontal.

c) Tamaño, forma y tiempo de retardo.

d) Compactación y estratificación vertical.

2.1.1.2.1. Carga

La carga es la cantidad de biomasa en un monte, y está determinada por los procesos de crecimiento vegetal y acumulación de combustible. A su vez, estos dependen de la productividad vegetal y de los ritmos de descomposición y de explotación por otros organismos. Este concepto se puede referir a la cantidad total o al combustible disponible, y suele expresarse como peso seco (Ruiz, 2004). No es habitual cuantificar también la materia subterránea.

La carga es un factor clave dentro de la dinámica ecológica: a mayor cantidad de combustible disponible, más alta es la energía liberada en caso de fuego y mayor la posible alteración del ecosistema (Whelan, 1995). La cantidad de material muerto que se acumula en los montes debido a bajas tasas de descomposición es un indicador tentativo de la importancia relativa del agente fuego en la cinética del ecosistema (Bond y van Wilgen, 1996).

En las quemas, la carga de combustible influye en la intensidad del fuego y en la efectividad del tratamiento. Cargas de combustible altas facilitan la propagación del fuego, pero las dificultades de manejo de los frentes de llama y los riesgos de alteraciones negativas son mayores a medida que los acopios de combustible se incrementan (Vega *et al.*, 2001).

La disposición de los vegetales y sus restos influye sobre la carga, ya que puede haber combustible disponible que no llegue arder debido al lugar en que se encuentra o por un determinado comportamiento del fuego.

Es importante conocer la proporción total de combustible muerto y su disposición, ya que influye mucho en la severidad del fuego si está medianamente seco, ya arda en la fase de combustión de llamas o de ascuas. Por ejemplo, Ryan (2000) advierte que hay un riesgo severo de anillado basal de los árboles en las quemas bajo cubierta si la capa de mantillo tiene más de 8 centímetros y una humedad inferior al 30 %.

Los rangos de carga de combustible más habituales se muestran en la **tabla 2.1.**

Para valorar la carga, así como otras características estructurales del combustible, se pueden utilizar desde los inventarios destructivos —método laborioso y caro, pero exacto— hasta el uso de cuadros de estimación de carácter empírico, como los ejemplos mostrados en las **tablas 2.2.** y **2.3.**, que es lo más práctico y recomendable para los trabajos de quemas convencionales de gestión (Vega *et al.*, 2001). También es posible usar para objetivos de manejo toscos los datos de los modelos de combustible prefiriéndose los desarrollados específicamente para la región por su mejor ajuste a esa realidad particular.

Tabla 2.1. Intervalos de carga de combustible genéricos (Vélez, 2000b; Martínez, 2001)

Tipo de vegetación	Combustible total (t/ha)	Relación del combustible disponible que puede ser consumido (%)
Herbazales	2 - 10	Hasta 100 %
Matorrales	10 - 50	5 - 95 %
Restos selvícolas	50 - 200	10 - 70 %
Bosques	200 - 1500	5 - 25 %

Tabla 2.2. Carga de combustible total para matorrales ibéricos de tendencia atlántica (t/ha). (Fernandes *et al.*, 2002)

Altura (m)	Fracción cabida cubierta (%)										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0,2	3	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6
0,3	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	9
0,4	6	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
0,5	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	15
0,6	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	17
0,7	11	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20
0,8	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23
0,9	13	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25
1	15	16	17	19	20	21	23	24	25	27	28
1,2	17	19	21	22	24	25	27	28	30	31	33
1,4	20	22	24	25	27	29	31	33	34	36	38
1,6	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
1,8	25	28	30	32	34	37	39	41	43	45	48
2	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	52
2,5	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64
3	40	44	48	51	55	58	62	65	69	72	76

Los valores por debajo de la línea son montes con susceptibilidad al incendio en los que sería interesante intervenir para reducir la carga. La intensidad del color gradúa la prioridad.

Tabla 2.3. Carga de combustible fino (Ø < 6 mm) en matorrales ibéricos de tendencia atlántica en función de la carga total (véase tabla 2.2.) (t/ha). (Fernandes *et al.*, 2002)

Total	Fino	Total	Fino	Total	Fino	Total	Fino	Total	Fino	Total	Fino
		11	9	20	14	29	20	38	25	47	30
		12	9	21	15	30	20	39	26	48	30
4	4	13	10	22	16	31	21	40	26	49	31
5	4	14	11	23	16	32	22	41	27	50	32
6	5	15	11	24	17	33	22	42	27	55	34
7	6	16	12	25	17	34	23	43	28	60	37
8	7	17	13	26	18	35	23	44	28	65	39
9	7	18	13	27	19	36	24	45	29	70	42
10	8	19	14	28	19	37	24	46	29	75	45

2.1.1.2.2. Disposición horizontal

La disposición horizontal es el grado de continuidad y homogeneidad del combustible en un mismo estrato. Influye sobre el patrón y velocidad de propagación de los frentes de llamas (Whelan, 1995), y es un factor estructural determinante para conseguir la propagación del fuego en las quemas; sobre todo, en aquellas épocas en que la humedad del combustible es mayor.

En la ejecución de las quemas, usualmente se busca continuidad en el estrato superficial. Este es el que se suele querer quemar en los tratamientos con fuego, ya sea un herbazal, matorral, hojarasca o sotobosque bajo cubierta, o combinaciones de los anteriores.

La discontinuidad puede ser limitante en ciertos casos para ejecutar quemas; por ejemplo, en montes de matorral muy pastoreados, en los que la vegetación aparece separada por senderos del ganado (Vega *et al.*, 2001). En estas situaciones, la ejecución del tratamiento será más laboriosa y cara, y las parcelas quedarán rematadas de un modo más heterogéneo.

La quema se realiza mejor en condiciones de mayor sequedad o viento fuerte para solventar el inconveniente de la falta de continuidad, pero con el riesgo de que los impactos puedan ser más severos (Vega *et al.*, 2001). En estos casos, es recomendable suspender el pastoreo en los predios que lo tengan unos meses antes de la quema de modo que pueda haber mayor continuidad de herbáceas y que la conducción del fuego sea más sencilla.

Fotografía 2.8. La discontinuidad horizontal del combustible hace que las quemas sean más laboriosas, ya que obligan a aplicar fuego a cada golpe de vegetación modificando los patrones de encendido habituales.

Quema de matorral para renovación de pastadero en la que no hay continuidad entre los golpes de matorral y obliga a un punteo intenso.

Pedrosa de Valdeporres (Burgos).

De cualquier modo, las técnicas de ignición deberán adaptarse al grado de discontinuidad horizontal del combustible (aspecto que se desarrolla en el capítulo 3), siendo la quema por puntos útil en aquellas situaciones en que la disposición del combustible sea marcadamente fragmentada.

2.1.1.2.3. Tamaño, forma y tiempo de retardo.

El tamaño y la forma de los materiales vegetales influyen en el desarrollo del fuego porque condicionan la relación área/volumen de los elementos combustibles. Estos parámetros son determinantes en la facilidad y velocidad de quema: rigen la demora en la pérdida de humedad, en la recepción de calor radiado en el fuego, regulan la superficie de contacto con el oxígeno y los gases de la combustión, influyen en las probabilidades de emisión de pavesas incandescentes, etc.

La influencia de los combustibles sobre el comportamiento del fuego depende del calibre y forma de estos. Así, los combustibles finos dominan la propagación y las

características de la llama. Los materiales más gruesos, por el contrario, contribuyen poco a la propagación del frente de llamas incluso cuando están envueltos en la combustión, aunque tienen un efecto significativo sobre la severidad del fuego.

La forma influye en los combustibles porque modifica la relación área/volumen para elementos del mismo tamaño. Por ejemplo una hoja de una caducifolia tiene más superficie que un tallito del mismo volumen. Además la forma de los combustibles finos tiene mucha importancia en la emisión de pavesas incandescentes (Nájera, 2015).

Los grupos de tamaño de los combustibles están normalizados y se relacionan íntimamente con la velocidad de secado y el lugar en que suelen arder respecto del frente de llamas debido a las relaciones área/volumen del elemento vegetal (Ubysz y Valette, 2010). Los combustibles más finos suelen sostener a los frentes de llamas, mientras que los gruesos se consumen tras el avance del borde de fuego. De forma paralela, el tamaño de los combustibles se define en buen grado por sus ritmos de humectación y secado. Aunque este tema tiene que ver con la humedad del combustible, que se desarrolla posteriormente, se realiza una introducción al mismo en relación con el volumen de los combustibles.

El tiempo de retardo es el lapso que un combustible requiere para estar en equilibrio con la humedad atmosférica después de ser humedecido. Byram (1963; citado en Bond y van Wilgen) definió técnicamente este concepto como el período necesario para que el combustible alcance el 63 % de la diferencia entre el grado de humedad inicial y la humedad de equilibrio en una atmósfera constante de 27 ºC y 20 % de humedad relativa. Representa el tiempo que un combustible puede tardar en estar en condiciones de arder tras mojarse y se usa para clasificar a los vegetales por su rapidez de respuesta tras la humectación (Fernandes *et al.*, 2002). Este parámetro presenta una fuerte correlación con la dimensión de los elementos vegetales y se ha tenido en cuenta para conformar los modelos de combustibles "de Rothermel".

Fotografía 2.9. Los combustibles pesados secos necesitan precipitaciones copiosas y persistentes para llegar a humectarse en buen grado. En caso de mojarse lo suficiente, pueden tardar semanas para poder arder.

Cuando se queman, suelen hacerlo en la fase de combustión de ascuas, tras una relativamente breve fase de combustión de gases. Son fuegos que pueden permanecer activos por largo tiempo. Trozas secas en combustión de ascuas.

Mbubuin (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

Fotografía 2.10. Los combustibles medianos determinan la severidad del evento en muchas ocasiones, ya que se libera mucha energía, que afecta intensamente a las plantas vivas y al suelo si se consumen. Que lleguen a arder o no depende de su grado de humedad.

Acumulación de restos de ramaje en descomposición. Estos se encuentran ahí porque el lugar ha sido usado como un apiladero de troncos en una corta con saca de árboles enteros.

Navaleno (Soria).

Tabla 2.4. Ejemplos del cambio de la relación área/volumen en distintos tipos de combustibles (Nájera, 2015)

Tipo de combustible	Relación área/volumen (m^2/m^3)
Cubo de 1x1x1 m	6
Ramaje de 13 mm de grosor	308
Pinocha	5.600
Herbazal	6.600

"Combustibles rápidos" son los que alcanzan la humedad de equilibrio en poco tiempo tras las precipitaciones. Son mayoritariamente combustibles muertos de pequeño diámetro que representan una proporción alta del combustible disponible. En contraposición, los "combustibles lentos" son los elementos muertos de mayor diámetro que conservan la humedad durante largos períodos y contribuyen más lentamente al combustible disponible.

La clasificación de Fosberg agrupa a los combustibles por el tiempo de retardo y sus tamaños típicos. Se recoge en la **tabla 2.5.**

Tabla 2.5. Combustibles muertos según el tiempo de retardo (Fosberg, 1970; citado en Ruiz, 2004)

Nombre de la clase	Diámetro o grosor	Tipo de combustible
1 hora	< 6 mm	Hojarasca, pinocha, ramillas.
10 horas	6-25 mm	Ramas, tallos secos, corteza.
100 horas	25-75 mm	Ramas, tallos secos.
1.000 horas	> 75 mm	Fustes, trozas, ramas secas.

El nombre de cada clase de combustible según el tiempo de retardo es solo un indicativo del orden de magnitud del período de equilibrio con la humedad relativa y de su tamaño (Vélez, 2000b). Por ejemplo, el combustible fino alcanza el 80 % de la humedad de equilibrio con el ambiente en una hora o menos de exposición después de llover. Las leñas de alrededor de 5 cm de diámetro requieren una exposición mayor que cuatro días con humedad relativa y temperatura constante para alcanzar dicho equilibrio, y semanas o meses para secarse si se han mojado hasta capas internas en el caso de trozas más gruesas.

El tiempo de retardo para cada clase de combustible se ve condicionado por la situación del estrato de la estructura vegetal en que el material concreto se encuentre, por su compactación y su exposición, así como por las condiciones atmosféricas que le influyan.

El combustible fino muerto (CFM), con tiempos de retardo inferiores a una hora, es el más determinante en el desarrollo de los fuegos. Por definición, se trata de elementos vegetales sin vida de diámetros inferiores a 6 mm que arden de forma continua en el frente de propagación y condicionan la velocidad del fuego y las propiedades de la llama. Esta categoría se puede desdoblar en mayores y menores de 2 mm, llamándose finos y muy finos respectivamente. Tal subdivisión obedece a que los modelos físicos de propagación del fuego consideran a los combustibles muy finos como principales responsables de la fase de combustión de las llamas (véase, por ejemplo, Di Blasi, 1994). De hecho, se observa que los combustibles muy finos son los únicos que arden principalmente en quemas prescritas de baja intensidad. Por otra parte, conviene usar esta subcategoría a la hora de trabajar con vegetación mediterránea (Ubysz y Valette, 2010).

Fotografía 2.11. Los combustibles finos y muertos dominan la propagación. Los fuegos en matorral o pastizales pueden llegar a ser muy virulentos. Frente de fuego en un complejo de combustibles finos, vivos y muertos compuesto por gramíneas, retamas y brezos en un monte quemado apenas cuatro o cinco años antes.

Incendio en Cesures (Orense/Ourense).

Fotografía 2.12. Los combustibles gruesos suelen ser más densos. Arden principalmente en la fase de ascuas: producen gran energía en el punto en que se consumen, pero la transmisión de calor a su alrededor es relativamente baja. En comparación, los combustibles finos son normalmente menos densos y emiten grandes llamaradas.

Ataque directo en un incendio de un soto de ribera.
Villa del Prado (Madrid).

Los combustibles finos y muertos son restos de yerbas, hojas, acículas y ramillos que se inflaman con facilidad y arden rápidamente cuando están secos (Fernandes *et al.*, 2002). La cantidad de combustibles finos y muertos podría condicionar el régimen de incendios; por ejemplo, montes con una buena carga de herbáceas pueden tener incendios recurrentes.

La aplicación de las prescripciones de quema puede tener mayor flexibilidad cuanto mayor sea la cantidad de material fino en el combustible (Wright y Bailey, 1982); es decir, mayores opciones de tratamiento con fuego habrá en ese lugar: diferentes maneras de prendido, mayor amplitud en cuanto a las variables atmosféricas para la ejecución, etc.

El material grueso disponible suele permanecer ardiendo tras el paso del frente de llamas. Las concentraciones de este en un área determinada hacen que el tiempo de residencia del fuego, aunque sea en forma de ascuas, se dilate y la severidad del evento llegue a ser grande y proporcional a la energía liberada.

La determinación adecuada de la carga de cada tipo de combustible disponible por tamaño es importante para la ejecución de algunas quemas bajo arbolado.

En última instancia, el efecto del tamaño y la forma está modulado por la densidad, distribución espacial y compactación de los combustibles.

2.1.1.2.4. Compactación y estratificación vertical

La estructura de la vegetación influye en la propagación vertical del fuego; sobre todo, en la velocidad de avance y la regulación de los estratos que arden o se ven afectados por las altas temperaturas.

La compactación es una medida del volumen aparente que influye en la circulación de gases por el interior de la vegetación y en la exposición de los elementos a la radiación y a la conducción (Vega *et al.*, 2001).

Existe un punto óptimo de compactación para cada complejo de vegetación respecto de la propagación que contempla que sea lo suficientemente densa y homogénea para que tenga continuidad pero mantenga los ahuecamientos para una circulación de gases suficiente.

El ahuecamiento excesivo produce una ruptura en la continuidad que detiene a la propagación. La compactación excesiva, por el contrario, facilita la propagación por continuidad, pero puede generar fuegos lentos por limitaciones de comburente; al menos, en una primera fase de la combustión. La compactación es un factor importante del que pueden derivar aspectos interesantes relacionados con el comportamiento del fuego, que son paulatinamente desvelados gracias a las cada vez ma-

Fotografía 2.13. Los combustibles superficiales son a veces profusos y continuos. Por ejemplo, en la imagen se observa un estrato superficial dominado por material vivo y muerto de *Erica arborea* con hojarascas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* bajo un latizal del pino. El estrato conductor en caso de fuego sería este, y es fácil que el evento matara a gran parte del arbolado debido a sus características.

Covaleda (Soria).

Fotografía 2.14. En caso de fuego, la continuidad del combustible vertical facilita los entorchamientos y las propagaciones por las copas.

En la imagen aparece un lentisco (*Pistacea lentiscus*), que forma un sotobosque tupido, y la zarzaparrilla (*Smalix aspera*), que trepa sobre el lentisco y se engancha de las copas de *Pinus halepensis* formando una arquitectura combustible continua en tres dimensiones. El crecimiento vegetal bajo el dosel se ve favorecido en este monte por la captación de la humedad de la brisa marina.

Devessa de El Saler, Valencia/València (Valencia/València).

yores capacidades de análisis. Dupuy (2009) resalta la significación de las densidades del follaje en la propagación debido a que se observan contrastes sustanciales entre diferentes especies.

En general, las formaciones relativamente densas verticalmente sufren fuegos severos que coronan la estructura, y su propagación suele ser más rápida e intensa, aunque otros factores también influyen en esto, como la disposición horizontal, el reparto de la carga en el espacio y la humedad. Las estructuras laxas presentan discontinuidades —sobre todo, entre los estratos superiores en bosques— que pueden detener la ascensión de las llamas.

Una medida indirecta de la compactación es la relación carga/altura del combustible: cuanto mayor sea, mayor también es la compactación.

Cada estrato vertical de vegetación tiene un tamaño medio de elementos, una compactación distinta, una composición específica propia, una cantidad y estado del combustible muerto y una humedad, así como un diferente ritmo de cambio de esta. La compactación y proporción de materia muerta aumentan en los estratos de combustibles según su cercanía al suelo:

- **Mantillo y hojarasca:** estrato horizontal que cubre el suelo, más o menos compacto, compuesto por elementos vegetales en descomposición. Puede estar acompañado por raíces, tocones y ramas caídas. El mantillo arde usualmente con forma de ascuas (Martínez, 2001).
- **Combustible superficial:** localizado encima del mantillo y la hojarasca, constituido por hierbas, matas, arbustos y otros elementos caídos de estratos superio-

res (Fernandes *et al.*, 2002). Es una combinación de material vivo y muerto principalmente ordenado de modo vertical. Se seca mucho más rápidamente que el suelo vegetal y arde de una forma más virulenta, y con velocidades de propagación y longitudes de llama significativamente mayores.

- **Combustible elevado:** vegetación viva o muerta situada por encima de los 1,5 m sobre el nivel del suelo (Martínez, 2001). La facilidad para arder de estos estratos elevados se encuentra directamente relacionada con su contenido en materia muerta, humedad del combustible, dimensión de los elementos y continuidad vertical y horizontal, así como la de los estratos inferiores. Está formado por matorrales, arbustos y árboles vivos o muertos pudiendo tener una complejidad estructural diferente según el número de estratos presentes, su separación y composición.

2.1.1.3. Humedad

La humedad del combustible es la cantidad de agua presente en la vegetación disponible para arder en relación con su peso seco. Es, probablemente, la variable de los combustibles más importante respecto del comportamiento y efectos del fuego (Rego *et al.*, 2010), y la influencia de la humedad del combustible muerto resulta capital (Fernandes *et al.*, 2002). Tal es la importancia de este último parámetro que, en buena medida, la consecución de determinados objetivos de quema depende de la capacidad para estimar su valor (Fernandes, 2010). Ha sido un aspecto muy estudiado debido a su significación (véase Ruiz, 2004).

El contenido de humedad del combustible depende de su condición: vivo o muerto con diferentes grados de descomposición, dimensión, compactación y localización. Afecta a la facilidad de ignición y sustentación de la combustión, a la velocidad de avance del fuego, intensidad y características del humo, consumo de combustible y a los daños producidos en la cobertura arbórea si la hubiere (Whelan, 1995). La humedad del combustible muerto es un reflejo de las condiciones meteorológicas pasadas y presentes, y responde a las variaciones diarias y estacionales del tiempo atmosférico de forma diferente dependiendo de su posición y grado de descomposición. La fenología, el estado vegetativo, las reservas de agua de cada planta y la capacidad de acopio de agua útil del suelo también influyen en la humedad del combustible vivo (Edmonds *et al.*, 1999).

Tabla 2.6. Hidratación según estado de desarrollo de la vegetación (Albini, 1976; Rothermel, 1983)

Tipo de vegetación	Contenido en agua (%)
Follaje tierno, plantas anuales desarrollándose al principio del ciclo de crecimiento.	300
Follaje madurando, todavía en desarrollo y con turgencia plena.	200
Follaje maduro, nuevo crecimiento completo y comparable al follaje perenne y antiguo.	100
Comienzo del reposo vegetativo y del cambio de color, algunas hojas que pueden haber caído del tallo.	50
Completamente seco.	< 30 combustible muerto

En la **tabla 2.6.** se muestran valores de hidratación de la vegetación según su estado metabólico.

En el momento en que un fuego se desarrolla, puede haber cierta humedad en los montes debida a precipitaciones anteriores. Se trata de la humedad "precedente" (Keeley *et al.*, 2009; Grillo *et al.*, 2009), que es la que influye sobre el desarrollo de la combustión y sus efectos inmediatos.

Fotografía 2.15. Los combustibles finos, como el brezal (*Erica ciliaris* bajo cubierta de *Pinus pinaster*) que se está mojando en la imagen, tienen un tiempo de retardo o de secado breve. No obstante, las capas inferiores de esa vegetación, formadas por combustible fino muerto pueden conservar la humedad durante más tiempo si se humedecen bien al estar protegidas del sol y el aire. Esto permite que los combustibles aéreos superficiales ardan adecuadamente en las quemas y que el mantillo se vea menos afectado si se elige bien el momento del tratamiento tras precipitaciones copiosas.

Zapadora forestal en punta de lanza, en un entrenamiento rutinario.

Laza (Orense/Ourense).

Fotografía 2.16. La humedad es un parámetro clave que puede permitir, o no, las combustiones; en caso de hacerlo, pasa a ser un factor secundario. En condiciones de humedad altas del combustible, las técnicas de conducción del fuego influyen en la posibilidad de quema. En la imagen se observa a un frente avanzando vigorosamente a favor y haciendo un presecado efectivo de la vegetación. Probablemente, esta quema no se hubiera podido efectuar el mismo día con fuegos en contra o de flanco.

Quema de renovación de pastadero. Las Machorras (Burgos).

Suele haber un gradiente vertical de humedad en las formaciones vegetales. En bosques relativamente densos, en los que ha habido precipitaciones en las jornadas previas, el contenido de humedad de la vegetación disminuye con la altura y es menor en el dosel arbóreo que en el suelo. En el mismo sentido, la humedad de la hojarasca y del mantillo suele aumentar con la profundidad (Wade y Lunsford, 1989; Fernandes *et al.*, 2002) salvo en períodos dilatados sin lluvia o con bajas precipitaciones, en los que el agua apenas llega a infiltrarse.

La humedad condiciona la combustión: será necesario más calor para conseguir la temperatura de ignición cuanto más hidratada esté la vegetación. Esta humedad reduce la velocidad y eficiencia de la quema una vez iniciada la combustión. Esto se debe a que el vapor de agua compite por el espacio con el oxígeno y hace que este se mezcle peor con los gases volátiles. Además, la transmisión de calor se ve entorpecida, ya que el agua absorbe más energía para realizar el cambio de estado. Incluso puede llegar a alcanzarse la humedad de extinción —aquella con la que el fuego no se autosustenta (Fernandes *et al.*, 2002)—, que es del orden del 24 % en tejidos leñosos (Vélez, 2000b).

Normalmente, la humedad del combustible es un parámetro de menor importancia en la propagación del fuego una vez que este ha prendido en comparación con otros factores, como la dirección y fuerza del viento. Esto obedece a que se irradia mucha energía en algunas combustiones, desprendiéndose cantidades grandes de calor que realizan un eficiente presecado de la vegetación. A continuación, este combustible arde con facilidad, de forma que la humedad previa resulta alterada por el propio fuego. Lógicamente, tales situaciones hacen que la importancia de la humedad del combustible disminuya después de lograda la combustión autosustentada. Es decir, la humedad del combustible es un parámetro clave que permite, o no, las combustiones. Si las posibilita, pasa a ser un factor de importancia menor en la propagación en combustibles continuos (Vega *el al.,* 2001).

Este efecto umbral de la humedad se observa a escala grosera en las estadísticas de incendios: las superficies totales quemadas en los años secos son normalmente mayores que en los años húmedos por el comportamiento más intenso del fuego, que dificulta la extinción (Pausas, 2012).

2.1.1.3.1. Determinación de humedades y comportamiento del fuego

La evaluación del contenido de humedad del combustible es crucial para la ejecución de quemas; especialmente, del combustible fino y muerto, que es el vector de propagación del fuego. Los combustibles finos más determinantes en la combustión usualmente son la hojarasca y otros del estrato superficial del monte. También es importante estimar la humedad del mantillo y la del horizonte superior del suelo, porque condicionan el impacto del fuego sobre el perfil edáfico y las estructuras subterráneas de la vegetación (Fernandes *et al.*, 2002). La relevancia de la humedad de los otros combustibles para la quema, como los leñosos muertos superficiales y de la vegetación viva, depende del tipo de monte y objetivos del tratamiento.

Ruiz (2004) indica que la humedad se puede estimar mediante métodos directos o indirectos. Las evaluaciones directas de la humedad del combustible se hacen recogiendo, secando y pesando muestras o mediante análisis químicos. Ubysz y Valette (2010) exponen que el secado forzado del combustible no debe hacerse a temperaturas superiores a 60 ºC para evitar la volatilización de ciertos compuestos y otros problemas, y que el secado hasta masa constante puede llevar incluso 24 horas según el tipo de combustible. Las técnicas de pesaje o químicas no son operativas en los trabajos habituales de gestión, por lo que se recomienda usar otros métodos estimativos, como tablas o ecuaciones empíricas. Estas son fáciles de usar, aunque usualmente inexactas (Wade y Lunsford, 1989) debido en parte a la heterogeneidad de los restos vegetales.

Existen diversas referencias bibliográficas que ayudan a estimar la humedad, y habitualmente se emplean las tablas de determinación de la humedad del combustible fino muerto y del combustible del ICONA (1987) basadas en el trabajo de Rothermel (1983). Por su parte, Fernandes *et al.* (2002) proporcionan otras tablas para valorar la humedad del combustible muerto fino y del muerto/superficial elevado a partir de la humedad relativa. El trabajo de Ruiz y Vega (2007) es un compendio de modelos para predecir la humedad del combustible muerto. Se sigue trabajando en este campo y cada vez hay mejores sistemas de estimación, como el desarrollado para la pinocha de los pinos en Galicia (Ruiz *et al.*, 2009).

Hay otros métodos indirectos para la estimación de la humedad del combustible fino muerto, como el estrujado de un puñado de hojarasca (véase **tabla 2.10.**), pero solo está reservado al ojo experto (Martínez, 2001).

También cabe mencionar el uso de testigos de madera de pino y los ábacos relacionados, útiles sobre todo para los combustibles con 10 horas de retardo (Nelson, 2000) o la observación de la flexibilidad de las acículas de pino. Según Wade y Lunsford (1989), esta última metodología es una aproximación grosera que se realiza recogiendo acículas superiores de la hojarasca y doblándolas individualmente en forma de bucle. Si chascan con un rizo de un diámetro entre 1,3 y 0,6 cm, su humedad ronda el 15-20 %, rango usualmente adecuado para realizar quemas. La humedad es elevada, superior a las prescripciones normales, si no chascan o lo hacen con diámetros inferiores. Si parten antes de esas medidas —a veces, en varios trozos—, el combustible fino muerto está demasiado seco para ejecutar la quema, y existe el riesgo de que el fuego sea difícil de controlar y que se produzcan daños edáficos incluso si el mantillo inferior se encuentra sensiblemente húmedo.

De forma orientativa, respecto al comportamiento del fuego se pueden tener en cuenta los valores de la humedad del combustible fino muerto (HCFM) recogidos en la **tabla 2.7.**

La humedad que el combustible fino y muerto alcanza puede ser variable. Algunos autores (Wade y Lunsford, 1989; Fernandes *et al.*, 2002) distinguen entre la humedad fijada en el nivel de fibra —que ronda el 30 % en el punto de saturación para los tejidos lignificados— y la presente en los elementos vegetales de forma "externa". Esta distinción se debe a que valores de humedad del combustible fino y muerto por debajo del 30 % dependen de la humedad relativa y de la temperatura ambiente. No obstante, es posible alcanzar valores de humedad superiores al 30 % si hay humectaciones directas del combustible por precipitaciones (Wade y Lunsford, 1989). Por otra parte, un vegetal cortado no se puede considerar muerto desde el punto de vista del combustible hasta que su nivel de humedad no descienda por vez primera del rango 30-35 %.

Si bien el umbral de humedad del combustible fino muerto alrededor del 30 % está bastante extendido —y esta cifra se emplea como valor máximo incluso en el modelo de comportamiento del fuego de Rothermel (1983)—, se reconoce que es una hipótesis de cálculo generalista (Scott y Burgan, 2005).

Otros autores utilizan sistemáticamente valores de humedad de combustible fino muerto más altos (Wright y Bailey, 1982; Vega *et al.*, 2001), algo justificado porque: Toda el agua del combustible influye en el comportamiento del fuego esté dentro o fuera de las paredes celulares. Sus efectos sobre el comportamiento del fuego

Fotografía 2.17. La humedad hace que el fuego se desempeñe de peor forma: aumenta el tiempo de quema, las emisiones resultan más molestas y las reducciones del combustible son menores.

Quema de una parcela de bosque ya "tumbada" para darle utilidad en la agricultura tradicional. La humedad siempre es alta en medios ecuatoriales, incluso en las estaciones secas, y eso condiciona las quemas.

Alum (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

deben considerarse al plantear una quema adecuada. La humedad del combustible depende de la naturaleza del material vegetal, que es heterogénea, y de su estado de descomposición. En general, la capacidad de retención de agua que un resto tiene será mayor cuanto más podrido esté al aumentar su superficie interna.

Por otra parte, hay que tener en cuenta la humedad superficial del combustible leñoso para quemarlo. Dicha humedad se observa a través de la humedad relativa del aire, que puede producir condensaciones, ya que es el indicador del comportamiento del fuego en estos casos (Wright y Bailey, 1982)[2].

Según Wade y Lunsford (1989), lo idóneo en la eliminación de restos de corta es que se encuentren lo más secos posible y así lograr fuegos intensos que puedan eliminar a los materiales pesados y limitar las emisiones de humo. Para estas quemas de restos, es preferible que el combustible esté extendido en la parcela, ya que así se evita la creación de lugares puntuales, como pilas o montones, con una gran intensidad de combustión y prolongado tiempo de residencia del fuego que fuerzan alteraciones edáficas severas y heterogéneas. A pesar de lo anterior, los materiales con más de diez horas de retardo suelen necesitar ser amontonados para poder quemarse totalmente.[A1]

La humedad del combustible adyacente a una parcela de quema es también un dato que se debe tener en cuenta. Si la humedad del combustible fino muerto es superior al 30 o 40 % —o la de los combustibles de 6-25 mm al 15 %—, el riesgo de igniciones por vuelos de pavesas fuera del área de quema será bajo (Wright y Bailey, 1982).

[2] Wright y Bailey (1982) ilustran este hecho con el ejemplo de una quema de restos de *Juniperus ashei* en una parcela que tenia 2.250 kg/ha de hierba. El fuego quemó a todas las herbáceas dejando intactos los montones de sabinas muertas y secas. La HR era del 66%, la humedad del combustible fino era del 10% y no había habido precipitaciones en seis meses. La condensación de la HR sobre las leñas evitó su ignición e hizo que el tratamiento fracasara.

Tabla 2.7. Relación entre la humedad del combustible fino muerto (HCFM) y el comportamiento del fuego (adaptado de datos de Wright y Bailey [1982], y de Wade y Lunsford [1989])[3].

HCFM	HR relacionada	Efectos
< 5 %	inferior al 20 %	Las igniciones por prendido de pavesas son altamente probables.
6-8 %	40 %	Las pavesas prenden con dificultad en la hierba. Los fuegos producen daños a las raíces y al suelo en las quemas bajo cubierta.
> 11 %	superior al 65 %	Las igniciones por prendido de pavesas son raras.
9-20 %	-	Rango adecuado para ejecutar las quemas más habituales bajo cubierta.
>20 %	-	La humedad del combustible fino y muerto tiene poca importancia en la prescripción en comparación con el viento.
20-25 %	-	Rango adecuado para quemar combustibles pesados bajo cubierta. Se logran unas intensidades suficientes para eliminar las leñas y el fuego aún puede ser manejado; sobre todo, con encendidos aéreos.
30-35 %	-	Umbral en que el combustible fino y muerto arderá, o no, dependiendo del tipo de combustible y especies vegetales. Los fuegos son lentos, irregulares e incompletos, y no suelen cumplir los objetivos del tratamiento.

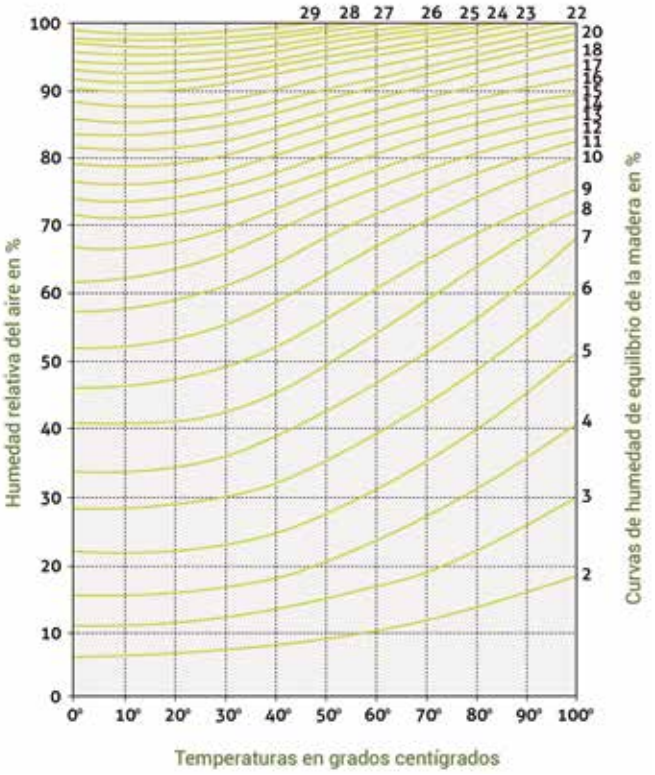


Figura 2.1. Curvas de equilibrio higroscópico de la madera o ábaco de Kollmann (1959).

Resulta útil para algunos tipos de quemas con combustibles leñosos muertos. Este ábaco proviene del área de conocimiento de la tecnología de la madera. Para utilizarlo, hay que considerar que la madera acostada en el suelo conserva la humedad durante más tiempo que si está en una posición bien ventilada.

Tabla 2.8. Humedades de combustibles gruesos recomendadas para su quema sin limitaciones por dosel arbóreo (adaptado de Wright y Bailey, 1982)

Diámetro combustibles	Humedad recomendada	Humedad limitante
6 - 25 mm	6 - 15 %	15 %
12 mm	7 - 8 % (rango idóneo)	15 %
25 mm	10 - 12 % (rango idóneo)	15 %
Más gruesos		17 %

[3] Las relaciones entre variables ambientales y comportamiento del fuego que se presentan en varias tablas de este capítulo deben tomarse como indicaciones orientativas, y puede haber comportamientos del fuego contrastados en cada combinación particular de variables y tipo de monte. La realidad es mucho más compleja que lo reflejado en estos cuadros. A la hora de realizar quemas, lo idóneo es partir de las prescripciones específicas de quema para ese monte y tipo de tratamiento, o similares, disponibles en la bibliografía.

2.1.1.3.2. Humedad del mantillo y del suelo

El nivel de humedad del suelo y del mantillo es importante porque modula la severidad del fuego sobre varios aspectos esenciales para la dinámica post-fuego del ecosistema; por ejemplo, influye sobre la materia orgánica, la fertilidad del suelo (Landsberg *et al*., 2000) y en el legado de propágulos del suelo.

En el momento de la quema, es conveniente que el suelo presente cierta humedad para limitar la destrucción de estructuras subterráneas y las alteraciones profundas del sustrato. La humedad del mantillo también tiene su importancia, pues es el estrato conductor de la propagación y, a la vez, manto protector del suelo en muchas quemas. El mantillo está generalmente compuesto por combustibles finos y muertos. Se debe observar la sequedad de la capa superior —compuesta por hojarasca y herbáceas, y que suele conducir al fuego— para comprobar si la quema es posible. Asimismo, hay que determinar la humedad de la capa inferior de restos en proceso de descomposición de modo que sea suficiente y limite intensidades del fuego excesivas y daños indeseados (Wade y Lunsford, 1989). También hay que señalar que es habitual que haya más humedad en la capa superior que en la inferior a primera hora de la mañana por efecto del rocío.

Fotografía 2.18. Los suelos con gran cantidad de hojarasca y mantillo tienen un comportamiento dual respecto al fuego. Por una parte, conservan la humedad durante un período dilatado, lo que permite hacer tratamientos con fuego tiempo después de las últimas lluvias. No obstante, arden con severidad si están secos y su extinción total requiere intensas labores de vigilancia y remate.

Suelo profundo de pinar de *Pinus pinaster* con mucha presencia de *Genista tridentata*.

Laza (Orense/Ourense).

No considerar a esta influencia efímera de la condensación atmosférica puede llevar a creer que hay más humedad en profundidad que la real y cometer un error en el tratamiento.

Tabla 2.9. Rangos de afección por fuego del mantillo según humedades (Ryan, 2000)

Humedad mantillo (%)	Efecto del fuego sobre el mantillo
> 120	Apenas es capaz de arder.
120-30	El consumo es proporcional al calor recibido por el suelo y a la cantidad de agua presente.
30-0	Arde vivamente con grandes reducciones de materia orgánica.

En el estudio de la parcela de quema, hay que tener en cuenta que las características edáficas, de los combustibles y de la topografía influyen en la humedad del terreno. Estos complejos determinan en buena parte la escorrentía, la capacidad de infiltración y la retención de agua del suelo, así como la evapotranspiración. De ese modo, se aconseja la observación del suelo de la parcela de quema para determinar, aunque sea subjetivamente, su humedad (Martínez, 2001; Fernandes *et al*., 2002).

Antes de iniciar una campaña de quemas, debe haberse acumulado una humedad suficiente en los primeros horizontes del suelo para proteger a parte de las estructuras edáficas. Martínez (2001) recomienda 10 mm de precipitación mínima, y 20 mm si el clima es árido. Wade y Lunsford (1989) y Vega *et al.* (2001) elevan la cifra inferior a un orden de 25-30 mm. Realmente, la necesidad de acumulación inicial se ve modulada por las características de la estación, la tasa de evapotranspiración que haya habido en esos días y la época del año, que está influida por la temperatura alcanzada por el suelo y su duración (Molina y Llinares, 2000).

Además de tener que superar un mínimo de precipitaciones al inicio de la campaña de quemas, es conveniente en muchas ocasiones que llueva antes de la ejecución de un tratamiento concreto. Con un rango determinado de precipitación antes de la quema, se logra que el suelo esté "a tempero" para la aplicación de fuego, con una humedad adecuada que limite las consecuencias edáficas indeseadas y que la vegetación tenga una sequedad aceptable para poder arder.

Lo idóneo en las quemas realizadas en montes desarbolados es hacer el tratamiento tras precipitaciones de 5 mm o menos y unos pocos días soleados para el oreo del combustible, de 2 a 4 días según el ritmo de desecación (Vega *et al.*, 2001). Las lluvias previas para las quemas bajo arbolado deben subir hasta los 6-13 mm, ya que la intercepción es mayor por la cubierta. El dosel también entorpece a la evapotranspiración, por lo que los días adecuados para quemar tras la lluvia suelen ser más numerosos (Wade y Lunsford, 1989). Se recomienda suspender las quemas si las temporadas secas se alargan (Martínez, 2001).

Tabla 2.10. Estimación aproximada de la humedad de la hojarasca y el mantillo mediante su apretado en un puño (referida a peso seco) (Vega *et al.*, 2001)

Observaciones	Humedad (%)
Se aprecia empapada, casi gotea.	> 250
Se aprecia mojada, pero no gotea; moja la mano.	250 - 80
Muy húmeda y de color oscuro.	80 - 20
Las aglomeraciones finas incluidas parten con facilidad, color más claro y se percibe cierta humedad.	20 - 10
La hojarasca seca rompe y las aglomeraciones finas parten fácilmente, color muy claro.	< 10

Tabla 2.11. Estimación aproximada de la humedad del suelo mineral (referida a peso seco) (Vega *et al.*, 2001)

Observaciones	Humedad (%)
Se aprecia muy empapado y casi gotea al apretarlo.	> 40
Un cilindro que no se deshace se forma al apretarlo y abrir la mano.	40 - 20
El cilindro se parte en porciones grandes y compactas.	20 - 15
El cilindro se parte en porciones más pequeñas y menos consistentes	15 - 7
El cilindro no se forma al abrir la mano, la tierra está suelta.	7 - 4
La tierra tiene una consistencia polvorienta.	< 4

Hay que usar balanza y estufa de secado para determinar exactamente la humedad del suelo, pero este sistema no es aplicable en los trabajos de gestión habituales, como ya se ha indicado anteriormente. Existen algunos otros métodos aproximados de valoración, como la apariencia de un puñado de hojarasca o la flexibilidad de las acículas secas. A continuación, se muestran unas tablas con metodologías simples para la valoración de humedad del mantillo (**tabla 2.10.**) y del suelo mineral (**tabla 2.11.**).

2.1.2. MODELOS DE COMBUSTIBLES: una sistematización del comportamiento del fuego

Los modelos de combustible son simplificaciones y sistematizaciones de la heterogeneidad de la vegetación que permiten realizar aproximaciones al comportamiento del fuego válidas para la extinción y la gestión (Rothermel, 1972; Anderson, 1982), pero lógicamente tienen limitaciones (Albini, 1976). El enfoque para definir a cada clase de combustible es estructural, aunque se pueden tener en cuenta otros factores; principalmente, de carácter físico, como la humedad de autoextinción de los frentes de llamas.

Los 13 modelos de comportamiento del fuego superficial del Northern Forest Fire Laboratory (NFFL), llamados "de Rothermel", se emplean habitualmente en España para describir a los combustibles. Anderson y Brow idearon originalmente 11 de estos modelos en 1972, y 2 lo fueron por Albini con la colaboración de Von Jhonson en 1976 (Rothermel, 1983), que además redefinió todos los otros tipos (Scott y Burgan, 2005). Estos modelos se crearon como insumos básicos de un sistema de cálculo de la propagación del fuego superficial ideado por Rothermel en 1972, conocimiento sobre el que se asientan muchos de los programas de simulación del comportamiento del fuego.

Según Rothermel (1983), la adopción de solo 13 modelos de combustible es una visión muy simplificada de la vegetación y ya en su momento propuso el concepto de modelos de "2 combustibles" combinados —así como una metodología para su aplicación— con el objeto de disminuir los inconvenientes; al menos, en parte. Además, según Anderson (1982), estos modelos estaban inicialmente pensados para la propagación del fuego en condiciones de sequedad durante las épocas típicas de incendios. Por ello, los 13 modelos del NFFL se han reve-

lado como insuficientes en la planificación de quemas y otros aspectos de la gestión forestal.

Asimismo, las primeras adaptaciones de estos modelos de combustible en España, realizadas por el ICONA en 1987, fueron sencillas (Vélez, 2000b). Por ejemplo, al principio no se insistió en las distintas composiciones de combustibles por tiempo de retardo o tamaños, lo que es esencial para determinar adecuadamente algunos modelos y comprender bien la mecánica del comportamiento del fuego en cada uno.

Conscientes de las limitaciones de los 13 modelos originales, Scott y Burgan (2005) crearon un elenco de modelos de combustible más amplio basándose en los originales del NFFL. Con este trabajo, generaron arquetipos de combustibles más variados y heterogéneos que permitieran realizar un avance en las proyecciones y simulaciones como, por ejemplo, para las quemas, comportamientos bajo condiciones ambientales más húmedas o estudios de propagación vertical e inicio de fuego de copas.

En esta línea de crear modelos más específicos y adaptados a la realidad de cada región, se están realizando desarrollos en diversos lugares, como, por ejemplo, las propuestas de modelos para Andalucía, de Rodríguez y Molina (2010), o para Galicia, de Vega *et al.* (2013).

A escala europea, y gracias al proyecto FireParadox, se ha creado una base de datos de combustibles y de dinámica de la vegetación respecto al fuego llamada EuroForestFuels cuyo objetivo es intentar compilar toda la información relacionada disponible o futura sobre el asunto. Dicha base de datos está pensada para alimentar a simuladores de comportamiento del fuego en tres dimensiones con la colaboración del programa FireParadox Fuel Manager. Esta línea de trabajo ha permitido desarrollar una colección de 10 modelos de combustible específicos para el área mediterránea francesa basados en el comportamiento del fuego y en la fisionomía y estructura de la vegetación (Fernandes, 2010).

Debido a la popularización de la tecnología LiDAR —que permite levantamientos detallados de la estructura de la vegetación (Fernández-Landa *et al.*, 2013)— y de la espectrometría por imágenes —con la que se puede discriminar por especies, superficies y humedades (Jappiot *et al.*, 2009)—, junto con la mejora de los simuladores de comportamiento del fuego en 3D, es de esperar una revolución respecto a los modelos de combustible y posiblemente se llegará a desarrollar tipos descriptores detallados para cada zona.

Cabe ahora comentar que los 7 modelos de combustible del proyecto Prometheus para los montes de la cuenca mediterránea se desarrollaron empleando los lineamientos de cálculo de Rothermel (Chuveico y Martín, 2004). Aunque esta colección de modelos no tuvo inicialmente mucha aceptación práctica de campo en España, se utiliza actualmente para la generación de cartografía de combustible con información de sensores remotos; por ejemplo, con tecnología LiDAR (Blanco *et al.*, 2013). La ventaja que el sistema Prometheus presenta para acoplarse a la teledetección se basa en que los modelos pueden discriminarse fácilmente en función de la altura y la fracción de cabida cubierta de la vegetación arbustiva y arbórea.

La particularización de los modelos de combustible es recomendable, dentro de lo posible, en la realización de quemas, planes de defensa u otros objetivos dentro de un determinado ámbito territorial. Asimismo, se alienta la utilización de las informaciones más modernas disponibles para los trabajos relacionados con quemas, ya que el hecho de ser más específicas se reflejará en el desarrollo de prescripciones ajustadas y de mayor eficacia.

A continuación, por su sencillez y menor prolijidad, se explica la propagación típica del fuego en incendio para cada uno de los 13 modelos NFFL (Rothermel, 1983) sobre la base de las explicaciones del propio autor. Debido a su facilidad de empleo y uso generalizado en España, se aconseja utilizarlo en una primera aproximación a los combustibles superficiales (Vega *et al.*, 2001).

GRUPO DE HERBAZALES

Modelo 1: El fuego se propaga por los combustibles finos herbáceos que están secos o casi, y avanza rápidamente por la yerba seca y otros materiales presentes en ese estrato.

Modelo 2: El fuego se propaga principalmente por los combustibles finos herbáceos secos o muertos. Hay situaciones en que hojarascas, tallos o ramillos caídos en los golpes de arbolado y matorral contribuyen a aumentar la intensidad de la combustión.

Modelo 3: Estos fuegos son los más intensos del grupo y tienen propagaciones muy rápidas bajo el influjo del viento. El fuego se propaga por la parte superior del estrato herbáceo conducido por el viento e incluso puede pasar sobre zonas encharcadas.

GRUPO DE MATORRALES
(y arbustedos, monte bravo y sotobosques)

Modelo 4: Fuegos intensos y de propagaciones rápidas que envuelven al follaje y a los ramillos vivos y muertos de toda la altura de la vegetación. El material muerto en las copas contribuye en buena medida a la intensidad. Puede haber capas de hojarasca que también ardan.

Modelo 5: Fuegos conducidos por los combustibles superficiales que están sobre el mantillo, como matas, macollas o hierbas sueltas. Las combustiones son poco intensas debido que la carga de combustible es ligera, y se observa usualmente que las matas jóvenes apenas tienen material muerto. El estrato conductor del fuego puede llegar a cubrir toda la superficie.

Modelo 6: El fuego se desplaza por las matas y arbustos, en los que el follaje es más inflamable que en el modelo 5; en parte, por la mayor acumulación de material muerto. Los vientos a media llama son moderados, pero superiores a 13 km/h. La combustión cae al suelo a velocidades de viento menores o en estratos arbustivos abiertos.

Modelo 7: El fuego arde por el suelo y por el estrato de sotobosque con igual facilidad. Puede haber altas concentraciones de humedad en el combustible muerto por su condición de protegido bajo cubierta.

GRUPO DE HOJARASCAS
(bajo arbolado)

Modelo 8: Fuegos de suelo que arden lentamente y con alturas de llama bajas, si bien es posible la existencia de concentraciones puntuales de materiales más pesados que pueden provocar comportamientos del fuego más vivos. Únicamente se generan fuegos peligrosos con este tipo de combustible bajo condiciones ambientales extremas.

Modelo 9: Fuegos de suelo que se desarrollan con mayor rapidez y altura de llama que en el modelo 8. Bajo vientos fuertes, pueden tener patrones de propagación rápidos y haber saltos de pavesas por el vuelo de las hojas. Las concentraciones puntuales de combustible contribuyen a provocar posibles procesos de entorchamiento de los árboles y generación de fuegos de copas, así como al prendido por salto de pavesas.

Modelo 10: Fuegos que arden por la superficie de los combustibles y el suelo con más intensidad que los modelos 8 y 9. El material muerto del suelo está formado por ramas y leñas gruesas de la clase de diámetro de más de 75 mm, resultado de senescencia del arbolado o por residuos provocados por renovaciones por viento, insectos u otros, que hacen que la carga de combustible muerto superficial sea grande. Los vuelos de pavesas, los entorchamientos y la tendencia de pasar a fuegos de copas son comunes en este modelo.

GRUPO DE RESTOS DE CORTAS
(o de arbolado)

Modelo 11: Fuegos que se desarrollan en los restos de corta y en las herbáceas intersticiales. El espaciamiento entre el combustible fino superficial bajo efecto de la sombra, o su añejamiento, limita la virulencia del fuego.

Modelo 12: Fuegos de propagación muy rápida, con altas intensidades y capaces de generar llamaradas grandes y entorchados en el arbolado; este riesgo se mantiene en toda la extensión del modelo.

Modelo 13: Fuegos que recorren el área quemando a una capa continúa de restos. La propagación es rápida por los combustibles finos, y la intensidad crece lentamente hasta que los combustibles pesados comienzan a arder. Las llamas se sostienen durante tiempos dilatados y pueden aparecer grandes llamaradas de varios tamaños. Esto contribuye a los encendidos por salto de pavesas; sobre todo, bajo condiciones ambientales que favorecen a la severidad del fuego.

Grafica 2.1. Comparativa de comportamiento del fuego según los modelos de combustible del NFFL. (Vega, 1993; citado en Vélez, 2000b).

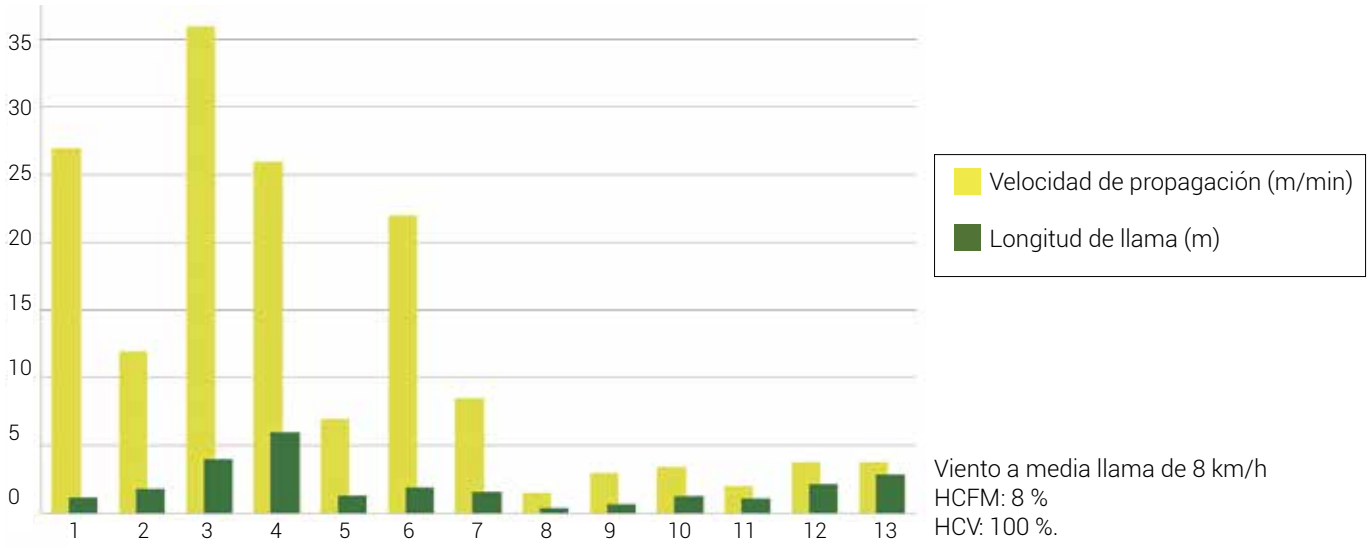


Tabla 2.12. Descripción sucinta de los modelos de combustible superficial del NFFL (Albini, 1976)

Modelo Complejo combustible típico		**Altura** (m)	**Estimación de carga** de combustible disponible en verano (t/ha)					**Humedad** de extinción combustibles muertos (%)
			1 h	10 h	100 h	Vivo	Total	
1	Herbazal bajo	0,3	1,6	-	-	-	1,6	12
2	Herbazal bajo árboles con matorral disperso	0,3	4,5	2,2	1,1	1,1	8,9	15
3	Herbazal alto	0,75	6,7	-	-	-	6,7	25
4	Matorral alto	2	11,2	9,0	4,5	11,2	35,9	20
5	Matorral bajo	0,6	2,2	1,1	-	4,5	7,8	20
6	Matorral medio	0,75	3,4	5,6	4,5	-	13,5	25
7	Sotobosque	0,75	2,5	4,2	3,4	0,83	10,9	40
8	Hojarasca compacta	0,06	3,4	2,2	5,6	-	11,2	30
9	Hojarasca laxa	0,06	6,5	0,9	0,3	-	7,7	25
10	Hojarasca con sotobosque y restos	0,3	6,7	4,5	11,2	4,5	26,9	25
11	Restos de corta ligeros	0,3	3,4	10,1	12,3	-	25,8	15
12	Restos de corta medios	0,75	9,0	31,4	37,0	-	77,4	20
13	Restos de corta pesados	1	15,7	51,6	62,8	-	120,1	25

2.1.3. MODIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN PARA LA QUEMA

La vegetación puede ser modificada por el hombre de diversas formas (Vélez, 1990b; Rigolot *et al.,* 2009): cortas, podas, desbroces, binas, pastoreo y manejo cinegético, uso de fitocidas y mediante el fuego controlado.

En las quemas, el combustible puede modificarse previamente buscando un comportamiento del fuego y unos efectos en el ecosistema determinados. Técnicamente, es posible cortar parte de la vegetación para aumentar la cantidad de material muerto y variar la estructura del combustible; también se puede intervenir compactándolo, o incluso mojándolo, y lograr así que el fuego se comporte de una u otra forma.

Las quemas bajo arbolado en ocasiones se realizan asociadas a tratamientos selvícolas convencionales (desbroces, clareos, poda de penetración, etc.). La combinación de estos dos tipos de intervenciones facilita el logro de determinados hitos de gestión (Keeley *et al.*, 2009; Rigolot *et al.*, 2009). Las cortas o desbroces consiguen una primera reforma estructural de la masa y proveen de material muerto, que garantiza un mínimo de combustible en el suelo, lo que permite manejar al fuego de forma homogénea y con una altura de llama determinada (Weatherspoon, 1996; Grillo *et al.*, 2009). La combustión produce una reducción de la biomasa y desencadena una serie de cambios en el bosque por efecto del calor. Sin embargo, los trabajos combinados sobre la vegetación tienen un uso limitado en España y la transformación previa del combustible en la ejecución de quemas usualmente se limita a construir líneas de control por restricciones económicas.

Fotografía 2.19. Los trabajos de modificación del combustible son caros, sobre todo si no hay aprovechamiento maderero o biomásico.

En la imagen se muestra el final de la ejecución de una calle de seguridad de una línea eléctrica hecha esencialmente con motosierras, motodesbrozadoras y fuerza humana.

Celrá/Celrà (Gerona/Girona).

2.1.3.1. Construcción de líneas de control en los tratamientos de quemas

La anchura de las líneas de control varía en función del comportamiento esperado del fuego y del tipo de vegetación, y depende de las características del frente de llamas que se espere deba contener la infraestructura. El fuego puede rebasar un cortafuegos por conducción, por contacto directo de las llamas con el otro lado de la infraestructura, por radiación o por vuelos de pavesas incandescentes.

Los cortafuegos deben tener la menor cantidad posible de material inflamable en su interior para evitar que el fuego pueda atravesarlos por conducción. Por eso, se recomienda decapar o labrar las fajas, que son labores sencillas y adaptables a muchos terrenos, para limitar los escapes y los incendios de reproducción (Wright y Bailey, 1982). En caso de haber apoyo de tractores para preparar quemas en España, lo más común es que sean tractores de cadenas que hacen decapados, como los que se usan en la extinción de incendios.

Las reproducciones son raras en las fajas decapadas o labradas y normalmente aparecen por combustión lenta de material leñoso, como ramaje enterrado o raíces. El riesgo de este tipo de "fuegos dormidos" es mayor en suelos orgánicos, por su mayor contenido en combustible. Las reproducciones pueden aparecer incluso días después de la quema en algunos casos (Wright y Bailey, 1982).

En ocasiones no hay posibilidad de decapar las líneas, de modo que los cortafuegos son simples bandas desbrozadas. En estos casos, el suelo debe estar lo más húmedo posible en el momento de la quema eligiendo las condiciones atmosféricas más adecuadas o, en ocasiones puntuales, mediante riego del terreno. Las líneas de control de este tipo, que se construyen en España, suelen hacerse mediante rozado con unas anchuras de 1,2 a 2 m. También se suele procurar apoyar a los límites de la quema en líneas del terreno, como cami-

Fotografía 2.20. La utilización de las líneas del terreno ya establecidas es esencial porque abarata las quemas y simplifica las labores previas. Quema de ensanche bajo cubierta de *Pinus sylvestris* apoyada en un camino de rodadura.

Incendio en A Gudiña (Orense/Ourense).

nos, sendas, dorsales, arroyos, etc., teniendo en cuenta que la pendiente, el viento y las técnicas de encendido determinan la mayor o menor necesidad de anchura de dichas líneas.

Existe también la opción de usar una "línea húmeda"; es decir, una banda de vegetación mojada sin desbroce previo donde se va apoyando el prendido. Obviamente, no debe haber mucho desfase entre el mojado y el prendido por lo efímero del efecto del agua. Esta técnica es funcional con algunos tipos de vegetación herbácea, hojarasca e incluso en matorral dependiendo de la anchura y el grado de mojado efectivo que se logre. Dichas líneas pueden crearse con agua o esta junto con químicos de extinción, comúnmente espumógenos, para mejorar su eficacia. Por ejemplo en algunas quemas de herbáceas con apoyo de autobomba se puede lograr hacer prendidos seguros creando una línea húmeda sobre la huella de hierbas tumbadas y compactadas que dejan los neumáticos de un lado del vehículo al avanzar. Si se prende inmediatamente, siguiendo a la autobomba en su progreso, la humedad de la banda suele ser suficiente para contener el fuego, y en caso de que las llamas logren romper la barrera el vehículo está cerca para poder sofocarlas.

Otra técnica utilizada en la creación de fajas cortafuegos es la de las "líneas negras", que son bandas de vegetación quemada para apoyar a las líneas de prendido de la quema principal. Es un método posible para tramos cortos. Normalmente, se hacen de modo anticipado apro-

Fotografía 2.21. Los tractores permiten abrir líneas de control muy efectivas.

Ejecución de quema de ensanche desde línea decapada abierta por tractor de cadenas.

Incendio en Cantoña (Orense/Ourense).

Fotografía 2.22. Una somera roza hasta suelo mineral con herramientas manuales puede actuar como línea de control en las quemas de hojarasca en bosques. En la imagen se observa que se ha hecho un tendido de manguera en la línea como elemento de refuerzo para controlar al fuego.

Quema bajo arbolado en La Victoria de Acentejo (Tenerife).

vechando días fuera de prescripción; por ejemplo, más húmedos. Es una labor que debe realizarse con el apoyo de un vehículo motobomba capaz de llevar a cabo una extinción suficiente y, así, completar el trabajo programado con garantías. También se pueden hacer controlando al fuego con herramientas manuales, aunque no es una técnica recomendable salvo en casos de gran docilidad del fuego y tramos muy cortos. El riesgo de que el fuego escape del control mediante el uso de esta técnica con herramientas manuales es alto. Además esta es una tarea muy exigente con el personal, que debe esforzarse en la extinción con herramientas manuales y soportando condiciones de borde de fuego salvo si tiene el apoyo de una autobomba. No hay que olvidar en la planificación de las quemas que la distancia de confort del personal ante el fuego es de unas cuatro veces la altura de las llamas (IPIECA-IOGP, 2016). Esta distancia asegura que la gente no soporte radiaciones excesivas, que son la principal amenaza para seguridad humana en los incendios (Webster, 2000; citado en Tran, 2002).

A veces, también se usa la técnica de prendido-extinción directamente en la quema: se crea un cordón de fuego para después apagar la línea que debe limitar de forma externa a la parcela de quema dejando que otra se convierta en un frente de esta. Normalmente, se efectúa en tramos cortos con apoyo de agua y condiciones de propagación desfavorables para la línea que hay que extinguir.

Otra modalidad de ejecución de prendido-extinción tiene lugar bajo condiciones de alta humedad y/o con combustibles de poca continuidad horizontal en las que el fuego tiene poco vigor y evoluciona de modo fragmentado y con cierta tendencia a la autoextinción. En este caso, el borde de la quema queda definido donde el fuego se detiene por sí mismo o en ciertas zonas por la extinción de los zapadores. En estas quemas se juega con encendidos a favor, donde se busca más intensidad y evitar que no se produzca la autoextinción, o en contra en las zonas donde se pretende crear una zona negra para "cerrar" al quemado. Suelen ser quemas con formas irregulares.

Lo más recomendable en la construcción de líneas de control es el uso de decapados o arados por su efectividad, pero la ejecución de las líneas debe tener una gran flexibilidad sin olvidar las otras técnicas y el uso fundamental de las líneas establecidas del terreno, ya que abaratan los trabajos. Por otra parte, los efectos paisajísticos deben asimismo considerarse en el diseño de las líneas que se pretende construir si el área de quema es extensa.

Debido a la debilidad de las líneas de control utilizadas ocasionalmente en la ejecución de las quemas, las técnicas de prendido y conducción del fuego se vuelven esenciales, ya que su adecuada elección y aplicación sirven para atenuar la falta de anchura en las mismas.

Fotografía 2.23. Las dorsales y otros cambios topográficos del terreno dan buenas oportunidades para controlar a los frentes de fuego y son lugares apropiados para apoyar a las quemas.

Dorsal pronunciada en la que un frente a favor en un incendio se detuvo fácilmente.

Fuentes de las Montañas (Asturias).

Fotografías 2.24. Las líneas negras son otra modalidad para crear fajas de control en las quemas. Línea negra ejecutada algunas semanas previas a la quema (en la que la hierba verdea y contrasta con el negro de la quema principal) en un lugar accesible para una autobomba. Es un ejemplo idóneo de aplicación de esta técnica.

Las Machorras. (Burgos).

Fotografía 2.25. Cierre de una quema usando la autoextinción del frente de llamas. Se necesita bastante humedad del combustible para este tipo de ejecuciones.

Las Machorras. (Burgos).

Fotografía 2.26. Ejemplo de técnica de prendido-extinción con herramientas manuales y sin apoyo de agua. Es una labor muy exigente con el personal, que debe esforzarse en la extinción y sufrir condiciones de borde de llama. No es recomendable salvo para tramos cortos.

Ucieda (Cantabria).

2.1.3.2. Anchura de las líneas de control

La anchura y tipo de los cortafuegos usados en las quemas dependen de las particularidades de las líneas preexistentes en el terreno, de las características de la parcela de quema, de la humedad del combustible que se va a quemar y de la del área circundante a la parcela de trabajo, de la peligrosidad de dicho combustible y de las condiciones meteorológicas previstas en el momento de la quema, de los recursos presentes para manejar el fuego y de las consecuencias potenciales en caso de que el fuego escape de control (Marsden-Smedley y Sherriff, 2014).

Las anchuras de los cortafuegos para la ejecución de quemas recomendadas por los distintos autores son

Fotografía 2.27. En ocasiones se puede dar una línea de fuego apoyada en fajas estrechas si las condiciones acompañan y se prende con tiento. Fuego en contra apoyado en una mera senda pedestre.

Quema de renovación de pastadero. Carmona (Cantabria).

heterogéneas. Así, ciertos expertos aconsejan anchuras grandes que ofrezcan una seguridad inequívoca en el control del fuego, pero estas son tan onerosas que solo posibilitan las quemas en unidades de terreno muy extensas donde los costes de construcción por unidad de área puedan diluirse (véase, por ejemplo, Wright y Bailey, 1982; Weir *et al.*, 2009). De ese modo, Weir *et al.* (2009) recomiendan cortafuegos de unos 30 m para meras quemas de herbáceas.

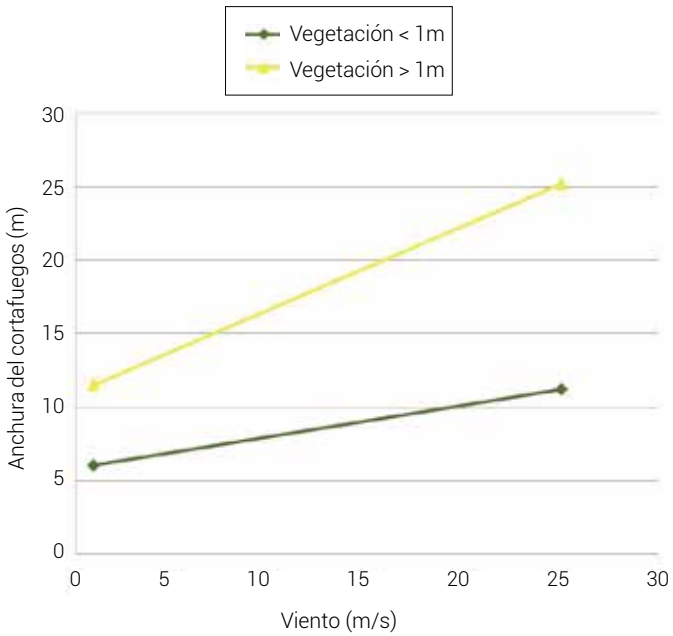
Se muestran a continuación algunas propuestas con anchuras más cabales para el ámbito español.

IPIECA-IOGP (2016) propone que la anchura mínima de fajas cortafuegos en quemas sea de 6 m, y aporta una interesante gráfica para modular la anchura de la infraestructura en función de la velocidad del viento esperada en la quema y la altura de la vegetación que se desea tratar (Gráfica 2.2.).

Por su parte, Tran (2002) considera que los cortafuegos deben tener como máximo 4 m de anchura salvo en zonas críticas y en los lugares en que los vehículos deban dar la vuelta según el plan de quema. Según este enfoque, aclara que detener a frentes de llama de media-alta intensidad no es función de los cortafuegos. Por ello, es importante buscar patrones de quema que aumenten las zonas seguras si una parte de la parcela va a recibir fuego a favor en el caso de seguir estas indicaciones.

Marsden-Smedley y Sherriff (2014) mantienen una postura similar a la anterior y recomiendan anchos de entre 4 y 6 m en la mayoría de los tipos de quema, y justifican técnicamente su aporte basándose en que distancias de 5 veces la altura de llama resultan necesarias para contener a los frentes de fuego y en que las alturas de llama máximas usualmente alcanzadas en las quemas suelen ser de 1 a 2 m.

Grafica 2.2. Anchura del cortafuegos según velocidad del viento para las quemas (IPIECA-IOGP, 2016)



Fotografía 2.28. Los frentes de llama a favor son difíciles de detener, aspecto que se debe tener en cuenta en la planificación de las quemas. En los incendios, las infraestructuras cortafuegos tienen una efectividad limitada por sí solas en estas situaciones incluso con anchuras grandes, pero dan magníficas oportunidades para apoyar a contrafuegos y realizar quemas de ensanche. En la imagen se observa un frente de llamas a favor llegando a un cortafuegos, algo embastecido, al cual sobrepasó con facilidad. Los zapadores forestales no llegaron a tiempo para dar contrafuego en esta ocasión.

Incendio de matorral. A Mezquita (Orense/Ourense).

2.2. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA TOPOGRAFÍA

Los accidentes topográficos influyen en el comportamiento del fuego. La situación meteorológica local y la del combustible cambian con el transcurso del tiempo en parte condicionadas por la fisiografía. Esta también influye en alguna medida en la distribución de las comunidades vegetales y en la aparición de áreas cortafuegos (Whelan, 1995). Los factores topográficos que más intervienen en las dinámicas del fuego son el relieve, la exposición, la pendiente y la altitud.

2.2.1. RELIEVE

Las distintas formas del terreno influyen sobre el comportamiento de los frentes de llama dándoles mayor o menor velocidad e intensidad. El relieve, además, condiciona sobremanera a la dirección y la fuerza del viento, así como a la humedad de los combustibles.

Las disposiciones del terreno complejas inciden en el comportamiento del fuego haciéndolo heterogéneo, más difícilmente previsible y con fuertes contrastes entre frentes de llamas vecinos (Arévalo, 1968).

Los patrones de encendido y conducción elegidos para las quemas condicionan también las características de las combustiones, de modo que es posible modular en cierto grado los efectos del relieve sobre la evolución del fuego mediante estos.

Fotografía 2.29. Los relieves complejos están relacionados con propagaciones del fuego caóticas, lo que dificulta las labores de extinción.

Pinares de *Pinus halepensis*. Serra (Valencia/València).

2.2.2. EXPOSICIÓN

La exposición afecta a la cantidad de viento y radiación solar que recibe un terreno condicionando de forma importante la humedad y la temperatura del combustible (Pyne *et al.*, 1996; Fernandes *et al.*, 2002). En su movimiento diario, el sol va produciendo variaciones de la temperatura, de la humedad relativa del aire y de los combustibles y de la circulación del aire en las distintas orientaciones.

Los terrenos expuestos a umbría reciben menos luz directa, por lo que son más húmedos y fríos, y frecuentemente tienen mayores cantidades de combustible debido a condiciones de crecimiento más benignas; al menos, en latitudes medias.

Las exposiciones de solana, por el contrario, soportan más radiación y evapotranspiración, por lo que arderán más fácilmente en invierno ofreciendo mejores oportunidades de quema que las exposiciones de umbría.

La inclinación de las laderas determina la recepción de la radiación, ya que los terrenos más perpendiculares a los rayos del sol reciben más energía. Las zonas más influenciadas por la radiación varían a lo largo del día y del año de acuerdo con el ciclo solar y la latitud a la que el lugar se encuentre (Pyne *et al.*, 1996). Este efecto se considera en la observación de la curvas horarias de calentamiento del terreno (Grillo *et al.*, 2008), y sirve para decidir en qué momento del día o de la noche es conveniente ejecutar la quema.

La exposición de los terrenos debe aprovecharse para ordenar las operaciones de quema en el tiempo (Fernandes *et al.*, 2002). Las umbrías tendrán que ser quemadas en los períodos más secos de la época de trabajo, mientras que las solanas pueden reservarse para los relativamente más húmedos. Las probabilidades de obtener fuegos que se propaguen aceptablemente y de alcanzar los objetivos propuestos aumentarán con este proceder.

Fotografía 2.30. La exposición ayuda a crear condiciones ambientales diferentes; sobre todo, en determinados climas. En la imagen se ve el contraste de vegetación entre las laderas norte y sur de esta sierra meridional de la península ibérica. Si bien otros procesos a escala de detalle han podido colaborar en conformar el paisaje, como por ejemplo el pastoreo en el sur y la explotación maderera y cuidado del bosque en el norte, la exposición influye en perpetuar la distribución de la vegetación.

María y Vélez-Blanco, Sierra de María (Almería).

2.2.3. PENDIENTE

El efecto de la pendiente sobre el comportamiento del fuego es directo y análogo a la influencia del viento. La inclinación provoca que la vegetación sin arder esté cerca de las llamas en los fuegos a favor. De ese modo, recibe un presecado más efectivo al unirse la convención a la radiación, lo que aumenta la intensidad y velocidad del fuego. Este efecto puede ser mayor si hay vientos ascendentes que tumban al frente de llamas y a la columna de humo sobre el terreno sin arder.

Tabla 2.13. Ejemplos del factor de variación de la velocidad de un frente de llamas por efecto de la pendiente (Nájera, 2015).

Pte. inicial del frente de llamas (%)	Pte. final del frente de llamas (%)	Factor de variación de la velocidad de propagación.
0	10	2,2
0	30	2
0	55	5,9
10	0	0,45
10	30	1,35
10	55	2,95
30	0	0,17
30	10	0,46
30	90	6,55

Fotografía 2.31. El efecto de la pendiente es determinante en el comportamiento del fuego y puede ser un factor que facilite el trabajo en una quema bien planificada. Por el contrario, suele ser un problema en los incendios por la velocidad de propagación e intensidad que proporciona a los frentes a favor.

Incendio en el que el fuego avanzó por la pendiente a gran velocidad.

Fuentes de las Montañas (Asturias).

Los fuegos descendentes suelen ser normalmente a la contra, y se caracterizan por velocidades e intensidades bajas, así como un comportamiento bastante estable.

La pendiente facilita la conducción del fuego en las quemas. Así, inclinaciones superiores al 20 % hacen que el manejo de las líneas de quema sea sencillo aun con una velocidad de viento baja (Fernandes *et al.*, 2002).

Fotografía 2.32. La intensidad de las llamas en fuegos a favor en pendientes se ve incrementada por la configuración del terreno.

La pendiente ha favorecido la progresión de las llamas en la repoblación de *Pinus nigra* de la imagen, lo que se refleja en la altura de chamuscado de los troncos y en la de soflamado en las copas.

Conato de incendio. Briviesca (Burgos).

2.2.4. ALTITUD

La altitud influye en las condiciones meteorológicas y sobre el combustible al exponerse a capas u horizontes distintos de la troposfera.

La meteorología se ve influenciada de varias formas. En función de la altitud, se producen horizontes de inversión haciendo que el posible comportamiento del fuego sea diferente por encima o por debajo de la capa. La velocidad del viento es normalmente más elevada con la altitud por efecto del relieve y porque los vientos altos son usualmente más fuertes que en cotas inferiores. Por otra parte, el efecto Foehn se genera en algunas cordilleras. Debido a la altura que las corrientes de aire deben alcanzar para superar a estos accidentes, se crean paisajes contrastados en cada vertiente por la distinta disponibilidad de humedad. También suele haber amplitudes térmicas considerables con la altura; usualmente, con noches frías que favorecen el remate de los quemados.

La altitud también condiciona las dinámicas del combustible, ya que regula en buena medida la precipitación que recibe, la humedad relativa, la duración de las cubiertas de nieve y el ciclo vegetativo existiendo fuertes variaciones según la posición de la parcela en el piedemonte, la media ladera o las cumbreras de las serranías (Pyne *et al.*, 1996).

Fotografías 2.33. (arriba) y **2.34.** (abajo). La altitud, junto con las dinámicas atmosféricas, genera condiciones ambientales contrastadas.

Los bancos de nieblas aparecen frecuentemente durante los anticiclones invernales en ambas mesetas ibéricas y en las cuencas de los grandes ríos.
Las nieblas suelen estar confinadas por horizontes de inversión térmica bajo condiciones generales de alta estabilidad atmosférica.
En la imagen de **arriba** se aprecia un bonito día de anticiclón con un mar de nubes en el fondo del valle. Fuera de la niebla ha helado por la noche pero las temperaturas diurnas alcanzan los 8-10 ºC. La vegetación está seca y hay brisas ligeras de ladera por el calentamiento solar del suelo.

Quintana de Valdivielso (Burgos).

Abajo, en la niebla, la temperatura permanece en valores negativos durante días, el hielo se acumula y la quietud del aire es total.

Butrera (Burgos).

Fotografía 2.35. Los cambios atmosféricos son muchas veces bruscos y severos con la altitud, lo que influye sobre el comportamiento del fuego y, por ende, en la organización y ejecución de las quemas.

Nubes envolviendo a unos cerros con uso pastoril ocasional a casi 4.000 m de altitud.

San Pedro de Tiquina (Departamento de La Paz, Bolivia).

2.3. INFLUENCIA DE LOS FACTORES METEROLÓGICOS EN LAS QUEMAS

La principal característica de las condiciones meteorológicas es que son muy dinámicas (Schroeder y Buck, 1970), cambian continuamente y, a veces, de forma abrupta. Esta propiedad se contrapone con los ritmos del combustible, que se modifica a medio plazo exceptuando su humedad, que está directamente ligada a la atmosfera. La topografía, por su parte, evoluciona a escalas temporales larguísimas, geomorfológicas.

Puesto que es el conjunto de factores más variable, conocer la meteorología es importante a la hora de realizar quemas controladas con seguridad, y resulta esencial en el caso de las quemas prescritas, ya que los datos más determinantes de estas prescripciones suelen ser parámetros meteorológicos y de humedad de los combustibles.

Un forestal que realice quemas no solo debe ser perspicaz con el comportamiento del fuego, sino también saber observar el clima y la meteorología, pues esto le permitirá acercarse a la excelencia en el desarrollo de su trabajo por dos razones fundamentales:

- Evaluará las condiciones adecuadamente, y eso le facilitará enormemente el desarrollo de un plan de quema: ajuste de prescripciones, técnicas de ignición, limitaciones, necesidades de personal y material, etc.
- Identificará los períodos de tiempo más adecuados para la ejecución de las quemas con cierta antelación en función de los partes meteorológicos, lo cual hará que la organización administrativa, logística y humana sea más eficiente.

El secreto de los tratamientos con fuego es que la meteorología trabaje a favor de la quema: la tarea es fácil y segura cuando las condiciones son adecuadas (Wright y Bailey, 1982).

Según Wade y Lunsford (1989), las principales variables meteorológicas son la humedad relativa del aire, la temperatura, el viento, las precipitaciones y el grado de estabilidad atmosférica. Estos factores son importantes, pues influyen directamente sobre la humedad de los combustibles y el comportamiento del fuego..

Un buen conocimiento de la meteorología y suficiente experiencia permiten la adecuada ejecución de quemas incluso fuera del rango de prescripción en cuanto a algunas variables si se tiene la perspicacia de compensar el desajuste con valores contrapuestos de otros factores. Por ejemplo, es posible quemar con mayores velocidades del viento si hubo una precipitación reciente y la vegetación se encuentra algo más húmeda.

En los siguientes epígrafes se describen los principales factores meteorológicos que afectan al fuego, la dinámica básica de su influencia y las condiciones de cada variable que facilitan las quemas en montes rasos y rasos y arbolados.

2.3.1. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

La humedad relativa del aire es la cantidad porcentual de vapor de agua que contiene una atmósfera respecto a un ambiente saturado en el que hay condensaciones, que es el máximo que podría contener. La capacidad de carga de vapor de una atmósfera a presión constante se ve influida por la temperatura.

La importancia de la humedad relativa del aire (HR) se debe a su influencia directa sobre la humedad del combustible muerto (Fernandes *et al.,* 2002) —del que ya se ha hablado en el epígrafe 2.1.1.3.— y, por extensión, en el comportamiento del fuego. La humedad de los combustibles muertos cambia para tender al equilibrio con el ambiente, pero hay desfases entre la humedad del aire y la de los combustibles. Estos desfases son de distinta entidad en función de las características del combustible y la rapidez y alcance de los cambios en la humedad del aire. La velocidad de cambio de la humedad de los combustibles muertos está directamente relacionada con su tamaño, forma y posición. Por ejemplo, los combustibles muertos expuestos directamente a la radiación solar suelen tener una humedad inferior a la de los colindantes cubiertos al recibir más calor. Debido al desfase entre la

humedad ambiental y la de los combustibles muertos, ambas variables resultan importantes para el adecuado desarrollo de una quema y deben valorarse independientemente para comprobar si se está dentro de la prescripción de tratamiento (Wade y Lunsford, 1989).

En la **tabla 2.14.** se recogen datos para toda clase de combustibles sobre el comportamiento del fuego y de los rangos habitualmente recomendados para ejecutar quemas.

El rango preferido para la ejecución de quemas está entre los 30-55 % de HR, aunque se pueden llegar a realizar tratamientos con valores de entre el 20 y el 60 o 70 % de HR dependiendo de vegetación.

No hay restricciones de HR para quemar restos sin cubierta, salvo las que se puedan necesitar para la seguridad de la quema y con el fin de limitar los daños edáficos o a algunos organismos.

Fotografía 2.36. El control de las condiciones ambientales es esencial para una buena ejecución de las quemas. Los equipos de medida electrónicos simplifican la toma de datos.

Medición de la humedad y temperatura en una mata de *Ulex* con termohigrómetro.

Las Machorras (Burgos).

Fotografía 2.37. La humedad relativa del aire determina la de los combustibles muertos, que tienden a la humedad de equilibrio. Este efecto condiciona la ejecución de las quemas.

Vista invernal de unos montes con la atmósfera saturada de agua.

Oña (Burgos).

Tabla 2.14. Relación entre humedad relativa y comportamiento del fuego, y rangos para la ejecución de quemas (adaptado de Wright y Bailey, 1982; Wade y Lunsford, 1989; Martínez, 2001; Vega *et al.*, 2001; Weir *et al.*, 2009)

HR (%)	Comportamiento del fuego y rangos para la ejecución de quemas
< 20 %	Fuegos muy intensos, el peligro de igniciones por pavesas es constante. Solo se recomiendan quemas de restos secos pesados bajo este umbral con precaución.
20-30 %	Rango en el que se pueden hacer quemas en montes de matorral y de herbáceas. Es posible ejecutar tratamientos bajo cubierta, pero con medidas adicionales o compensatorias en la prescripción y así limitar el riesgo de chamuscados de tronco y soflamados de copas excesivos.
20-40 %	El combustible fino arde con facilidad. El riesgo de prendido por vuelos de pavesas incandescentes es alto.
30-55 %	Rango idóneo habitual para la ejecución de las quemas bajo cubierta y en montes desarbolados.
40%	Umbral de referencia en el comportamiento del fuego, la velocidad de propagación se ralentiza.
50%	Las igniciones por prendido de pavesas son mínimas.
55%	No se producen igniciones por prendido de pavesas.
60 %	Umbral superior para las quemas bajo cubierta, las manchas no quemadas menudean por encima y las reducciones de combustible son menores que lo buscado habitualmente. La quema es usualmente difícil por encima y los diámetros inferiores a 10 cm arden con dificultad.
70 %	Umbral para la quema de montes desarbolados; usualmente, el apoyo del viento es necesario para obtener una buena reducción.

2.3.2. TEMPERATURA

Las temperaturas del aire, o del ambiente (Tª), y de los combustibles influyen en el comportamiento del fuego.

Schroeder y Buck (1970) señalan que la temperatura de los combustibles está principalmente determinada por las radiaciones solares, la naturaleza de las superficies expuestas al sol y el efecto refrigerante del viento. La del aire, por su parte, depende del intercambio de energía con las superficies y de las captaciones que los gases hacen de los rayos solares.

La HR y la Tª, o el calor estrictamente hablando, forman un binomio inseparable: ambos parámetros se encuentran íntimamente relacionados entre sí. Con el aumento de la Tª, se produce un alza del punto de rocío; concretamente, el doble por cada 10 ºC de aumento de calor. Esto implica la reducción a la mitad de la HR, y viceversa si la Tª desciende. Es necesario recordar que tanto la HR como la Tª determinan en buena parte, a su vez, el tiempo de retardo de los combustibles.

Esta relación de variables físicas debe preverse para ejecutar adecuadamente una quema, ya que, en función del ciclo solar, se generan cambios sinérgicos de ambas variables a lo largo del día. Es decir, la observación de las relaciones y variaciones entre Tª y HR (y la humedad del combustible fino y muerto) permite encontrar ventanas ambientales para la ejecución de la quema. Por ejemplo, es muy conocido que las quemas iniciadas de buena mañana comienzan con unas condiciones adecuadas de humedad y calor, pero resultan relativamente peligrosas en el momento de su finalización, cerca del mediodía. En cambio, las quemas realizadas a última hora de la tarde se inician con ambientes secos y templados, situación que va mejorando para el control del fuego según llega la noche.

El calor ambiental influye en la facilidad de ignición de los combustibles, ya que en función del calor que atesoren necesitan más o menos energía para alcanzar la temperatura de ignición. También condiciona los daños que el fuego provoca a las plantas. Cuanto más alta sea la temperatura del aire o del suelo, las estructuras vegetales alcanzarán calores que les provoquen daños o sean letales con mayor facilidad ante una misma energía emitida durante la combustión (Ryan, 2000). La temperatura umbral inferior de daño a las células vegetales es aproximadamente de 50 ºC (Fernández *et al.*, 2002). Ahora bien, el alcance de los perjuicios no está solamente condicionado por la temperatura, sino también por la duración del calor, su distribución por la planta, la naturaleza de los distintos tejidos afectados y su estado metabólico y de hidratación (Whelan, 1995), de modo que la temperatura letal es diferente en cada caso.

Los umbrales definidos para el comportamiento del fuego y la ejecución de quemas según temperaturas, para combustibles genéricos, se muestran en la **tabla 2.15.**

El rango de entre 5 y 16 ºC de temperatura del aire es usualmente adecuado para ejecutar quemas, ya que la severidad al suelo y a las estructuras vegetales subterráneas resulta mínima.

Una temperatura de 27 ºC se considera el límite superior para llevar a cabo una quema segura[4], aunque se pueden ejecutar quemas de bajo riesgo con temperaturas mayores si la HR es superior al 40 % y la velocidad del viento inferior a 16 km/h (Wright y Bailey, 1982).

No hay limitaciones de temperatura en la ejecución de quemas de restos de corta sin cubierta (Wade y Lunsford, 1989).

Fotografía 2.38. El comportamiento del fuego pasa a ser más agresivo e impredecible bajo condiciones de calor y baja humedad. En cierta manera y empleando terminología de la dinámica de fluidos, se comporta siguiendo un régimen turbulento en vez de laminar. La radiación y los saltos de pavesas ganan peso en los patrones de propagación.

Incendio en un día de verano con altas temperaturas. Se observa el fuego propagándose vivamente por el estrado de herbáceas terófitas, alcanzando al matorral de jaras y transmitiéndose con facilidad a la copa de una carrasca por radiación.

Alanís (Sevilla).

[4] El valor de 27 ºC es cercano a 30 ºC, que es el usado en la regla nemotécnica "de los 30" sobre la comportamiento del fuego.

Tabla 2.15. Relación entre temperatura ambiente, comportamiento del fuego y rangos habituales para quemas (adaptado empleando datos de Wright y Bailey, 1982; Wade y Lunsford, 1989; Vega *et al*., 2001)

Tª (ºC)	Comportamiento del fuego
< 0 ºC	Los pastos no arden a menos que sean densos. Se pueden realizar quemas con niveles de humedad más bajos de los habituales, ya que el cambio de estado del agua consume mayor energía.
< 5ºC	Las pavesas que se escapan prenden con gran dificultad.
5-16ºC	Rango óptimo para realizar quemas de invierno habituales bajo cubierta o en montes desarbolados. Las igniciones por prendido de pavesas son raras.
>27 ºC	Límite superior para realizar quemas bajo dosel y así eliminar a juveniles competidores en momentos de actividad vegetativa. La cubierta arbórea debe estar a la suficiente altura de manera que las emisiones se enfríen lo suficiente y no dañen innecesariamente a los árboles dominantes. Los fuegos son virulentos y las quemas inseguras a partir de este umbral de temperatura.

La temperatura ambiente guarda relación con los prendidos por pavesas en los fuegos unida a otros factores, como son el viento, la naturaleza del combustible emisor, la pendiente y la presencia de herbáceas u otros combustibles finos en el lugar de recepción de la pavesa (Guijarro *et al*., 2005). Wright y Bailey (1982) afirman que los 16 ºC es el umbral de temperatura ambiente a partir del cual los saltos de fuego por el vuelo de pavesas incandescentes empiezan a alcanzar distancias considerables, del orden de decenas o centenares de metros.

Por último, cabe apuntar que es común que haya fuegos intensos en la península ibérica durante los episodios anticiclónicos invernales —principalmente, en febrero y marzo—, ya que los combustibles pueden arder a baja temperatura ambiente. Es la época en que las quemas suelen ejecutarse en diversas comarcas españolas.

Fotografía 2.39. Las quemas pueden hacerse con bajas temperaturas, incluso con humectaciones recientes del combustible como se observa en la imagen. Las heladas nocturnas fuerzan la desecación de la vegetación; aun así, el humo denota contener una gran cantidad de vapor de agua.

Quema para renovación de pastadero. Sobreviñas (Burgos).

2.3.3. VIENTO

El viento es un factor fundamental en el comportamiento del fuego y la fuerza que más influye en su dirección, velocidad e intensidad de avance. Sobre todo, se trata de un agente inestable y cambiante en dirección y módulo, y a veces difícilmente predecible. Dos características importantes del comportamiento del fuego están relacionadas con la velocidad del viento: la velocidad de propagación y la intensidad. Ambas repercuten en la dificultad de control y en el rendimiento de la quema (Martínez, 2001). La circulación del aire también repercute sobre los ritmos de desecación de los combustibles.

El viento genera dos efectos contrapuestos sobre los focos de ignición: por un lado, tiene una acción enfriadora que favorece la extinción; por otro, deseca e insufla oxígeno, que alienta a la propagación (Wright y Bailey, 1982). El aire provoca un presecado y calentamiento de los combustibles en los frentes de llama a favor, lo que retroalimenta positivamente a la intensidad y a la velocidad de avance. En ocasiones, además, produce vuelos de pavesas que aceleran y "desordenan" el patrón de propagación del fuego (Whelan, 1995).

Un viento estable en dirección y fuerza es preferible a la calma para la ejecución de quemas, ya que proporciona mayor seguridad en la conducción de los frentes de llama y simplifica el trabajo. La persistencia de los vientos es importante para las quemas, y ello depende de la posición de la parcela y de la meteorología del lugar.

Fotografía 2.40. El viento, incluso una brisa ligera, afecta al fuego; sobre todo, en su sentido de avance e intensidad.

Cabezón de la Sierra (Burgos).

La velocidad del viento está estrechamente relacionada con la velocidad de propagación en fuegos superficiales —al menos, para vientos flojos o moderados (Dupuy, 2009)—, y eso proporciona seguridad en el avance de los frentes de llama. Los vientos moderados son preferibles a los flojos, porque suelen soplar con mayor constancia y deben usarse para aplicar fuego en las áreas más críticas en términos de combustible y topografía (Wade y Lunsford, 1989; Fernandes *et al.*, 2002). Las brisas suelen ser bastante regulares tras el paso de los frentes fríos invernales.

La calma atmosférica ocasionalmente ofrece limitaciones para ejecutar quemas, ya que la ausencia de viento facilita una preponderancia de las dinámicas del fuego dominadas por las turbulencias diferenciales debidas a la interacción entre la llama y los gases calientes ascendentes, así como los flujos de aire fresco desplazados por los anteriores. Este efecto es notable cuando se encuentran frentes de llama, ya que las sinergias en ausencia de viento facilitan comportamientos caóticos en tales interacciones. Es decir, la falta de viento como "fuerza superior" de los flujos de gases de la quema predispone dinámicas del fuego en régimen turbulento, a veces inestables e impredecibles en los encuentros de frentes de llama. El comportamiento regular del viento tendrá menor importancia cuanto más fácil sea la quema.

Es posible llevar a cabo quemas en situaciones de vientos débiles compensando la falta de fuerza del aire con el efecto de la pendiente. Pero en inclinaciones suaves el avance será más lento, el calentamiento y consumo del suelo mayor, los rendimientos más bajos y el fuego se puede comportar de una forma más errática (Vega *et al.*, 2001).

La velocidad del viento que influye sobre el comportamiento del fuego es la que incide sobre la línea de este (Rothermel, 1972; Albini y Baughman, 1979); se denomina "velocidad a media altura de llama" o "a la altura del ojo" (Wade y Lunsford, 1989)[5], y suele considerarse la velocidad a 1,5-2 m de distancia al suelo (Rothermel, 1983)[6].

Según Wade y Lunsford (1989), las velocidades del viento en las quemas llevadas a cabo en montes desarbolados pueden ser mayores que bajo cubierta, ya que no hay riesgo de dañar a los árboles. La velocidad del fuego en este caso debe observarse para asegurar una reducción del combustible suficiente y limitar los problemas de acumulación del humo en el nivel superficial. En las quemas de superficie con vientos de hasta 5-6 km/h, pueden surgir problemas de acumulación de humos inclusive con fuegos a favor. Es posible ejecutar quemas de montones o hileras de restos hasta con velocidades de unos 15 km/h, con esos vientos hay una buena dispersión de humo y un patrón de combustión adecuado.

Fotografía 2.41. Las llamas son gases en combustión; por tanto, se encuentran a merced de la influencia del movimiento del aire y por eso son tan cambiantes. No obstante, también pueden llegar a condicionar a parte del ambiente al generar corrientes de aire para mantener y hacer crecer la combustión.

Torbellino de ceniza y polvo sobre un quemado agrícola.

Espinosa de Cerrato (Palencia).

[5] Las velocidades del viento para quemas que aparecen en el texto se refieren a esta "altura del ojo".

Fotografía 2.42. Conato conducido por el viento, aunque el patrón de propagación también está influido por la heterogeneidad del combustible.

San Martín de Valdeiglesias (Madrid).

Se debe tener en cuenta que las velocidades del viento se ven modificadas por la presencia de arbolado (Fuentes, 1966) en los fuegos bajo dosel produciendo efectos de fricción distintos de acuerdo con las características de la cubierta (Schroeder y Buck, 1970; Albini y Baughman, 1979). El tamaño del área boscosa y su posición orográfica, así como su densidad, influyen sobre estas velocidades y son menores en los rodales arbolados "grandes", entendidos como los que tienen aproximadamente, al menos, 20 veces la longitud de la altura media de los árboles coronados en el sentido de circulación del aire (Fernandes *et al.*, 2002).

Rothermel (1983) estudió el efecto de la cobertura de la vegetación y la exposición topográfica sobre la velocidad del viento (**tabla 2.16.**). No obstante, hay que tener en cuenta que existe cierto desajuste a la hora de usar los factores de reducción de la **tabla 2.16.** directamente en España. Esto se debe a que los factores de reducción fueron calculados para multiplicarse con la velocidad del viento a 6 metros sobre la cubierta vegetal, cuya altura es variable en cada formación, y a que los datos generales de velocidad del viento obtenidos de los servicios meteorológicos españoles se refieren a 10 metros sobre el suelo descubierto[7].

La velocidad del viento bajo cubierta es importante porque incide en la altura de chamuscado de los troncos y en la de soflamado de las copas (Byram, 2006). Wade y Lunsford (1989) señalan que los vientos relativamente rápidos disipan mejor el humo y el calor bajo la cubierta y disminuyen los daños al arbolado respecto a vientos lentos en patrones de quemado con frentes de llamas a la contra. No obstante, hay que quemar con unas velocidades de compromiso asimilables a vientos flojos (1,5-5 km/h a la altura del ojo) si se usan frentes a favor, ya que vientos más fuertes aumentan demasiado la intensidad y la velocidad de propagación. Por otra parte, la ausencia de viento hace que el calor bajo las copas no se disipe incrementando también los daños al arbolado.

Tras la extinción de las llamas vivas, es necesario que haya cierta ventilación en la parcela de quema para evacuar a los humos de la combustión de ascuas.

Fotografía 2.43. Los vientos tienen un efecto insuflador sobre los frentes de combustión aumentando su intensidad y velocidad. El calor, por su parte, influye en la facilidad de ignición.

Contrafuego iniciando su avance contra el viento. La maniobra se realizó en una situación desfavorable. No resultó como había sido previsto y el fuego atravesó el camino por salto de pavesas.

Incendio en Cesures (Orense/Ourense).

[6] Las mediciones directas de velocidades suelen realizarse con un anemómetro. Lo idóneo es que proporcione valores medios tras 10 minutos de medición. Si es un aparato sencillo, se recomienda medir los valores máximos y mínimos durante un minuto y repetir esta operación varias veces para afinar el resultado medio (Fernandes *et al.*, 2002).

[7] Vega *et al.* (2001) aconsejan usar un factor reductor de 0,56 para estimar la velocidad del viento a 2 m en superficies descubiertas a partir de un dato de un servicio meteorológico (proporciona datos a 10 m de altura sobre la superficie). Ej. 10 km/h x 0,56 = 5,6 km/h a media llama.

Tabla 2.16. Factores de ajuste para obtener la velocidad del viento a media llama a partir de las velocidades del viento a 6 m sobre la cubierta vegetal (Rothermel, 1983).

Exposición del combustible	Modelo de combustible	Factor de reducción
Expuestos Combustibles directamente expuestos al viento: no cubiertos o con cobertura arbórea dispersa; bajo cubierta sin hojas; bajo cubierta cercanos a claros; sobre crestas elevadas donde los árboles ofrecen poca protección al viento.	4	0,6
	13	0,5
	1, 3,5,6,11,12 (2,7)[1] (8,9,10)[2]	0,4
Parcialmente protegidos Combustibles bajo golpes de arbolado donde el combustible superficial no está bien abrigado; combustibles bajo cubierta a media pendiente o más alto donde el viento sopla directamente sobre la pendiente.	Todos los modelos	0,3
Completamente protegidos Combustibles protegidos bajo cubierta en llano, o pendientes suaves o cercanos al piedemonte de colinas escarpadas.	Todos los modelos	0,2 (rodales abiertos)
		0,1 (rodales densos)

[1] Combustibles por lo general parcialmente protegidos.
[2] Combustibles por lo general muy protegidos.

Hay que valorar la influencia de los centros de bajas presiones, el paso de frentes y los cambios atmosféricos causados por la llegada de estos, así como el efecto de los vientos topográficos y de las brisas marinas, sobre la circulación de los vientos en el área de tratamiento en la planificación de las quemas. También deben tenerse en cuenta los riesgos de los días de calma asociados a los anticiclones, en los que se suelen originar corrientes por el calentamiento solar del suelo que pueden ser irregulares. Los vientos nocturnos suelen ser ligeros y constantes, adecuados para las quemas, aunque puede haber episodios cortos de gran velocidad; comúnmente, antes del amanecer, cuando el enfriamiento es máximo.

Algunas prescripciones de quema presentan rangos de velocidades del viento muy variables, así como de otras variables ambientales, en función del objetivo de cada tratamiento, la técnica de conducción del fuego elegida y la realidad del ecosistema (Wright y Bailey, 1982). De modo generalista, las velocidades del viento recomendadas para ejecutar algunas quemas relativamente habituales se exponen en la **tabla 2.17.**

Tabla 2.17. Velocidades del viento habituales para tipos de quema generalistas (a 2 m sobre el suelo) (adaptado a partir de datos de ICONA, 1981a; Wright y Bailey, 1982; Wade y Lunsford, 1989; Martínez, 2001; Vega *et al.*, 2001)

Tipo de quema según combustibles	Rango de velocidades del viento	Comentario
Restos esparcidos	0-6 km/h	Puede haber problemas de mala ventilación de humos con estas velocidades del viento.
Umbral de referencia	7,2 km/h	Umbral a partir del que la influencia del viento sobre el comportamiento del fuego es preponderante debido al nivel de insuflación de oxígeno.
Restos apilados o acordonados	0-15 km/h	
Matorral	1,8-15 km/h	La velocidad de propagación del frente a favor se incrementa peligrosamente por encima de los 11 km/h, las quemas de flanco se ralentizan, el riesgo de prendidos por pavesas aumenta y el consumo de combustible disminuye.
Arbustedos de quercíneas en clima mediterráneo	0-5 km/h	Es posible conducir el fuego hasta 8-13 km/h y lograr tratamientos adecuados. Son valores aplicados en quemas de chaparral californiano.
Bajo arbolado	1,5-5 km/h	Las velocidades pueden ser mayores si se quema con frentes a la contra.
Umbral de referencia	32 km/h	Umbral a partir del que el control del avance del fuego es francamente difícil y los vuelos de pavesas son constantes con algunos tipos de combustibles.

2.3.4. PRECIPITACIONES

La importancia de las precipitaciones es obvia por su repercusión directa sobre la humedad del combustible, del mantillo, del suelo y del aire. Tanto la cantidad como la duración de las precipitaciones son significativas (Fernandes *et al.*, 2002). Además, la tipología de la precipitación y el contexto meteorológico en que se produce —es decir, la concatenación de las diferentes situaciones atmosféricas que pueden presentarse: más o menos agua, vientos, variaciones de calor, etc.— también influyen.

El agua afecta a los combustibles de forma diferente según como aparece:

- Si se presenta en forma de lluvia, percola inmediatamente humectando más o menos capas internas del mantillo y del suelo según el caudal.
- En forma de nieve, se apoya sobre la vegetación en ambientes fríos permaneciendo durante un tiempo y termina licuándose con la subida de las temperaturas, humedeciendo pausadamente al combustible y al suelo por más tiempo.
- Finalmente, las precipitaciones horizontales son habitualmente ligeras y tienen un efecto temporal corto, como el rocío de la mañana, con un efecto efímero, pero suficiente, para facilitar el uso del fuego en determinadas circunstancias.

La influencia de las precipitaciones sobre la humedad del mantillo y del suelo es importante no solo porque condiciona el comportamiento del fuego, sino también porque regula la severidad de este sobre los bancos de semillas, estructuras vegetativas, materia orgánica, microorganismos, etc.; es decir, condiciona el posible legado del ecosistema tras la combustión.

La duración del influjo de las precipitaciones depende asimismo del relieve, del suelo, de la vegetación y de las condiciones atmosféricas posteriores a su caída, aspectos observados anteriormente.

Si bien las observaciones meteorológicas y los modelos de interpolación a toda la superficie del territorio son cada vez mejores, el conocimiento exacto de las precipitaciones en la parcela solo puede hacerse midiendo *in situ* con un pluviómetro (Wade y Lunsford, 1989).

Fotografía 2.44. Las precipitaciones modifican rápidamente la humedad del combustible entorpeciendo la combustión. La duración de su efecto depende de la cantidad, forma y ritmo del agua depositada, de las condiciones atmosféricas subsiguientes, de las características de la vegetación, de los suelos y del relieve del lugar.

Tormenta de verano sobre la sierra de Espadán. Las precipitaciones desploman por un breve período la susceptibilidad a arder del monte. Por otra parte muchos de estos episodios estivales están acompañados por aparato eléctrico y pueden generar incendios tras unas horas o días, cuando la influencia de la humedad desaparece.

Segorbe (Castellón/Castelló).

Fotografía 2.45. La forma de las precipitaciones condiciona su influencia. La nieve, por ejemplo, evita que la vegetación a la que cubre pueda arder y suele pasar a forma líquida de un modo relativamente pausado, de forma que humecta bien a la necromasa y al suelo prolongando su efecto.

Bosque dominado por *Pinus sylvestris*.

El Espinar (Segovia).

2.3.5. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

La estabilidad atmosférica es la resistencia de la atmósfera al movimiento vertical del aire. Según Schroeder y Buck (1970), el gradiente de calor en la columna atmosférica y el nivel de saturación de cada capa determinan la estabilidad. En general, observando solo el calor, se está en condiciones de estabilidad atmosférica cuando la variación de temperatura es inferior a -1 ºC/100m al aumentar la altitud. El grado de estabilidad puede estimarse directamente mediante radiosondeos o con la observación de señales visuales, o indirectamente empleando la interpretación de diagramas termodinámicos o con el uso de diversos índices; por ejemplo, el de Haines es específico para estimar la facilidad de desarrollo de los incendios (Tragsa, 2013).

El grado de estabilidad de la atmósfera influye significativamente sobre el comportamiento del fuego haciendo que el desarrollo de la combustión sea más o menos vivo, así como en la evacuación y dispersión del humo. Su efecto es de tal importancia que se observa una fuerte correlación entre los grandes incendios y el desarrollo de estos eventos en condiciones de inestabilidad atmosférica.

La estabilidad produce condiciones uniformes para la conducción del fuego, mas tiende a restringir el desarrollo de corrientes convectivas y la evacuación del humo hacia capas altas de la atmosfera. La altura del estrato de mezcla o dilución de la columna de convección con el aire, así como la velocidad del viento a esa altura, son factores importantes para la disipación del humo. La altura de mezcla suele ser baja y los vientos flojos en condiciones de estabilidad atmosférica, de modo que el humo se disipa lentamente. Las inversiones térmicas marcadas, por su parte, limitan claramente la altura de evacuación y dispersión del humo con los problemas que esto conlleva.

Fotografía 2.46. Frente de nubes bajas sobre la sierra de Guadarrama. Las nubes estratificadas, nieblas u horizontes de inversión son usuales en condiciones de estabilidad atmosférica. Signo de estabilidad.

Vista desde Valdemorillo (Madrid).

Fotografía 2.47. Las condiciones atmosféricas varían con la altitud, aspecto que no se debe olvidar en zonas de montaña porque se pueden generar contrastes significativos en áreas cercanas. Mar de nubes en las islas Canarias. La estabilidad atmosférica es distinta bajo la capa de nubes que sobre ella.

Observatorio de Izaña, La Orotava (Tenerife).

Una atmósfera inestable facilita la evacuación y dispersión del humo en altura, ya que el gradiente de temperaturas provoca la elevación de los gases calientes hacia el lugar en que se enfrían y expanden hasta que su volumen y temperatura son iguales a los de la masa circundante; sobre todo, si la columna de humo es alimentada vigorosamente. Sin embargo, un grado de inestabilidad excesivo dificulta las quemas, pues el fuego se comporta de manera errática e intensa. La inestabilidad se retroalimenta porque el fuego aumenta la actividad convectiva produciendo corrientes superficiales de aire fresco que alimentan a la combustión.

Además de situaciones de estabilidad e inestabilidad, también hay atmosferas neutras en las que el aire ascendente se mantiene a la misma temperatura que el circundante según gana altura. Es decir, se producen columnas de gases calientes cuya temperatura disminuye con la altitud, lo que es igual al gradiente adiabático seco de 1 ºC por cada 100 metros de ascensión. La dilución del humo de una quema en estas situaciones puede ser adecuada con el viento suficiente, aunque una atmósfera neutra no siempre resulta apropiada para lograr que el fuego se comporte de la manera que se busca (Wade y Lunsford, 1989).

La estabilidad atmosférica varía a lo largo del tiempo con patrones típicos para cada momento y época. Por ejemplo, la creación de capas de inversión térmica cercanas al suelo se facilita de noche debido a que la tierra se enfría rápidamente y, con ella, el aire más cercano a la superficie, pero no así el inmediatamente superior. De ese modo, es común observar bolsas de humo confinadas a primera hora de la mañana bajo tales condiciones. La inestabilidad atmosférica presente en determinados momentos del otoño e invierno, por ejemplo, también facilita las quemas; especialmente, cuando la humedad del combustible es elevada (Fernandes *et al.*, 2002). Hay que vigilar el paso de los frentes meteorológicos si se están ejecutando quemas, ya que estos producen alteraciones en la estabilidad y escenarios atmosféricos contrastados antes y después de que la borrasca o el anticiclón lleguen.

Wade y Lunsford (1989) apuntan que las condiciones atmosféricas usualmente preferibles para realizar una quema bajo cubierta son una atmósfera neutra o ligeramente inestable —para obtener un adecuado comportamiento del fuego—, una altura de mezcla del humo con el aire de entre 500 y 2.000 metros sobre la superficie y una velocidad del viento en estrato de dilución de entre 15 y 32 km/h que permita evacuar al humo del área sin problemas. En el mismo sentido, Martínez (2001) recomienda elegir bien el momento de la quema. Las condiciones de estabilidad hacen a los fuegos menos intensos, pero el tiempo de permanencia de la combustión y la reducción del combustible son mayores aparte de que la evacuación del calor bajo las copas es más lenta y, por tanto, el riesgo de daños al arbolado por chamuscado y soflamado aumenta. Se debe elegir ese momento con un grado de inestabilidad adecuado que evite estos inconvenientes, pero que aún genere fuegos poco intensos. Hay que tratar de terminar la quema en cuanto aparezcan signos de fuego errático bajo condiciones de inestabilidad, ya que el riesgo de efectos indeseados aumenta. No obstante, estos problemas son menores con las técnicas de ignición desde el suelo, aunque no así en encendidos aéreos dada la velocidad con que se realizan (Wade y Lunsford, 1989).

Para quemas de parcelas desarboladas —como de restos de corta o matorrales que se quieren renovar—, es recomendable quemar bajo situaciones de inestabilidad que faciliten fuegos fuertes y una evacuación del humo por columna convectiva. Las succiones de aire superficial desde los bordes de la parcela provocadas por chimeneas de convección vigorosas pueden ser en esos casos un elemento de seguridad en la quema, pero es necesario vigilar que no aparezcan vientos que puedan provocar la deposición de pavesas incandescentes en zonas aledañas. Estas quemas deben realizarse de día en las parcelas con pendiente para aprovechar las brisas ascendentes, que facilitan la creación de fuertes columnas de evacuación.

Tabla 2.18. Signos del estado atmosférico

Estabilidad atmosférica	Inestabilidad atmosférica
Viento constante.	Vientos fuertes; a veces, de dirección variable.
Nubes en capas o estratos.	Nubes de desarrollo vertical.
Visibilidad reducida por neblinas.	Buena visibilidad.
Humos extendiéndose en horizontal a cotas bajas.	Humo ascendente en vertical hasta cotas altas.

Fotografía 2.48. Cumulonimbo, nube convectiva de evolución diurna. Signo de inestabilidad atmosférica.

Los cumulonimbos son comunes a finales de primavera y en verano en el interior de la península ibérica y en días con procesos tormentosos.

Gran cumulonimbo en Purmamarca (Provincia de Jujuy, Argentina).

Fotografía 2.49. La inversión térmica es un efecto típico de los fondos de valle en las mañanas de calma atmosférica. En la imagen se observa el humo de una quema de restos que queda confinado en un horizonte de aire más frío que detiene a la convección vertical.

Riosa (Asturias).

2.3.6. OBSERVACIONES Y PRONÓSTICOS DEL TIEMPO

La ciencia meteorológica es imprescindible para poder ejecutar quemas prescritas. La humedad relativa, el calor ambiente, las características del viento, las precipitaciones y la estabilidad de la atmósfera influyen directamente sobre el comportamiento del fuego y determinan la humedad de los combustibles y del suelo (Wade y Lunsford, 1989).

Los forestales que realicen quemas deben aproximarse a la observación meteorológica en el territorio en que trabajen, ya que los patrones de comportamiento del tiempo atmosférico son repetitivos dentro de un rango, lo que permite alcanzar, junto con el uso de los pronósticos, mayor eficiencia en las tareas. Fernandes *et al.* (2002) presentan de forma sinóptica los patrones típicos del clima del Portugal continental mes a mes, lo que facilita elegir las épocas más adecuadas para ejecutar quemas.

Por su parte, los pronósticos del tiempo resultan fundamentales para un adecuado desarrollo de las quemas. Una buena predicción meteorológica puede evitar muchos problemas y tropiezos; sobre todo, cuando se esperan vientos fuertes o variaciones atmosféricas.

Las predicciones alertan del paso de frentes o de otras situaciones meteorológicas. También reducen los errores de seguridad en las quemas, porque hacen posible prever los riesgos con antelación y evaluar anticipadamente la necesidad de remates intensos del quemado o aplazar el tratamiento (Wright y Bailey, 1982; Larrañaga *et al.*, 2007).

En los pronósticos, se deben estudiar al menos tres cuestiones importantes:

a) Los cambios previsibles en la dirección y fuerza del viento, comunes a veces en las horas centrales del día.

b) La evolución de las borrascas, los anticiclones y sus alternancias, que generan variaciones en la estabilidad atmosférica que tienen repercusiones en el comportamiento del fuego.

c) La llegada de precipitaciones, que suelen obligar a aplazar las operaciones y replantear las prescripciones.

El uso adecuado de las predicciones meteorológicas puede ahorrar costes de desplazamientos y preparativos a los equipos de quemas, además de señalar cuándo una quema puede ejecutarse con seguridad (Wright y Bailey, 1982).

La información meteorológica es bastante fiable y exacta en la actualidad, y se realizan amplios estudios que conviene utilizar. Las proyecciones a varias horas y días vista que algunos servicios meteorológicos realizan a escala local, así como otras fuentes, constituyen herramientas interesantes para planificar y ejecutar los trabajos adecuadamente.

Fotografía 2.50. Frente frío en progresión hacia el este por la campiña de la meseta norte provocando chubascos a su paso. Estar alerta de los cambios atmosféricos es esencial para hacer quemas con pericia, ya que cada combinación de temperatura, vientos, humedad o presión modifica el patrón de comportamiento del fuego.

Encinas (Segovia).

Fotografía 2.51. La vigilancia de las previsiones meteorológicas, como se ha señalado antes, debe ser más estrecha en las zonas montañosas porque los cambios a veces son rápidos y drásticos. La combinación de montañas con la cercanía al mar hace que la dinámica atmosférica tenga marcados contrastes en la cornisa cantábrica.

En la imagen se observa la llegada al amanecer de un frente nuboso que cambió por completo lo que parecía iba a ser la jornada. La noche fue despejada, con calma atmosférica y una helada relativamente fuerte.

Los Llanos, Morcín (Asturias).

La conclusión es clara: alrededor del 75% de los incendios conocidos, y conocemos más porcentaje de la población que el muestreo más intenso, tiene el mismo origen: uso rural del fuego para el manejo de vegetación. La causa de los incendios forestales es, en su parte esencial, la utilización del fuego como herramienta de manejo del territorio.

Mariano Torre. La situación actual del problema de los Incendios Forestales en España (2009).

3 TÉCNICAS DE ENCENDIDO Y CONDUCCIÓN DEL FUEGO EN LAS QUEMAS

El fuego es peligroso. Manejar a un agente destructivo y fácilmente incontrolable requiere una adecuada comprensión de su dinámica, una planificación concienzuda de su uso y ciertas medidas de contención para el caso de que el control se pierda. Desde el enfoque forestal, se añade además que parte de los efectos del fuego sobre el monte dependen del comportamiento de la combustión, por lo que la importancia de un manejo facultativo es alta para lograr fines selvícolas y, en menor medida, también pastoriles. Las técnicas de encendido y conducción usadas en las quemas se basan en la dinámica del comportamiento del fuego, sobre la que se puede influir de diversas formas:

- Eligiendo el momento más adecuado para realizar el tratamiento: época, período del día, condiciones ambientales y de humedad del combustible.
- Modificando al combustible en cierto grado: compactándolo, cortándolo y dejándolo secar, extrayendo parte para variar su carga, etc., mas estas operaciones se realizan de forma limitada en grandes superficies dado su elevado coste.
- Optando por la técnica de encendido idónea; es decir, escogiendo cuándo y en qué lugar el fuego va a iniciarse, de qué manera, en qué orden, cantidad, espaciamiento, ritmo y hacia dónde y a qué velocidad se espera que los frentes de llama se desplacen.

Jugando con estos aspectos, es posible lograr un comportamiento del fuego adecuado y, de ese modo, conseguir las metas buscadas con el tratamiento.

3.1. NOCIONES DE COMPORTAMIENTO DEL FUEGO PARA LA EJECUCIÓN DE QUEMAS

Los parámetros básicos que describen la dinámica del fuego son la velocidad de propagación, la longitud, la inclinación y la anchura de la llama, la intensidad lineal, la cantidad de energía desprendida y el tiempo de permanencia (Vega *et al.*, 2001); estos parámetros determinan la agresividad del fuego, que se refleja en la dificultad de su control e influye en la severidad de los efectos sobre el ecosistema.

Conocer cuál es el principal factor en la propagación del fuego en cada situación, las relaciones de fuerzas que determinan la propagación, las formas de transmisión del calor en las distintas situaciones de avance de los frentes de llama, así como la circulación de los gases asociados, resulta importante para poder elaborar estrategias de ignición lógicas y efectivas.

Fotografía 3.1. Incendio originado en una estación eléctrica bajo condiciones de inestabilidad atmosférica que avanza rápidamente conducido por el viento.

Galapagar (Madrid).

3.1.1. TIPOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO SEGÚN FACTORES DOMINANTES

Grillo *et al.* (2007 y 2008) explican que los incendios pueden clasificarse en función del factor más determinante de la propagación. Estos factores son principalmente el viento, la topografía y el combustible. Uno de ellos es dominante cuando determina hegemónicamente el crecimiento del fuego, si bien lo normal es que este muestre comportamientos mixtos al verse influido por distintas fuerzas. En las parcelas de quema, resulta interesante analizar qué factor puede ser el más determinante en el desarrollo de un fuego, ya que esto ayudará a tomar decisiones relacionadas con la elección del momento de ejecutar la quema, establecimiento de las técnicas de ignición más apropiadas y patrones temporales y espaciales de encendido que utilizar.

3.1.1.1. Propagaciones conducidas por el viento

El viento suele ser el propagador más influyente en la mayor parte de las ocasiones ya sea porque su fuerza es importante o porque no hay otro factor de peso; por ejemplo, en superficies llanas y homogéneas.

En general, resulta preferible la presencia de viento que la calma atmosférica para la ejecución de quemas, y lo idóneo es que las brisas sean constantes en dirección y fuerza durante la ignición y conducción. De ese modo, es posible utilizar un elenco amplio de técnicas de encendido y conducción del fuego con seguridad.

Las conducciones por viento son habituales para las quemas de montes desarbolados, como matorrales y herbazales; sobre todo, en orografías suaves, aunque se suelen modular con la influencia de las pendientes y otros aspectos de la topografía del sitio.

3.1.1.2. Propagaciones topográficas

Aparecen cuando la pendiente o formas del terreno complejas, como vaguadas o collados, son el factor principal en el avance del fuego.

3.1.1.2.1. Laderas

Comúnmente, las quemas se realizan en terrenos inclinados. En condiciones de relativa calma atmosférica, los frentes de fuegos a favor en estos lugares suelen tener su eje de avance mayor perpendicular a la pendiente del terreno y velocidades de avance elevadas, de modo que suelen hacer carreras bastante rápidas. Generalmente, estas propagaciones se ven apoyadas por brisas topo-

Fotografía 3.2. Los frentes a favor en laderas suelen tener altas intensidades y avances rápidos. En la imagen también se observa la considerable anchura del frente de llamas y la influencia de los vientos anabáticos.

Zapadores forestales a la espera de apoyo aéreo para hacer el control de llama. Vilariño de Conso (Orense/Ourense).

gráficas más o menos suaves debido al calentamiento del suelo por el sol a lo largo del día —sobre todo, en las solanas— y por la propia circulación de los gases del frente de llama. Para la contención de los frentes a favor en estas quemas es necesaria un área segura relativamente ancha, o usar otras técnicas de encendido que hagan que la propagación del fuego siga patrones distintos.

En tales casos, los frentes de llama de flanco suelen ser bastante estables y seguros. Los frentes en contra dan mucha seguridad, pero acostumbran a tener un avance lento, ya que se oponen frontalmente al factor principal que determina la propagación.

3.1.1.2.2. Vaguadas

Las vaguadas, barrancos y quebradas son lugares complejos respecto al comportamiento del fuego porque la orografía influye notablemente en la circulación del aire. En estos sitios se producen inversiones térmicas y calmas aparentes que pueden deshacerse violentamente, y a veces también hay fuertes circulaciones de viento por el efecto corredor e incluso saltos de fuego entre laderas por radiación o por circulación de pavesas en remolinos de humo confinados en la vaguada. Las quemas no son muy comunes en estos accidentes topográficos debido a que se trata de áreas en las que la vegetación suele tener importancia; por ejemplo, desde el punto de vista del ciclo hidrológico.

Las quemas en barrancos estrechos tienen que realizarse con precaución sectorizando el área de quema en parcelas pequeñas, quemando las laderas opuestas en días distintos si se prevén problemas, teniendo presentes los cambios de las condiciones ambientales (hora de rotura de la inversión, etc.) y buscando épocas y momentos del día en que el comportamiento del fuego sea poco intenso, como tras lluvias, en horas tempranas de la mañana o últimas de la tarde, de noche, etc.

Fotografía 3.3. Los comportamientos de los frentes de llama en los barrancos o vaguadas son complejos y muchas veces intensos y erráticos.

Torbellino de fuego en el interior de una pequeña vaguada en un incendio de herbazal. Villanueva del Pardillo (Madrid).

3.1.1.2.3. Collados

Es normal que en los puertos o pasos de montaña haya vientos fuertes. Esto se debe a que son estrechamientos que canalizan de modo forzado caudales de aire de áreas más extensas, por lo que la velocidad del viento es alta. Las quemas deben ejecutarse aquí en momentos de calma o con condiciones atmosféricas estables que garanticen una dirección y fuerza del viento constantes.

3.1.1.3. Propagaciones conducidas por los combustibles

Esto ocurre cuando la distribución y cantidad de la vegetación disponible determinan el patrón de propagación del fuego. La conducción es la forma de transmisión principal del fuego en muchos tipos de quemas, aunque la radiación también resulta importante.

La distribución más o menos heterogénea de los combustibles en las parcelas de quema ha de ser considerada para elegir adecuadamente las técnicas de ignición y su modo de uso, ya que son de esperar comportamientos del fuego distintos en cada rodal o golpe de vegetación en esos casos. Puede haber velocidades de avance o intensidades lineales contrastadas según cada tipo de combustible que deben preverse para una ejecución segura del tratamiento. La falta de continuidad en ciertas situaciones puede hacer que las tareas de ignición sean más dificultosas.

La conducción por el combustible se usa preferentemente para quemas bajo arbolado, ya que aquí es necesaria cierta brisa con la que evacuar al calor bajo el dosel, pero no para empujar al fuego, que debe progresar por la superficie de modo continuo. La conducción por combustibles también se da en las quemas de restos selvícolas, tanto en pilas como en despojos esparcidos.

Fotografía 3.4. Frente conducido por los combustibles; en este caso, una espesa y seca capa de hojarasca de un latizal de *Eucaliptus globulus*.
Quema de ensanche desde línea de defensa.
Incendio en Santoseso, Pravia (Asturias).

3.1.2. TIPOS DE AVANCE DEL FUEGO

Cada tipo de frente de llama tiene una influencia sobre el entorno y un patrón de avance característicos. Estos tipos vienen determinados por los factores de propagación del fuego. Como se ha explicado en el capítulo 2, la triada básica de combustibles, topografía y meteorología está formada por muchos subfactores que pueden aportar amplias variaciones y matices al comportamiento del fuego.

En las **figuras 3.1**. y **3.2.** se muestran los conceptos de barlovento y sotavento, porque son nociones importantes para la ejecución de quemas dada la importancia del viento en la propagación.

Figura 3.1. Estrictamente hablando, barlovento es la parte de la parcela de quema por la que el viento llega, mientras que sotavento es la parte hacia la que se dirige. El patrón de avance de las llamas también se ve influido por la pendiente del terreno. De ese modo, viento y pendiente se combinan definiendo el modo de avance de las llamas. En este capítulo se emplean los términos barlovento y sotavento para definir la tendencia de avance del fuego considerando a ambos factores.

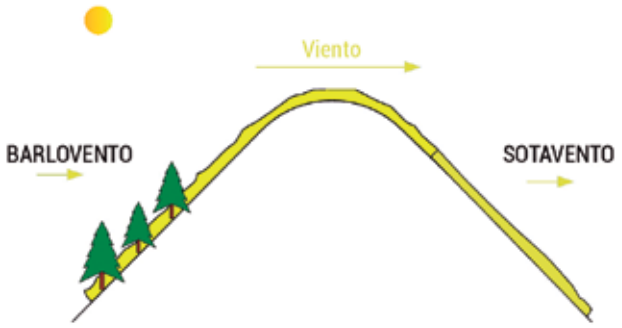


Figura 3.2. Barlovento y sotavento en una colina bajo la influencia de vientos generales.

3.1.2.1. Prendidos puntuales y lineales

Los incendios y las quemas se caracterizan porque, normalmente, el fuego se mueve (Vélez, 2000a), avanza por el espacio consumiendo a la vegetación. Los incendios crecen en superficie según los distintos frentes de llamas se alejan del punto de origen. Usualmente, la combustión de llamas se produce en los bordes de los fuegos, y atrás queda el terreno que se está enfriando con combustión de los restos de vegetación en la fase de ascuas y algunas llamas ocasionales según cada situación.

La mayor parte de los incendios se produce por una ignición puntual, como un rayo o una hoguera. En condiciones homogéneas, el fuego tiende a generar quemados circulares (Ubysz y Valette, 2010). Estos, sin embargo, son raros, ya que solo se encuentra uniformidad en el monte en espacios reducidos y por poco tiempo. Las formas de los incendios llegan a ser tremendamente caprichosas en muchos casos debido a las variaciones espaciales y temporales experimentadas por los factores que controlan el avance del fuego. La transmisión del fuego en los incendios se produce por radiación, convección y conducción, así como por vuelos de pavesas incandescentes, pero este último método no se considera para ejecutar quemas por su aleatoriedad y riesgo evidente.

Por lo general, los incendios terminan teniendo frentes de llamas diferentes —como, al menos, la cabeza, los flancos y la cola— por la acción del ambiente real sobre la propagación. Cada uno de los frentes de llama de un incendio típico posee unas características particulares que han sido estudiadas para poder abordar la extinción en cada lugar y en el conjunto del incendio. Los patrones de avance y particularidades de cada tipo de frente permiten trabajar con el fuego y alcanzar objetivos diversos en el monte por medio de las quemas.

En las quemas se pueden hacer patrones de encendido complejos que incluyan prendidos lineales, intermitentes o continuos, además de puntuales, lo que permite generar rápidamente un elenco amplio de situaciones de combustión. Las igniciones lineales tienen la ventaja de que proporcionan frentes de llama rápidamente, con longitudes, direcciones y sentido de avance elegidos que permiten quemar a la vegetación de una forma u otra.

Una ignición puntual o lineal pasa por tres fases (Grillo *et al.*, 2009):

- **Prendido**: el combustible recibe una fuente de calor, o fuego directamente, y pasa a arder de forma autosostenida.
- **Crecimiento**: el fuego se desarrolla desde el momento en que es autosustentable, y se ve empujado por los factores que intervienen sobre la combustión y por el efecto sinérgico del propio fuego sobre el ambiente hasta el límite físico que imponen esos mismos elementos. Los frentes de llamas crecen en altura, velocidad de avance y energía desprendida por unidad de tiempo.
- **Estabilización**: es el momento en que el frente de llamas sigue un patrón regular después de haber crecido al máximo desde su prendido. Sus características varían junto con los cambios del ambiente en el que progresa.

Figura 3.3. Fases del crecimiento de un frente de llamas desde el prendido hasta su estabilización. Tomado de Grillo *et al.* (2009).

Estas fases son determinantes en la ejecución de quemas. El prendido está condicionado por la humedad del combustible e influye en el ritmo de la quema. La fase de crecimiento y los efectos de confluencia de frentes son importantes en algunas técnicas de quema en las que distintos cordones de fuego convergen para regular la intensidad del mismo y sus efectos sobre el ecosistema. Las particularidades de las diferentes modalidades de avance usadas en las quemas se explican a continuación.

3.1.2.2. Relación de fuerzas en la propagación

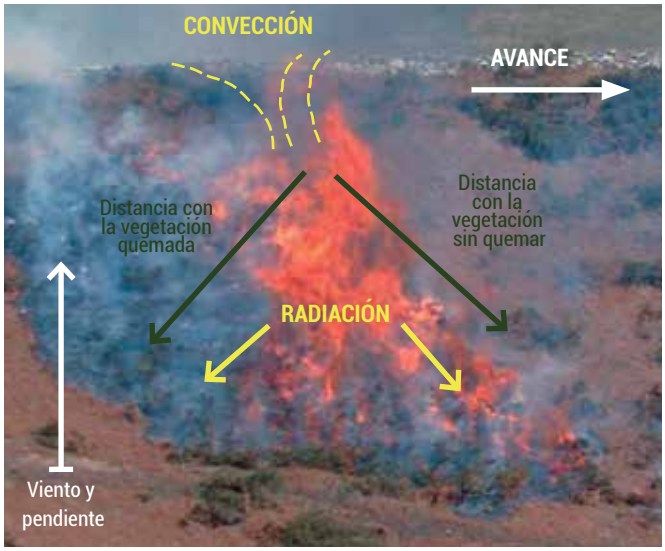
Las características de la propagación del fuego dependen de cómo sea la influencia combinada de los tres grupos de factores básicos. El concepto de relación de fuerzas, mostrado en el sistema de Campbell (Grillo *et al.*, 2008), se basa en que las distintas combinaciones posibles de los factores más importantes de la propagación determinan las características de esta.

El hecho de que haya factores contrapuestos o sinérgicos a favor o en contra de la propagación hace que el frente de llamas sea de una u otra forma. El sistema Campbell utiliza los siguientes elementos de valor:

a) Combustibles-orientación teniendo en cuenta el tipo de vegetación, la temperatura a ras de suelo en el momento del día y otras variables meteorológicas.

b) Pendiente del terreno.

c) Viento.



Fotografía 3.5. Fuego de flanco. Inspirado en Vega *et al.* (2001). Quema en Las Machorras (Burgos).

3.1.2.3. Fuego de flanco

La línea de fuego es paralela al viento (o este está ausente) en este tipo de quema o fuego, de modo que la propagación se produce de manera perpendicular a la dirección del aire. El frente de llamas se encuentra en posición vertical y forma un ángulo de unos 90º con la horizontal del terreno tanto del lado que ya ha ardido como del que aún no. Son frentes paralelos al viento o que evolucionan en llano sin influencia de las corrientes de aire (Martínez, 2001).

En los fuegos de flanco, según Vega *et al.* (2001), la distancia de la llama al combustible sin quemar y al quemado es la misma, por lo que ambos lados reciben una cantidad similar de energía por radiación y con valores intermedios a la que reciben en las situaciones de fuego a favor y fuego en contra (Wade y Lunsford, 1989), en las que las llamas están inclinadas hacia una u otra parte. La longitud de llama también tiene, obviamente, un valor medio entre los otros tipos de avance del fuego. La radiación contribuye moderadamente al precalentamiento de los combustibles sin quemar y a sostener a la combustión de ascuas en la parte ya quemada, pero el calor de convección es evacuado verticalmente sin contribuir al calentamiento de la superficie de ningún lado.

El movimiento del aire en un fuego de flanco está dominado por la corriente convectiva de los gases de la combustión, que se escapan verticalmente a modo de chimenea. Tal evacuación genera una depresión atmosférica en la zona del frente de llamas que atrae a una corriente gaseosa cálida y ligera de la zona quemada, donde el terreno y la vegetación todavía están calientes, y también al aire frío y pesado de la zona sin quemar. Esta corriente de aire fresco que se dirige al frente de llamas en sentido contrario a su avance desde la parte sin quemar es el "contraviento" (Arévalo, 1968), que en este caso se produce por succión, como ya se ha indicado. Los contravientos usualmente son flujos de aire locales y temporales que se producen cerca del fuego (Dupuy *et al.*, 2011).

El fuego avanza hacia la vegetación sin quemar por efecto de la radiación y convección interna en el estrato conductor (Rothermel, 1972), así como por la continuidad del combustible.

El frente de llamas tiene un comportamiento estable en el fuego de flanco debido al equilibrio de fuerzas de los vientos laterales que el cordón de fuego recibe por ambos lados (Martínez, 1997), ya que el vacío de gases que la evacuación vertical genera es simétrico en las dos partes del frente de llamas. Esto explica las virtudes de los fuegos de flanco como contrafuegos o su uso habitual en las quemas. Las oscilaciones momentáneas en las llamas se producen por las turbulencias y bucles generados en el encuentro y mezcla de la masa de aire frío con los gases calientes.

Fotografía 3.6. Frente llamas de flanco.
Incendio en Vilariño de Conso (Orense/Ourense).

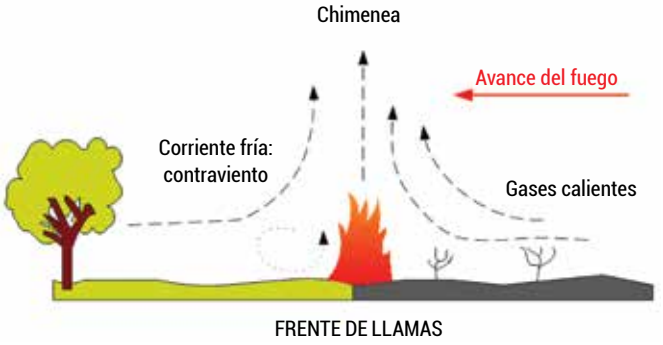


Figura 3.4. Dinámica de gases de un frente de llamas en llano y sin viento.

3.1.2.4. Fuego a favor

El frente de llamas forma un ángulo menor a 90º respecto a la horizontal en el lado de la vegetación sin quemar en la quema o fuego a favor. Avanza en terrenos más o menos llanos empujado por el viento y/o es un frente de llama ascendente por una ladera (Martínez, 2001).

En esta situación, según explican Vega *et al.* (2001), la distancia de la llama al combustible sin arder es relativamente pequeña, lo que implica que el combustible recibe mucho calor por radiación que facilita el presecado y calentamiento de la vegetación. El calor de convección actúa en el mismo sentido; sobre todo, si el fuego asciende pendiente arriba. Esto da lugar a una retroalimentación en el comportamiento del fuego debido a que el precalentamiento del combustible influye sobre el comportamiento del frente de llamas, y viceversa, haciendo que sus intensidades sean grandes y las velocidades de

Fotografía 3.7. Fuego a favor. Inspirado en Vega *et al.* (2001).
Quema en Sobreviñas (Burgos).

avance rápidas. La radiación y convección dentro del estrato de combustible (Rothermel, 1972), así como la continuidad de la vegetación, también contribuyen al avance de las llamas.

En contraposición, la separación de la llama al combustible quemado es grande. El suelo que acaba de arder recibe poco calor de radiación y de convección, por lo que la fase de combustión de ascuas no se ve favorecida. Al ser fuegos rápidos, el impacto sobre el suelo puede ser superficial; fundamentalmente, si se encuentra húmedo.

La pendiente produce un efecto semejante al del viento en caso de fuego ascendente.

3.1.2.4.1. Fuegos a favor débiles

Los frentes a favor débiles son aquellos en los que los vectores de propagación tienen módulos bajos. En tal situación, se observa que las llamas permanecen cerca de la vertical.

En los frentes de llamas a favor débiles se produce un contraviento por la succión del cordón de quema, el cual se envuelve con la corriente convectiva caliente algo inclinada que sale de la combustión generando en el proceso de mezcla un bucle de circulación de gases y humos pesados que realizan un presecado del combustible cerca del frente de llamas (Arévalo, 1968; Martínez, 1997). Pueden ser normales pequeños saltos de fuego en la zona por la recirculación de pavesas, además de que la presencia de personal en esa zona está limitada por el humo.

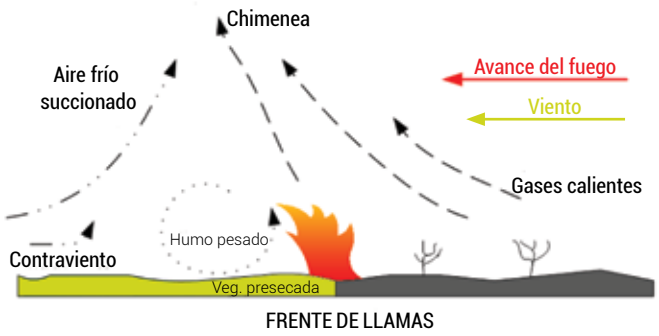


Figura 3.5. Dinámica de gases de un frente de llamas en llano y con viento a favor ligero.

3.1.2.4.2. Fuegos a favor fuertes

Los frentes a favor fuertes son aquellos en los que los vectores de propagación tienen módulos altos debido a que la succión de la chimenea es grande (Arévalo, 1968). En tal situación, las llamas se encuentran bastante inclinadas sobre la vegetación, oblicuas sobre la horizontal, y las velocidades de avance son muy rápidas.

Según Martínez (1997), el contraviento de succión que se pueda generar en estas condiciones es muy débil, por lo que sería inútil para conducir a un contrafuego (Dupuy *et al.*, 2011).

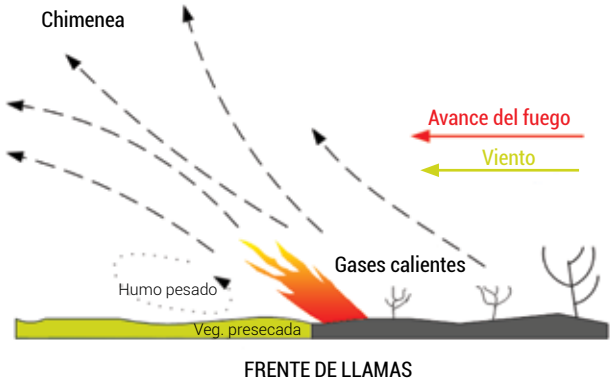


Figura 3.6. Dinámica de gases de un frente de llamas en llano y con viento a favor fuerte.

Los saltos de fuego por pavesas pueden ser normales en estos casos dependiendo de la naturaleza y estado del combustible, pudiendo aparecer prendidos a bastante distancia del frente de llamas. Los contrafuegos para detener a estos frentes de avance en la extinción suelen ser arriesgados y poseen una efectividad baja (Sevilla, 2005). Si hay posibilidad de hacerlo, debe recurrirse a quemas de ensanche laterales u oblicuas para embudar al frente principal.

3.1.2.4.3. Fuegos a favor en divisorias

En los frentes de llama a favor en pendientes que vayan a llegar o a acercarse a zonas de dorsal o de cumbrera, hay que tener en cuenta la circulación local del aire en el lugar. En estas localizaciones suele haber contravientos ascendentes en la ladera contraria a aquella en que la quema está realizándose, y es necesario considerar los bucles o rulos de circulación del aire que en ella se producen al encontrarse las dos corrientes de aire ascendentes enfrentadas si el fuego llega hasta cerca de la divisoria (Vélez, 1990b; Martínez, 1997). Generalmente, los bucles se producen en el lado de la divisoria donde la corriente ascendente sea más débil, ya que la corriente de mayor fuerza, que suele ser la de la ladera más soleada en ese momento en ausencia de vientos generales, penetra en la otra con mayor facilidad. A similitud de fuerzas de las brisas, los rulos se producen del lado de donde está el frente de llamas, ya que los gases de la combustión son muy ligeros y, aunque algo inclinados sobre la ladera, tienden a escapar hacia la vertical por diferencia de densidades. La formación de estos remolinos en las divisorias influye sobre el comportamiento del fuego, que se hace errático, y existe mayor riesgo de prendidos por pavesas y dificultad en el control de las llamas (Pyne *et al.*, 1996). Se recomienda comenzar las quemas en contra de la pendiente en estas zonas para evitar riesgos o colocar una línea de control en la ladera contraria justo por debajo de la divisoria (ICONA, 1981a; Martínez, 1997).

Finalmente, conviene señalar que los fuegos ascendentes en pendientes suelen estar comúnmente apoyados por vientos anabáticos durante el día debido a la dinámica de vientos locales diurnos.

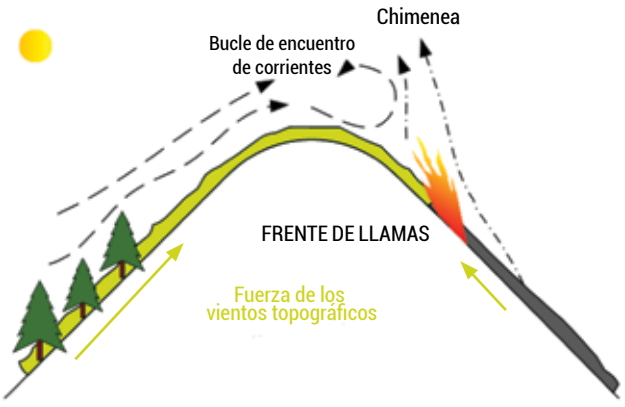


Figura 3.7. Dinámica de gases de un frente de llama ascendente y con viento más fuerte en la ladera opuesta. Corrientes de aire en la cumbrera de la dorsal.

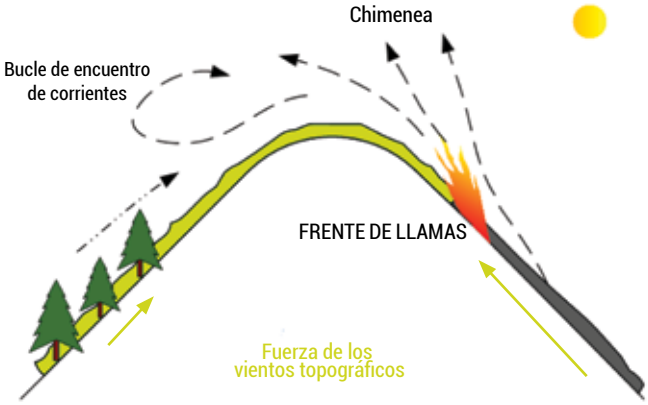


Figura 3.8. Dinámica de gases de un frente de llama ascendente y con viento más débil en la ladera opuesta. Corrientes de aire en la cumbrera de la dorsal.

3.1.2.5. Fuego en contra

En la quema o fuego en contra, el frente de llamas forma un ángulo mayor de 90º respecto a la horizontal en el lado de la vegetación sin quemar, avanza por terrenos más o menos llanos contra el viento y/o es un frente de llamas descendente por una ladera (Martínez, 2001).

Vega *et al.* (2001) explican que la distancia de la llama al combustible sin quemar es grande cuando el fuego avanza de este modo, por lo cual la vegetación recibe menor energía por radiación y el precalentamiento es menor. El calor de convección tampoco apoya al presecado, ya que es evacuado en sentido contrario. No hay una retroalimentación que acelere el avance del frente de llamas, y eso hace que las intensidades, longitud y velocidad de avance sean bajas.

En contraposición, la fase de combustión de las ascuas se ve favorecida por la circulación de los gases y la radiación. La distancia del fuego al combustible que ya ha ardido es pequeña y el suelo quemado recibe mucha energía por radiación y convección, efecto que resulta agrandado por una baja velocidad de avance de las llamas. La convección tiene mayor relevancia si el fuego avanza pendiente abajo, porque la distancia entre la llama y el terreno quemado es corta. La propagación de las llamas se debe principalmente a la continuidad del combustible.

El calentamiento del suelo y la severidad de los fuegos en contra son, en ocasiones, similares o mayores que en los fuegos a favor. Esto se produce porque, aunque la longitud de llama y la intensidad son menores en los frentes en contra (Fernandes *et al.*, 2002), la velocidad de avance es baja y, por tanto, el tiempo de residencia resulta mayor (Bond y van Wilgen, 1996). La severidad puede ser mayor en los fuegos a favor en otras situaciones dado que la mayor anchura del frente de llamas compensa su alta velocidad de propagación (Vega *et al.*, 2001), y las intensidades son también más grandes.

Fotografía 3.8. Fuego en contra. Inspirado en Vega *et al.* (2001). Incendio en A Mezquita (Orense/Ourense).

3.1.2.5.1. Fuegos en contra del viento

El contraviento en los fuegos en contra se produce por la circulación del aire en el lugar. Es decir, se trata de vientos contrarios al avance de las llamas destacando el contraviento de ladera (Martínez, 1997). El efecto de la succión se puede considerar casi despreciable, porque su magnitud relativa respecto al viento normal es pequeña en muchas ocasiones.

El fuego puede tener problemas para avanzar y autosostenerse en caso de que el contraviento sea fuerte; sobre, todo en distribuciones heterogéneas de combustible con zonas ralas de vegetación.

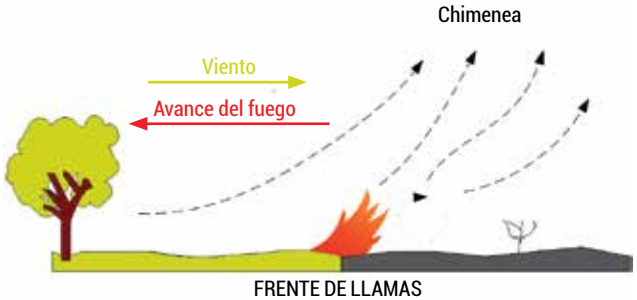


Figura 3.9. Dinámica de gases de un frente de llamas en llano y con viento en contra.

3.1.2.5.2. Fuegos en contra descendentes en condiciones de calma atmosférica

Las líneas de llama en contra de pendientes en situaciones de aire en calma suelen estar inclinadas sobre la ladera por la que descienden.

Fotografía 3.9. Frente de llamas descendente en condiciones de calma. El fuego se inclina sobre la parte ya quemada de la ladera por la acción de la brisa topográfica ascendente y la del vacío que el terreno caliente produce ladera arriba.

Quema de renovación de pastadero. Carmona (Cantabria).

Esto es debido a las brisas anabáticas que se generan por la radiación solar en las jornadas calmas, y también al fenómeno de vacío que el quemado caliente origina sobre la línea de fuego.

En este caso, se produce un contraviento de succión que puede ser más fuerte que en el caso de fuego de flanco o a favor, ya que es creado por la depresión que el frente de llamas produce y por la del terreno quemado y caliente del otro lado del fuego y que, además, resulta favorecida por la pendiente del terreno.

3.1.2.6. El encuentro de dos frentes de llamas

Entre dos líneas de llamas cercanas que avanzan más o menos enfrentadas se produce una depresión atmosférica entre ambas por efecto de la radiación y convección. La depresión genera unos empujes de aire externos a ambos cordones de fuego, que buscan llenar el vacío producido por la succión vertical y que aceleran el avance de los frentes hacia su encuentro. En el momento que las zonas de influencia del calor de los dos frentes entran en contacto, que suele ser un espacio relativamente corto, la velocidad de propagación se dispara ya que se produce una retroalimentación entre los dos frentes por el precalentamiento mutuo y el efecto de vacio por la chimenea de convección, que a su vez hace que las longitudes de llama y las intensidades crezcan. A veces se crean situaciones de propagación explosiva (Arévalo, 1968) debido a que los gases pasan a tener un comportamiento turbulento. En ocasiones, en el encuentro de los frentes aparecen torbellinos de fuego verticales de gran altura con un desarrollo caótico, generados por los empujes diferenciales asimétricos, debidos a la interacción de las columnas de evacuación con los gases fríos desplazados (Dupuy, 2009), así como todas las irregularidades y variaciones debidas a la expansión rápida de los gases calientes de la combustión.

Según Vega (2013a), los principales factores influyentes en la relación entre una línea de fuego y su contrafuego son la velocidad del viento y la pendiente —que determinan el vigor de cada línea de fuego— y la distancia entre los frentes —que regula la influencia y efectos que una línea tiene sobre la otra—, siendo esta mayor cuanto más cerca se encuentren.

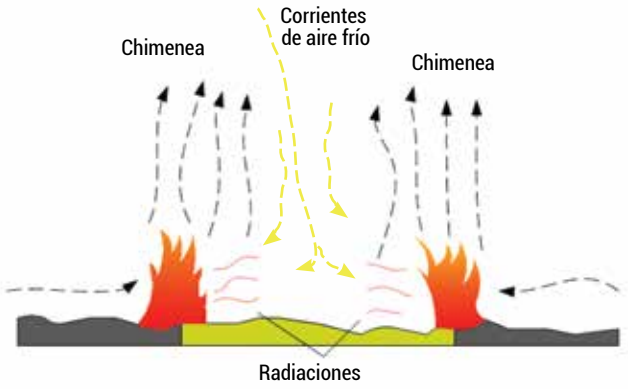


Figura 3.10. Dinámica de gases entre dos líneas de fuego enfrentadas en llano y en ausencia de vientos cuando se encuentran separadas sin influirse mutuamente aún. Solo se representa la entrada de aire fresco verticalmente, pero también llega por los laterales.

La distancia a la que se produce el efecto sinérgico entre dos cordones de fuego enfrentados viene determinada por la intensidad de la radiación y convección existentes entre ambos frentes de llamas, pero también por las dinámicas de circulación del aire en el lugar, que influyen en la evacuación de gases en mayor o menor medida. Respecto a las situaciones básicas en llano, es posible señalar lo siguiente:

- En caso de encuentro de dos frentes de flanco, los vientos locales no tienen mucha influencia y el proceso está regulado por las propias dinámicas de gases de las líneas.
- En caso de dar un contrafuego a un fuego a favor —sobre todo, si este es fuerte—, el frente prendido solo será atraído por la succión del frente de llamas original cuando ambos se encuentren muy cercanos entre sí y la aceleración del contrafuego será baja (Vega, 2013a). Sin embargo, el contrafuego ha de encenderse alejado del frente a favor o con bastante antelación (Arévalo, 1968), porque al entrar en la zona del bucle de la línea principal se va a comportar de forma errática (Martínez, 1997).
- Cuando se da un contrafuego a un frente en contra, la línea a favor creada influye más en el proceso de encuentro, tal y como ocurre en la situación anterior. Esto presenta la ventaja de que generalmente hay una zona quemada amplia que limita el efecto del salto de pavesas, y que el contrafuego se puede dar a menos distancia o tiempo de la línea original con seguridad.

De modo práctico, cabe destacar que, cuando se quiera dar un contrafuego a un frente a favor, el fuego en contra pasará a ser a favor por la succión en los metros finales antes del encuentro entre los dos cordones.

La intensidad y longitud de llama se incrementarán fuertemente al encontrarse sendas líneas, hasta más del doble de las iniciales (Martínez, 1997), por la unión y sinergia de ambas corrientes convectivas de cada línea de fuego.

Por su parte, y basándose en experimentos reales y simulaciones informáticas de fuegos de matorral y herbazal, Dupuy *et al.* (2011) observaron que el contraviento conduce eficazmente al contrafuego solamente cerca del frente de llamas a favor. Vega *et al.* (2012) obtuvieron resultados de experimentos similares comprobando que la interacción entre el frente principal y el contrafuego solo ocurre muy cerca, a menos de 20 metros, en los fuegos de matorrales. Parece ser que únicamente se generan contravientos eficaces en condiciones de vientos principales débiles y en determinadas topografías, como en fuegos descendentes. Según estos investigadores, es posible que el contrafuego solamente sea eficaz y seguro como método de extinción con una gama limitada de situaciones de combustible, pendiente y viento.

Fotografía 3.10. Zapadores forestales dando un contrafuego a contrapendiente en un brezal aprovechando la corriente de succión.

Incendio en A Mezquita (Orense/Ourense).

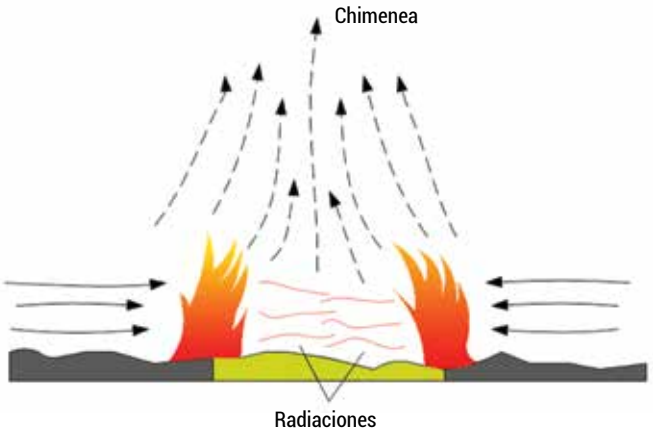


Figura 3.11. Dinámica de gases entre dos líneas de fuego enfrentadas en llano y en ausencia de vientos cuando se encuentran cercanas entre sí e influyéndose mutuamente. No hay entrada de aire fresco desde arriba, solo desde los laterales, lo que deriva en una situación explosiva.

Tabla 3.1. Factores que influyen en la velocidad de propagación de los frentes de llamas (modificado de Arévalo, 1968)

Aceleradores de la velocidad de propagación
Velocidad del viento
Tiro de la columna de humo
Temperatura y precalentamiento del aire
Radiación calorífica
Tamaño de los combustibles
Pendiente del terreno a favor
Reguladores de la velocidad de propagación
Presecado
Humo pesado o gases frescos
Moderadores de la velocidad de propagación
Contraviento
Humedad del combustible
Humedad del suelo
Humedad atmosférica
Pendiente del terreno en contra

3.2. PROCEDIMIENTOS DE ENCENDIDO

El encendido de los frentes de llama es la operación fundamental en las quemas junto con el control de las condiciones ambientales. Con un proceder adecuado en cada caso, se logra aquel comportamiento del fuego que alcance los objetivos de gestión, minimice las fajas cortafuegos necesarias, reduzca los riesgos y optimice el personal, los insumos y el tiempo de trabajo. Es necesario conocer las bondades y limitaciones de cada técnica para poder realizar tratamientos con fuego que tengan una base facultativa. El análisis de la parcela y del elenco de técnicas de ignición aplicables y sus combinaciones es, además de la prescripción, la esencia de los tratamientos con fuego.

Seguidamente se hace una reseña sobre las herramientas utilizadas en las quemas antes de explicar las técnicas de encendido y conducción.

Fotografía 3.11. Encendido con antorcha de goteo. Las Machorras (Burgos).

3.2.1. HERRAMIENTAS DE IGNICIÓN

La herramienta de encendido más comúnmente empleada es la antorcha de goteo. Se trata de un simple depósito portátil de combustible líquido que se vacía por un macarrón rígido con un quemador en su extremo, donde una llama se mantiene viva. Dicho macarrón tiene un bucle para evitar la entrada de fuego en el interior del recipiente acompañando al fluido combustible en su retorno al depósito al ponerlo en posición vertical. El quemador, por su parte, posee un alma textil que se impregna de combustible y así alimenta a la llama al verter el líquido. La antorcha tiene una capacidad de unos 4 litros en la mayoría de los modelos, aunque hay algunos de menor tamaño apropiados para la extinción de incendios. En España, el combustible suele ser una mezcla de gasóleo y gasolina a 2/3 y 1/3, respectivamente. Weir *et al.* (2009) recomiendan usar esa proporción de carburantes en verano, pero que sea al 50 % de gasóleo y gasolina en otoño, invierno y primavera.

Existen otros tipos de quemadores forestales —como el "diesel", el "de gas" o las bengalas (Eurofire, 2008)—, pero son menos usados en España. También se pueden utilizar otras herramientas de encendido de fortuna o caseras, pero siempre bajo el imperativo de no comprometer a la seguridad del personal.

Otras herramientas manuales empleadas en las quemas son las habituales en la extinción: azadas, batefuegos, mochilas extintoras, hacha-azadas, rastrillo-azadas, palas, podones, motosierras, motodesbrozadoras, etc. Adicionalmente, en el remate de bordes de quemas de combustibles ligeros pueden emplearse sopladores de hojas de jardinería (Weir *et al.*, 2009). El barrido y proyección al interior del quemado de ascuas, cenizas y restos de la vegetación pueden llevarse a cabo fácilmente con estas máquinas.

La maquinaria terrestre habitual empleada en labores de extinción —tractores, aperos y autobombas de diverso tipo— también se utiliza para preparar a las parcelas y ejecutar las quemas.

En quemas de grandes superficies en Australia, Canadá y Estados Unidos, se usan herramientas de ignición trans-

portadas en aeronaves o vehículos, que permiten encendidos rápidos en extensiones amplias. Las heliantorchas, operadas desde helicópteros, son grandes antorchas de goteo que arrojan gasolina gelificada —combustible también conocido como "napalm"— habitualmente empleadas en la quema de combustibles de distribución heterogénea (Wade y Lunsford, 1989).

Los lanzadores de pelotas incendiarias son unas máquinas normalmente operadas también desde helicópteros, aunque pueden instalarse asimismo en vehículos terrestres. Los lanzadores son eyectores de pequeñas cápsulas de plástico rellenas de permanganato potásico a las que se inyecta etilenglicol antes de su lanzamiento para que se produzca una reacción endotérmica rápida que genera su ignición (Edmonds *et al.*, 1999). La ignición demora entre 20-40 segundos desde la inyección, y las cápsulas suelen arder con llama sostenida durante unos 2 minutos (IPIECA-IOGP, 2016). Usualmente, las pelotas incendiarias se usan con combustibles de distribución más homogénea o cuando se buscan quemados con estructura más irregular, en mosaico (Wade y Lunsford, 1989).

Existen otros ingenios operados desde vehículos, como las antorchas de impulsión eléctricas o antorchas de goteo con depósitos de gran volumen (IPIECA-IOGP, 2016).

Por otra parte, algunos automatismos terrestres posibilitan realizar igniciones puntuales retardadas, de modo que se puedan hacer secuencias temporales de encendido complejas. No obstante, estos mecanismos apenas se utilizan en España por su complejidad y coste.

3.2.2. TÉCNICAS DE IGNICIÓN Y CONDUCCIÓN DEL FUEGO

Las técnicas de ignición se explican de forma separada en este libro, el encendido y quema de las parcelas se realiza en ocasiones combinando varias de las técnicas simples; sobre todo, si existen variaciones en las condiciones de la parcela o atmosféricas (Wade y Lunsford, 1989). Pyne *et al.* (1996) indican que las técnicas básicas de encendido son la quema en contra, a favor, a favor por fajas, por puntos, de flanco y las quemas de encendido central o anulares. También se explican otros métodos complementarios, como la quema en contra por fajas, la quema en estrella, las quemas areales y las quemas en pilas y cordones.

Los criterios que han de tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la técnica de encendido y conducción son numerosos y dependen de cada situación en concreto, pero destacan los siguientes por su importancia en el comportamiento del fuego (adaptado de Fernandes *et al.*, 2002):

- Dirección y fuerza del viento.
- Pendiente.
- Tamaño de la parcela de quema.
- Accesibilidad al interior de la parcela.
- Carga de combustible.
- Características de las líneas de control.
- Disponibilidad de personal y medios.
- Objetivos de la quema.
- Características de la vegetación a tratar.
- Características de la vegetación colindante.

Es posible emplear distintas técnicas de encendido para lograr unos mismos objetivos.

Los siguientes epígrafes se han desarrollado sobre la base de los trabajos de distintos autores, destacando las obras de Vega *et al.* (2001), Martin y Dell (1978) y Wade y Lunsford, (1989), y en menor medida apoyados en las publicaciones de Fernandes *et al.* (2002), Martínez (2001), Wright y Bailey (1982), Pyne *et al.* (1996) y Rodríguez (1996).

3.2.2.1. Quema en contra

Esta técnica se basa en conducir al fuego en contra del viento y/o pendiente como la cola de un incendio. Se genera prendiendo un cordón de fuego a sotavento de la parcela; generalmente, en el mismo borde del área segura. De este modo, no cabe la posibilidad de que haya frente a favor y los riesgos asociados disminuyen de forma proporcional a las longitudes de llama largas, emisión de pavesas, etc.

Figura 3.12. Croquis de planta de una quema en contra.

El fuego se suele mover con lentitud conducido por el combustible, generando anchuras de frente de llama pequeñas y, por tanto, bajas intensidades lineales, siendo su control usualmente fácil.

Las posibles variaciones en la velocidad y dirección del viento tienen poca influencia en la velocidad de propagación del fuego, que avanza a unas velocidades comprendidas entre 0,3 y 1 m/min según los combustibles (Wade y Lunsford, 1989; Vega *et al.*, 2001).

La quema en contra es la metodología más lenta, fácil y segura para las quemas controladas bajo unas condiciones de viento estable en dirección y velocidad. Sin embargo, el progreso lento del fuego repercute en bajos rendimientos y eleva el coste del tratamiento.

Vega *et al.* (2001) recomiendan velocidades del viento de 6 a 12 km/h para quemas de matorral con esta técnica.

Estas quemas requieren una cantidad de humedad relativa menor que en otros tipos de avances del fuego, inferior al 20 % en el combustible fino muerto (Wade y Lunsford, 1989), y mayor continuidad de combustible, ya que es la forma de combustión más desfavorable para la progresión de las llamas. La quema en contra maximiza la proporción de combustible consumido (Fernandes *et al.*, 2002), lo que se refleja habitualmente en fuertes reducciones del suelo vegetal por la baja velocidad del fuego y mayor tiempo de permanencia.

En el caso de quemas bajo dosel, el soflamado de copas es mínimo y el chamuscado de troncos bajo. No obstante, el mayor tiempo de duración de la combustión en el suelo puede producir algunos daños a las raíces (Martínez, 2001) y cámbium de los troncos (Ryan, 2000); especialmente, con mantillos inferiores poco húmedos. Los vientos recomendados para la aplicación de quema a la contra bajo cubierta son de 1,5 a 5 km/h a media llama (Wade y Lunsford, 1989; Martínez, 2001); estas velocidades determinan un avance de las llamas adecuado, una buena ventilación del humo y evacuación del calor suficiente para limitar el daño a los sistemas foliares de los árboles. Provoca daños ligeros al arbolado adulto, pero los juveniles son lógicamente más susceptibles de sufrir lesiones más graves (Rodríguez, 1996). No se recomienda su uso en arbolado joven, en ambientes con temperaturas superiores a 7 ºC y nunca en pies con diámetros basales de menos de 7 cm (Wade y Lunsford, 1989).

Es un método caro por la lentitud de ejecución y necesita paciencia para su uso (Edmonds *et al.*, 1999). No se recomienda emplearlo en llano y con vientos muy tenues.

Es una técnica muy segura y con ella se consiguen buenas reducciones de combustible. Es aconsejable utilizarla en condiciones desfavorables, como en acumulaciones grandes de combustible, vientos secos, falta de humedad o combustibles ligeros o volátiles. Su uso se recomienda en formaciones densas y homogéneas tanto desarboladas como bajo cubierta (Pyne *et al.*, 1996).

Fotografía 3.12. Quema descendente para la renovación de pastadero.

Ucieda de Abajo (Cantabria).

Pros de la técnica:

1. Seguridad y simpleza de aplicación siempre que exista viento constante en velocidad y dirección.
2. Baja intensidad y velocidad de avance de fuego que permite controlarlo o apagarlo con facilidad si fuese necesario.
3. Bajo riesgo de saltos de pavesas (Edmonds *et al.*, 1999).
4. Permite trabajar con vientos de mayor velocidad que con otras técnicas si dichos vientos son estables.
5. Funciona bien con grandes cargas de combustible; especialmente, si este tiene sustancias volátiles (Rodríguez, 1996).
6. Puede aplicarse bajo arbolado por tener una intensidad lineal moderada. Normalmente, produce baja altura de chamuscado de troncos (Martin y Dell, 1978) y poco soflamado de la fronda del dosel (Pyne *et al.*, 1996; Martínez, 2001).

Contras de la técnica:

1. Lentitud de avance del fuego. Esto provoca rendimientos bajos, lo que encarece el uso de la técnica (Martin y Dell, 1978; Martínez, 2001)[8]. Hay mayor riesgo de que el viento role al ser necesarios tiempos de ejecución más largos y de que esto desbarate todo el plan de encendido de la parcela.
2. Requiere vientos constantes y que sean más fuertes que en otras técnicas.
3. Exige condiciones más secas del combustible. No arde bien si la humedad limita la combustibilidad tanto en combustibles muertos como en vivos (Martínez, 2001).
4. Aumenta el riesgo de daños radiculares y cambiales debido al mayor consumo de suelo vegetal.
5. Los humos producidos se quedan retenidos en el área de quema con facilidad (Martin y Dell, 1978).
6. Hay riesgo de que materiales rodantes, como las piñas de las coníferas, se adelanten a la línea de fuego y creen zonas de fuegos a favor (Edmonds *et al.*, 1999).

[8] Las apreciaciones sobre la economía de las quemas expuestas en este libro se refieren a los rendimientos (hectárea/hora) alcanzados con cada tipo de tratamiento, así como a los costes de las modificaciones del combustible, líneas de control o medidas de seguridad en los que hay que incurrir para usar uno u otro método.

Fotografías 3.13. (arriba) **y 3.14.** (abajo). Los fuegos a la contra pueden ser adecuados para las quemas bajo arbolado. Producen poco soflamado de copas, aunque en ocasiones pueden dañar más las raíces superficiales y al cámbium por su mayor tiempo de residencia.

Arriba.: Frente de llamas en contra que consume a herbáceas terófitas bajo un dosel de *Pinus pinea*. Conato en Galapagar (Madrid).

Abajo: Quema a la contra bajo arbolado llegando a una roza hecha con herramientas manuales que actúa como línea de control. La Victoria de Acentejo (Tenerife).

3.2.2.2. Quema a favor

Esta técnica se basa en prender una línea de fuego que avance empujada por el viento y/o se mueva de forma ascendente como la cabeza de un incendio. Tiene asociada la velocidad de propagación más veloz, lo que normalmente genera alturas y anchuras de llama grandes y, por tanto, una liberación de energía muy rápida. La velocidad de la quema genera en ocasiones reducciones del combustible bajas (Grillo *et al.*, 2009).

Figura 3.13. Croquis de planta de una quema a favor.

Se usa en montes desarbolados en los que hay un área de seguridad suficientemente ancha en la parte de la parcela contraria al encendido. Dicha área suele ser un línea de control reforzada con una quema en contra previa al encendido a favor.

Hay que vigilar el área a sotavento de la quema durante la operación por riesgo de prendidos por pavesas. Estas quemas pueden llegar a ser muy rápidas dependiendo de la velocidad del viento y la pendiente. La técnica puede utilizarse en condiciones de poco combustible o alta humedad de este, cuando la propagación se rompa continuamente con otros métodos de avance del fuego. El método es aplicable en grandes superficies y muy efectivo en cargas pequeñas de combustibles finos (Rodríguez, 1996).

Cabe destacar que es la técnica más utilizada y más rápida, pero también la más difícil de controlar. Puede emplearse en zonas extensas de matorral, herbáceas o restos de corta con cortafuegos suficientemente anchos. También se aplica bajo cubiertas arbóreas con cargas de combustible ligeras (Pyne *et al.*, 1996).

Fotografía 3.15. Frente de llamas a favor conducido por la pendiente y la brisa topográfica ascendente.
Quema de matorral para la renovación de pastadero. Ruente (Cantabria).

Pros de la técnica:

1. Son quemas rápidas que requieren poca mano de obra facilitando el tratamiento de grandes superficies y es un método barato (Martin y Dell, 1978).
2. Es un buen procedimiento de "quemas de mantenimiento" en montes desarbolados donde previamente se han eliminado grandes acumulaciones de combustible.
3. Se puede usar en condiciones de humedad alta, que hacen inviables otras técnicas.
4. Tienen buena dispersión del humo habitualmente (Martin y Dell, 1978).

Contras de la técnica:

1. Alta intensidad con posibilidad de emisión de pavesas (Edmonds *et al.*, 1999; Vega *et al.*, 2001).
2. Es una técnica peligrosa y requiere más medidas de seguridad.
3. Es fundamental tener unas zonas seguras lo suficientemente anchas. Lo idóneo es que posean una anchura superior a los vuelos de pavesas esperables (Edmonds *et al.*, 1999).
4. La necesidad de medidas de seguridad fuertes puede encarecer el uso de la técnica en quemas de poca extensión.
5. Produce fuegos rápidos con poco tiempo de residencia en ocasiones, de modo que las reducciones de combustible pueden ser bajas.
6. No es aplicable bajo cubierta en rodales jóvenes (Martin y Dell, 1978).

3.2.2.3. Quema a favor por fajas

La quema a favor por fajas es probablemente el método más versátil para realizar quemas prescritas (Martin y Dell, 1978). Esta técnica se fundamenta en crear líneas de fuego a favor paralelas y cercanas entre sí y de forma perpendicular a la dirección de propagación principal. No es necesario hacer líneas de control internas previamente, ya que los cordones de fuego paralelos hacen que la intensidad y velocidad de avance queden limitadas por los espacios, más bien cortos, que el frente de llamas va a poder recorrer hasta encontrar terreno quemado u otra línea de fuego. Así se logra que ningún cordón de fuego, o la convergencia de dos líneas, alcance una intensidad que puedan poner en riesgo la operación de quema dando lugar a chamuscados o soflamados excesivos, salto de líneas de control, emisión de pavesas incandescentes, etc.

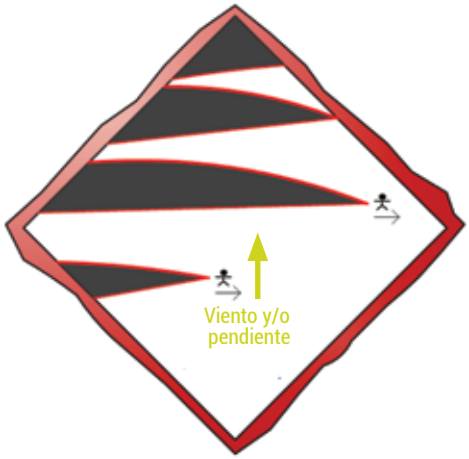


Figura 3.14. Croquis de planta de una quema a favor por fajas. El encendido de cada línea puede ser simultáneo con cierto retraso una de la anterior para evitar ahumar al operario que prende de la línea anterior o encerrarle entre dos cordones de fuego.

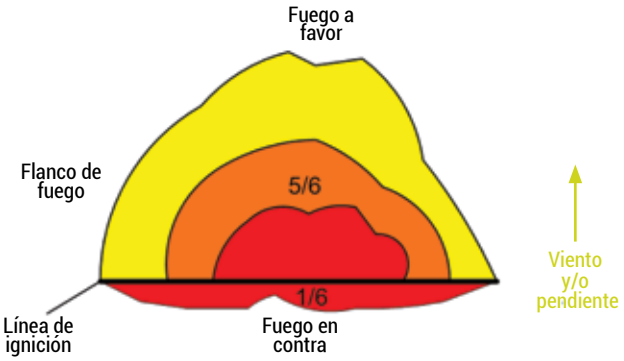


Figura 3.15. Ejemplo de un patrón de propagación lineal. La propagación a favor suele ser mayor que a la contra. Tomado de Fernandes *et al.* (2002).

Con la quema a favor por fajas se generan dos frentes por línea de fuego creada: uno avanzará a favor y otro en contra, y cada uno ha de morir al encontrarse con los frentes de las líneas vecinas excepto los próximos a líneas de control, lógicamente. Es decir, este tipo de quema es una mezcla de quema a favor y quema en contra quemando siempre más los frentes que se mueven a favor por sus mayores velocidades de avance.

La distancia entre fajas de prendido depende de la vegetación que se pretende tratar, de la carga de combustible, de las condiciones atmosféricas, de los objetivos marcados y de la densidad arbórea si se está bajo cubierta.

Líneas de prendido juntas: apenas hay desarrollo del frente desde la ignición autosostenida, intensidad de llama baja

Líneas de prendido algo separadas: hay cierto crecimiento del frente de llamas desde el prendido, intensidad de llama media

Líneas de prendido separadas: los frentes llegan a la fase de estabilización, intensidad de llama alta

Figura 3.16. Intensidad de los frentes de llama según separación de las líneas o puntos de prendido. En general cuanto más juntos son los prendidos se alcanzan intensidades de llama menores. Tomado de Grillo *et al.* (2009).

En el uso de esta técnica siempre hay que tener en mente las tres fases por las que las igniciones pasan (prendido, crecimiento y estabilización) para regular el momento de encuentro entre frentes en distintos estadios del crecimiento de las llamas. Adicionalmente, la intensidad lineal y longitud de las llamas se incrementan drásticamente cuando dos frentes de fuego se encuentran, aspecto que también ha de considerarse a la hora de decidir los espaciamientos entre líneas de prendido.

La intensidad de la combustión se regula mediante la distancia de prendido entre las fajas. Las líneas deben prenderse lo más cerca posible, de modo que se encuentren en la fase de inicio del crecimiento, si se quieren intensidades bajas y alto control de la combustión. Distancias cortas entre fajas implican intensidades pequeñas, pero también conllevan más trabajo de encendido, más necesidad de personal y equipos, menores velocidades de avance y mayores tiempo de ejecución y gasto de combustible de prendido.

Además, como ya se ha mencionado, se produce un aumento puntual de la intensidad, de la altura de llama y de la columna de convección en el encuentro de líneas de fuego. Por eso, la coincidencia de varias líneas de juego cercanas, tres o más, puede generar ocasionalmente un "efecto parrilla", que se trata de una situación convectiva puntual de gran intensidad al interactuar sinérgicamente varios cordones próximos entre sí (Grillo *et al.,* 2009). Esto es más probable en áreas con combustibles relativamente pesados y disponibles rápidamente, en ausencia de viento o con de brisas tenues y con líneas de encendido muy cercanas (Martin y Dell, 1978). Ello hace que este sea un aspecto que se deba valorar en la planificación de las quemas bajo cubierta para evitar soflamados excesivos en la copas. Bajo condiciones ambientales restrictivas, puede usarse una quema de puntos, los cuales tienen comportamientos algo menos intensos. Las líneas de fuego discontinuas —de 0,5-1 m de longitud— son una solución intermedia entre las líneas continuas y los puntos para minimizar este inconveniente. El uso de líneas discontinuas, por otro lado, resulta útil principalmente ante cambios en las características del combustible y de la cubierta arbórea (Wade y Lunsford, 1989).

La separación entre las líneas de fuego puede ser muy distinta en función del tipo de monte y condiciones ambientales de quema. Grillo *et al.* (2009) recomiendan unos 4 m bajo cubierta. Otros autores apuntan rangos de entre 20 y 60 m (Wade y Lunsford, 1989; Rodríguez, 1996), distancias que parecen más apropiadas para montes rasos. Se debe dejar arder con quema a la contra en caso de encontrar zonas puntuales con mucha carga (Martin y Dell, 1978).

Para la aplicación de esta técnica, se recomienda realizar antes una quema de prueba en la zona de sotavento de la parcela —primero, a la contra, y luego, a favor— para

Fotografía 3.16. Quema por fajas bajo arbolado. Los prendidos lineales se hacen poco espaciados para que los frentes de llamas no tengan la oportunidad de ganar intensidad en la zona a favor.

La Victoria de Acentejo (Tenerife).

observar el comportamiento del fuego. Si la técnica es aplicable, la velocidad e intensidad pueden modularse jugando con la distancia entre líneas.

Operativamente, las líneas de fuego se han de ir encendiendo de forma secuencial en contra del avance principal de la quema de modo que el operario que esté prendiendo una faja no sea puesto en peligro o molestado por el humo de la línea que se vaya a prender a favor de la suya.

Es una técnica que permite cierta flexibilidad en su aplicación (Wade y Lunsford, 1989) no solo en la modulación de las distancias de las fajas —necesarias para adaptarse a las variaciones en la cantidad y tipo de combustibles o a los cambios en la densidad o características de la cubierta arbórea si la hubiera—, sino también en su orientación si el viento o pendiente modifican algo su dirección, porque la perpendicularidad al avance del fuego puede ir buscándose en caso de que las condiciones que lo conducen varíen ligeramente.

Resulta factible aplicar la quema a favor por fajas en zonas de matorral bajo, en restos de corta y hasta en quemas bajo arbolado que no tengan mucha carga de combustible y sin continuidad vertical de este. Según Wade y Lunsford (1989) y Martínez (2001), bajo cubierta está indicado para rodales en fustal; sobre todo, en mantenimientos de baja carga de combustible superficial. No se recomienda su uso, por el contrario, si hay restos pesados. La técnica se emplea en situaciones atmosféricas

relativamente húmedas (50-60 % de HR) y contenidos altos de agua en el combustible, hasta un 20-25 % de humedad del combustible fino muerto. Bajo esas condiciones, el fuego en contra se propaga mal y esta técnica está más indicada. También requiere temperaturas bajas, preferiblemente inferiores a 15 ºC para limitar chamuscados de tronco excesivos y soflamados de copa. Las velocidades del viento a media llama deben encontrarse en el rango 1,5-3,5 km/h bajo cubierta, y lo ideal es que sean constantes.

Vega *et al.* (2001) proponen un rango de viento de 3-8 km/h en el caso de montes desarbolados de matorral.

Fotografía 3.17. La confluencia de los frentes de fuego puede ser muy intensa en ciertas condiciones de inestabilidad atmosférica o viento. De ese modo, se producen zonas con afecciones contrastadas en espacios cercanos.

En la imagen se observa una quema bajo cubierta de *Pinus pinaster* en la que soplaba cierta brisa de izquierda a derecha, lo que incidió en el comportamiento del fuego.

Belmez (Córdoba).

Pros de la técnica:

1. Es un sistema flexible en el que se pueden ajustar diferentes intensidades según la distancia entre líneas de fuego (Martin y Dell, 1978; Grillo *et al.* 2009).
2. Permite adaptarla a cambios del viento de hasta 45º (Wade y Lunsford, 1989).
3. Es un sistema rápido y puede detenerse si las condiciones ambientales cambian transformándose en una quema en contra normal.
4. No hay que abrir líneas de control internas.
5. No se produce tanto calentamiento del suelo como en las quemas en contra ni tanta intensidad lineal como en las quemas a favor.
6. Una sola persona con antorcha puede encender todas las líneas de fuego (Martínez, 2001).
7. Se trata de una técnica relativamente barata (Martin y Dell, 1978).
8. Presenta rapidez de ejecución.

Contras de la técnica:

1. La técnica puede ser peligrosa en caso de incremento de velocidad del viento —sobre todo, en las confluencias de dos frentes— dado que la altura de las llamas aumenta considerablemente, y también existe la probabilidad de emisión de pavesas.
2. La quema por fajas a favor necesita que el interior de la parcela de quema sea transitable por el personal para su encendido (Martin y Dell, 1978). El coste se incrementaría considerablemente si hubiera que realizar desbroces que facilitasen el paso.
3. La intensidad, velocidad y altura de llama serán siempre mayores que en la quema en contra, por lo que su control resultará más difícil.
4. No se debe intentar quemar con esta técnica si las condiciones no son buenas (Martínez, 2001). El tratamiento debe aplazarse si se está en el margen de riesgo de las condiciones, pues es fácil que tales condiciones empeoren a lo largo del día produciendo daños excesivos si se quema (Wade y Lunsford, 1989).

3.2.2.4. Quema de flanco

3.2.2.4.1. Quema de flanco aplicada en el interior de la parcela (quema en cuña o por fajas)

La técnica se fundamenta en realizar líneas de fuego paralelas entre sí y con la dirección principal de propagación. El encendido de los frentes se lleva a cabo prendiendo en contra del vector de propagación más fuerte de la parcela. Las quemas de flanco, que toman forma de cuña individualmente al abrirse en dos las líneas de fuego, hacen que los frentes de llama avancen de manera ligeramente oblicua a la contra y que la unión del conjunto de varios frentes de flanco dé lugar a un perfil de sierra.

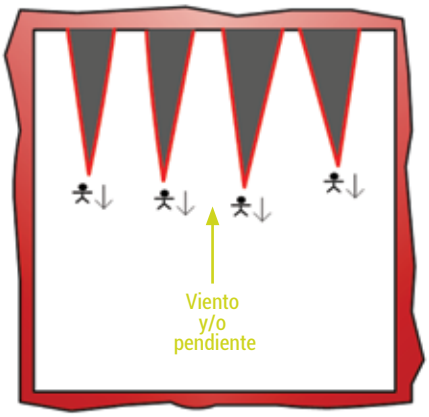


Figura 3.17. Croquis de planta de una quema de flanco en el interior de la parcela. Las líneas de prendido se hacen de forma simultánea entre varios operarios.

Como en casi todas las técnicas, se recomienda aplicar quema en contra en las zonas a sotavento de la parcela de trabajo para aumentar el área de seguridad de aquella parte. Seguidamente, se hacen los cordones de fuego de flanco perpendiculares a la quema en contra y paralelos entre sí con un espaciamiento constante.

La velocidad de avance de la quema de flanco es el doble, aproximadamente, que la de la quema en contra; lógicamente, la intensidad también es mayor.

Operativamente, las fajas de flanco se deben encender y conducir a la vez, lo que implica cierta necesidad de personal y material —como antorchas y portófonos—, que hay que prever, aparte de que la coordinación de la ejecución es compleja. Los prendedores deben moverse simultáneamente y de forma paralela (Wade y Lunsford, 1989).

La técnica necesita una buena comprensión del comportamiento del fuego; principalmente, si se aplica como método principal de encendido (Wade y Lunsford, 1989). Suele utilizarse bajo unas condiciones limitantes para el progreso del fuego por exceso de humedad en el combustible que no permita la quema en contra o cuando se busque mayor velocidad o intensidad de quema que por esa técnica. Pocas veces se aplica en áreas extensas.

La técnica sirve para quemas bajo dosel con arbolado de tamaño mediano o grande (Martínez, 2001), en zonas cortadas a hecho y en cargas ligeras de combustible (Martin y Dell, 1978). Se recomienda no ejecutarla con acumulaciones superiores a 20 t/ha (Wade y Lunsford, 1989).

Fotografía 3.18. Línea de fuego de flanco que se prende de forma descendente.
Quema de matorral para la renovación de pastadero.
Ruente (Cantabria).

Pros de la técnica:

1. Permite un tratamiento más rápido que en la quema en contra.
2. Posibilita un encendido rápido (Martínez, 2001).
3. Resulta útil en parcelas pequeñas o intermedias.
4. Produce frentes de llama con tamaños intermedios entre los avances a favor y en contra (Martin y Dell, 1978).
5. No son necesarias líneas de control internas.
6. Se puede combinar con otras técnicas y modificar hacia quema en contra o a favor si fuera necesario (Pyne *et al.*, 1996).
7. Es una técnica relativamente barata (Edmonds *et al.*, 1999).

Contras de la técnica:

1. Se necesita poseer un buen conocimiento del comportamiento del fuego para su aplicación; sobre todo, si la técnica se emplea sola.
2. Hay necesidad de personal relativamente experimentado para su ejecución.
3. La coordinación es fundamental requiriéndose varios equipos de radio (Martin y Dell, 1978).
4. Existe una tendencia elevada a la formación de turbulencias y remolinos cuando se encuentran las fajas de fuego.
5. La carga de combustible ha de ser de ligera a media (inferior a 15-20 t/ha).
6. Es una técnica muy sensible a los cambios en la dirección del viento (Wade y Lunsford, 1989). Si esto ocurre, puede convertirse en una quema a favor por fajas. El viento debe mantenerse en una dirección constante (Martínez, 2001).
7. Las irregularidades del terreno y de los combustibles provocan con frecuencia que parte de los frentes tiendan a orientarse como quema a favor y terminen como tales.
8. Requiere que el interior de la parcela sea transitable por el personal para su encendido

3.2.2.4.2. Quema de flanco aplicada en los bordes de la parcela

En aquellos casos en que el interior de la parcela sea intransitable o que haya poca disponibilidad de personal, la quema de flanco puede encenderse desde los bordes o márgenes. Es recomendable para parcelas de tamaño pequeño o mediano.

La coordinación del personal en esta técnica no es tan importante ni las condiciones de quema tan restrictivas respecto al viento. No obstante, hay que tener siempre en cuenta que la línea de fuego que vaya a avanzar más despacio debe encenderse antes de modo que no sea sobrepasada y crear zonas seguras para las que vayan a moverse más rápidamente (Wright y Bailey, 1982). También conviene dar una primera línea de fuego a la contra en la zona a sotavento y así hacerla más segura.

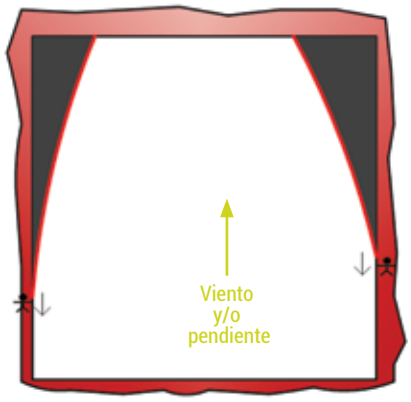


Figura 3.18. Croquis de planta de una quema de flanco desde el exterior de la parcela.

Esta técnica es utilizable en parcelas pequeñas difícilmente transitables por su interior o situaciones de escasez de personal para la ejecución del tratamiento en las que no se quiera quemar la parcela con fuego a favor o en contra. También se aplica para asegurar flancos en quemas a favor o en contra.

Pros de la técnica:

1. Permite aumentar la rapidez de una quema iniciada en contra.
2. El combustible arde con menor intensidad que en las quemas a favor.
3. Es fácil y segura de aplicar.
4. Permite asegurar los límites de las parcela de quema en los flancos.

Contras de la técnica:

1. Es más lenta que una quema de flanco hecha desde el interior de la parcela.
2. Es aplicable sólo en parcelas pequeñas. Si se da en flancos de parcelas muy largos puede terminar siendo una quema en contra, sobre todo si el encendido en toda la longitud de la línea se demora.

Fotografía 3.19. Quema de flanco para el anclaje de un sector de un incendio.

Cantoña (Orense/Ourense).

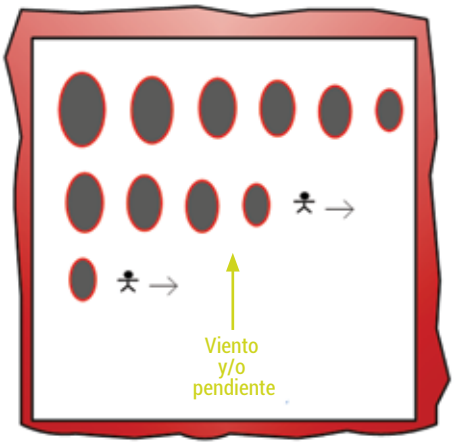


Figura 3.19. Croquis de planta de una quema por puntos. El encendido de cada línea de puntos puede ser simultáneo o con cierto retraso una de la anterior si el prendido de los puntos evoluciona de forma estable.

3.2.2.5. Quema por puntos

Este método consiste en prender puntos de fuego a una distancia predeterminada en función de las condiciones atmosféricas, tipo y humedad del combustible, topografía, vegetación y objetivo del tratamiento. Es similar a una quema a favor por fajas, pero se prende en un grupo de puntos, o línea discontinua, en lugar de una continua.

Es una técnica útil que suele provocar menos intensidad y velocidad de propagación que una línea continua, por lo que resulta usualmente menos agresiva; sin embargo, también es más lenta (Vega *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2002). Esto se debe a que los puntos de fuego avanzan en todas direcciones adquiriendo forma elíptica con

Fotografía 3.20. Encendido de línea de puntos para una quema de renovación de pastadero.

Ruente (Cantabria).

Fotografía 3.21. Patrón de avance en círculo de una ignición puntual en un lugar con matorral homogéneo.
Conato en Villanueva de Oscos (Asturias).

combustibles homogéneos (Albini, 1976) hasta entrar en contacto con los puntos vecinos. La mayoría del combustible arde como fuego a favor o fuego de flancos, y mucho menos como fuego en contra (**figura 3.19**). Ahora bien, debe tenerse presente que los puntos de fuego influyen entre sí de forma sinérgica (Grillo *et al.*, 2009) pudiéndose generar comportamientos muy intensos en determinadas condiciones ambientales.

La quema por puntos se apoya operativamente en una quema en contra en la zona de sotavento para dar mayor anchura a la línea de control. A continuación, se prende a barlovento de estas líneas de puntos de forma secuencial hasta terminar la quema. No se recomienda quemar los flancos de la parcela por puntos, porque en ocasiones es posible perder el control sobre el comportamiento del fuego (Rodríguez, 1996).

El manejo del espaciamiento y el ritmo de aplicación de los puntos de fuego es necesario con el fin de mantener el control de la quema y lograr una intensidad del fuego adecuada al objetivo del tratamiento; fundamentalmente, en los encuentros entre frentes de llama. El manejo de la fase de crecimiento del fuego es relevante en esta

Tabla 3.2. Espaciamientos de los encendidos por puntos según tiempo disponible para la quema y la velocidad de los frentes a favor (m). Uso recomendado para quemas en montes desarbolados (Tran, 2002).

Tiempo disponible (horas)	Velocidad de propagación del fuego a favor observado la quema de prueba (m/min)				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
1	10	20	30	40	50
2	20	40	60	80	100
3	30	60	90	130	160
4	40	80	130	170	220
5	50	100	160	220	270
Se recomienda que el fuego en las quemas no este activo por más de 2 o 3 horas.					
Se debe recalcular periódicamente la separación necesaria de los puntos.					

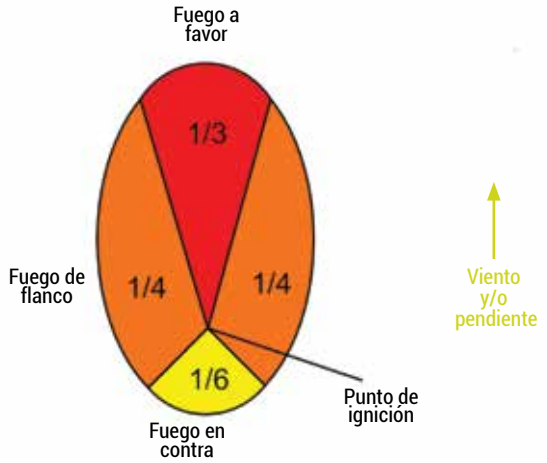


Figura 3.20. Ejemplo de un patrón de propagación de una ignición puntual. Tomado de Fernandes *et al.* (2002).

técnica para alcanzar unos resultados óptimos. Wade y Lunsford (1989) dan valiosas recomendaciones para el uso de este método. La aplicación de la quema por puntos se basa en la flexibilidad, las distancias y los ritmos de prendido deben modificarse en función de las variaciones de vegetación, combustible, tiempo atmosférico y comportamiento del fuego previstos, así como de la observación en el momento. No solo es necesario adecuar la distancia de los prendidos para una aplicación correcta, sino también el intervalo de encendido entre dos líneas de puntos. Lo conveniente dentro de un rango es dejar que el comportamiento del fuego vaya definiendo el ritmo y los espaciamientos de prendido, lo que marcará la pericia de dicha conducción. La malla de encendido debe modificarse si la pendiente o los combustibles cambian (Martínez, 2001). Conviene que la aplicación sea realizada por personal relativamente experimentado o, al menos, conocedor de las pautas del fuego.

El encendido puede iniciarse con una quema de prueba realizando un prendido de varios puntos de fuego con una distribución de malla cuadrada e ir modificando la separación de los focos en función de los resultados observados. Algunos autores recomiendan espaciamientos de hasta 40 m en inicio en montes desarbolados. Para quemas bajo cubierta se recomiendan separaciones de unos pocos metros (3-7 m).

Para minimizar el soflamado de copas en los usos bajo cubierta de esta técnica, se sugiere que la línea anterior contacte por atrás con los puntos prendidos posteriormente antes de que estos se unan por su flanco y formen, a su vez, una línea continua. Se trata de lograr que se queme lo más posible siguiendo el patrón de puntos individuales y retrasando la formación de los frentes continuos a favor. No obstante, este criterio de proximidad tiene como límite en ocasiones los posibles desarrollos violentos convectivos producidos por concentraciones de muchos puntos cercanos ardiendo simultáneamente. Se desaconseja el uso de mallas de prendido rectangulares con los lados largos entre líneas.

Como ya se ha indicado, la intensidad de quema se controla mediante el espaciamiento de los puntos en la misma línea. En general, los puntos queman con menos intensidad que una línea continua, pero aumentan su fuerza en las convergencias entre puntos. Por ello, debe observarse si las alturas de llama están, o no, dentro de la prescripción y si merece la pena buscar la unión antes. Este método de quema debe abandonarse para pasar a una quema en contra o suspender el tratamiento si los espaciamientos entre puntos de la misma línea se hacen muy estrechos y las intensidades no disminuyen.

Los resultados de este tipo de quemas pueden ser heterogéneos debido a los distintos tipos de propagación que se dan en el desarrollo de cada punto de prendido y a que las intensidades de llama son desiguales en cada lugar de convergencia de puntos.

Para la aplicación de este método son necesarios vientos suaves, de 1,5 a 3,5 km/h a la altura de llama bajo cubierta (Wade y Lunsford, 1989). La dirección del viento puede ser variable. La humedad del combustible fino muerto debe estar sobre el 15 % como mínimo siendo más deseable una cifra del 25 % (Martínez, 2001).

La técnica se usa en áreas extensas, matorrales, rodales de cortas a hecho, zonas con discontinuidad del combustible e incluso bajo cubiertas laxas de arbolado con cargas de combustible ligeras (Martin y Dell, 1978).

La quema por puntos puede utilizarse cuando el combustible está demasiado húmedo para que avance el frente a la contra, de forma que parte de la superficie se queme a favor y de flanco (Martínez, 2001; Grillo *et al.*, 2009).

Es posible ejecutar esta quema con varias antorchas coordinadas. En otros países se aplica con encendido aéreo en grandes superficies, ya que la rapidez de prendido genera resultados más homogéneos y buenas evacuaciones de humo. En tales casos, lo habitual es quemar con más del 20 % de humedad del combustible fino muerto para evitar el comportamiento sinérgico convectivo del conjunto.

Fotografía 3.22. Vista del desarrollo de una quema por puntos bajo fustal de *Pinus canariensis*.

La Victoria de Acentejo (Tenerife).

Pros de la técnica:

1. Las intensidades de llamas obtenidas son proporcionales a los espaciamientos de los puntos de encendido (Martin y Dell, 1978).
2. Produce quemados heterogéneos al tener los puntos propagación de todos los tipos de frente de avance.
3. No son necesarias líneas de control interiores (Martínez, 2001).
4. Los vientos pueden ser ligeros y variables.
5. Es una técnica relativamente barata (Martin y Dell, 1978).
6. Es una técnica relativamente rápida (Pyne *et al.*, 1996) que permite quemar áreas grandes en poco tiempo con igniciones aéreas de bajo coste. En EE.UU. se queman, aproximadamente, 400 ha/h con poco personal de vigilancia empleando este método.
7. Aplicación precisa y rápida desde el aire. De este modo, las quemas se realizan en el momento justo desde el punto de vista de la prescripción. La aplicación es más lenta desde tierra y los "buenos momentos" para la ejecución no se aprovechan tanto.

Contras de la técnica:

1. Requiere una gran experiencia para su aplicación en tierra y hay riesgo de producir "manchas" de gran intensidad con comportamiento errático.
2. Depende mucho de los combustibles. Así, funciona mejor con material vegetal que genere brasas.
3. Es una técnica que funciona bien en grandes masas de vegetación uniforme.
4. Las quemas bajo dosel por puntos no deben hacerse si el combustible está muy seco debido al soflamado que puede provocar en el arbolado (Wade y Lunsford, 1989; Martínez, 2001).
5. Necesita acceso al interior de la parcela si el encendido no es aéreo (Martin y Dell, 1978).
6. Existen problemas temporales en su aplicación matutina según avanza el día y las condiciones ambientales son mejores para la propagación del fuego con mayor riesgo de quedar fuera de la prescripción y dañar al arbolado si lo hubiere (Wade y Lunsford, 1989)

3.2.2.6. Quemas circulares o perimetrales

3.2.2.6.1. Quemas circulares simples

Las quemas circulares simples consisten en una combinación de varias de las técnicas de quema vistas hasta ahora. Constituyen un método de tratamiento relativamente rápido que se usa en montes desarbolados para hacer trabajos con poco personal y medios, y en parcelas de quema con líneas de control externas débiles, como caminos de rodadura embastecidos y sendas pedestres.

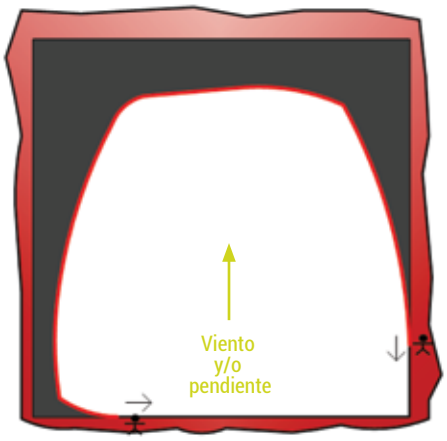


Figura 3.21. Croquis de planta de una quema circular.

El encendido comienza por la parte de sotavento realizando lógicamente una quema en contra. Es decir, la ejecución se inicia en la parte de la parcela de quema donde hay más peligro de que el fuego rebase la línea de control; el fuego en contra permite reforzar la zona de seguridad. El prendido se continúa a modo de quema de flancos desde los bordes aledaños al que esté ardiendo en contra. Deberá avanzar siempre con antelación el encendido del flanco más "sucio" respecto al humo para aumentar la comodidad del operario que trabaje en esa parte. Finalmente, se prenderá a favor cerrando el círculo de fuego en el borde que quede sin quemar; generalmente, a barlovento. Es conveniente dar el fuego a favor después de que la quema en contra y las de los flancos hayan generado unas zonas quemadas lo suficientemente anchas de modo que garanticen la ausencia de escapes.

Es una quema similar a la de flancos desde los bordes de la parcela, con la diferencia de que el prendido se cierra con un frente a favor que es el que recorre la mayor parte de la superficie según el momento en que se haga, con las virtudes y problemas que los fuegos rápidos e intensos presentan.

Es una técnica usada en España para las quemas de matorral —fundamentalmente, por equipos con limitaciones de personal y recursos—, y que permite el tratamiento relativamente rápido de parcelas de pequeño y mediano tamaño con pocos trabajadores y equipamiento (dos antorchas y portófonos). Además, puede emplearse en parcelas con líneas de control estrechas o poco seguras aplicando el fuego con tiento y paciencia desde los bordes.

Fotografía 3.23. Quema circular de una parcela de pequeño tamaño. Se ha dado fuego a la contra en la parte alta y cerrado el trabajo con quema a favor desde la parte baja.

Las Machorras (Burgos)

Se ejecuta en montes desarbolados; generalmente, en pendiente y sin limitaciones importantes. Las condiciones de uso no son muy críticas, aunque se recomienda hacerlo con temperaturas bajas o moderadas y vientos ligeros y constantes, así como en suelos que tengan cierta humedad con el fin de evitar posibles daños edáficos.

El objetivo de este tipo de quema no es generar intensidades de combustión grandes *per se*, aunque estas se producen por la prevalencia de la quema a favor y, a veces, por la reacción sinérgica con las otras líneas de fuego. La intensidad se puede disminuir retrasando la aplicación de la quema a favor de modo que las quemas de flanco y a la contra recorran más superficie, pero esto alarga el tiempo de trabajo. En parcelas llanas o poco inclinadas, se pueden producir efectos convectivos fuertes similares a los de las quemas circulares con encendido central. Las condiciones de quema deben ser más restrictivas si se desea evitar este efecto, como haciéndola con niveles de humedad más altos, temperaturas más bajas o mayor estabilidad atmosférica aunque la evacuación del humo sea peor.

Fotografía 3.24. Las quemas circulares, y más si han tenido prendido interior (en ésta se hizo una línea de prendido oblicua), generan columnas de evacuación del humo vigorosas.
Las Machorras (Burgos).

Pros de la técnica:

1. El método permite ejecutar quemas con poco personal en parcelas pequeñas y medianas; usualmente, en pendiente.
2. Se consiguen unas quemas relativamente rápidas tras tener unas líneas negras seguras suficientes a sotavento y en los flancos.
3. Generan corrientes convectivas medianamente fuertes y la evacuación del humo es buena.
4. Es una técnica relativamente segura.

Contras de la técnica:

1. Estas quemas tienen el riesgo de acorralar a la fauna que se encuentre en la parcela; sobre todo, si esta es extensa.
2. Producen una reducción del combustible irregular por zonas según hayan ardido en contra, de flanco o a favor.

3.2.2.6.2. Quemas circulares con encendido central

Son quemas en las que se enciende un anillo, o varios anillos concéntricos, en el centro de la parcela y los bordes de la misma se prenden inmediatamente después. También puede realizarse con el prendido de varios puntos interiores grandes. Se recomienda prender primero el borde de la parcela de sotavento a la contra y así reducir el riesgo de prendido por pavesas hasta que el fuego central toma fuerza (Wade y Lunsford, 1989).

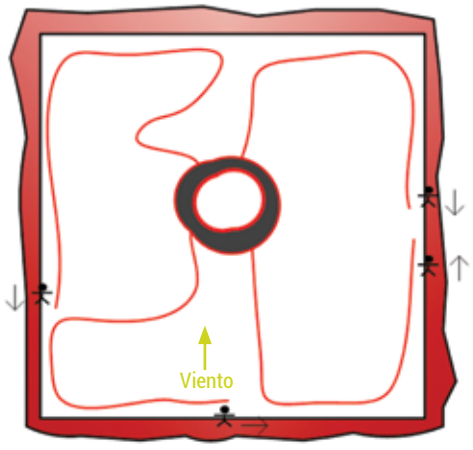


Figura 3.22. Croquis de planta de una quema circular con encendido central. Inspirado en Wright y Bailey (1982). Se prende un anillo central y, seguidamente, se realiza el prendido desde los bordes de la parcela.

Es un método empleado para crear fuegos de gran intensidad—usualmente, en la eliminación de restos de corta—, pero también con otros combustibles en montes desarbolados, como matorrales (Pyne *et al.*, 1996). El prendido central sirve para crear una corriente de succión interna que atrae de forma enérgica a las líneas de fuego de los bordes por succión y crea así una corriente convectiva fuerte.

El tiempo atmosférico no es muy limitante para este tipo de quemas, por lo que resulta factible efectuarlas en cualquier estación del año excepto en la época de peligro de incendios (Wade y Lunsford, 1989). Se forman buenas columnas de convección verticales para la evacuación del humo con una inestabilidad ligera (Martínez, 2001).

El encendido puede llevarse a cabo por líneas continuas o por puntos. Cabe la posibilidad de hacer más anillos concéntricos —no solo un único central— en función del tamaño de la parcela, y lo recomendable es que el más externo esté a unos 10-20 m de los bordes de dicha parcela. Rodríguez (1996) aconseja una separación entre anillos de 15 a 30 m.

La organización del personal en este tipo de quemas es importante para evitar riesgos. En otros países se usan a veces encendidos aéreos para los anillos centrales o con automatismos diseñados específicamente para ello.

Estas quemas deben realizarse en zonas llanas o de pendiente suave y bajo condiciones de relativa inestabilidad atmosférica que beneficien la formación de columnas de convección dinámica. Martínez (2001) recomienda no quemar parcelas de más de 5 ha con este método.

Existe una variante de la técnica central en la que las líneas de fuego se aplican en forma de arcos concéntricos ancladas en la parte baja o en los flancos de la parcela, y se utiliza en predios pequeños con pendientes moderadas y en ausencia de vientos o bajo brisas ligeras (**figura 3.22.**; Rodríguez, 1996).

Pros de la técnica:

1. Genera fuegos rápidos e intensos (Pyne *et al.*, 1996).
2. Provoca buenas columnas de convección para la evacuación del humo.
3. Permite la eliminación de combustibles relativamente pesados.
4. Posibilita hacer el encendido principal alejado de los bordes de la parcela y de la vegetación exterior.

Contras de la técnica:

1. Puede encerrar a la fauna que esté en la parcela.
2. Organización relativamente compleja y necesidad de un grupo amplio de operarios.
3. Riesgo de desarrollar corrientes de convección peligrosas y saltos de pavesas a largas distancias (Edmonds *et al.*, 1999).

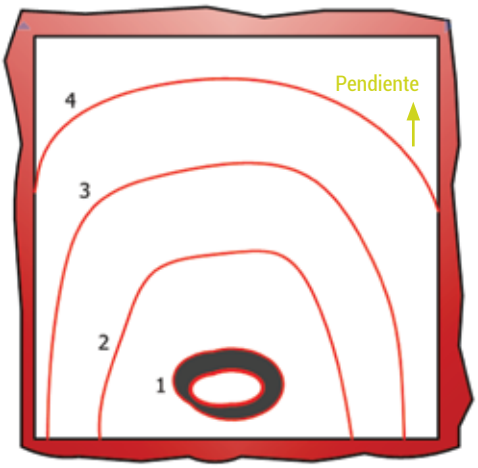


Figura 3.23. Croquis de planta de una variante de quema circular con encendido central. Trata de equilibrar el efecto de succión del encendido central y el de la pendiente. Se debe usar en parcelas pequeñas y en pendientes muy suaves (inferiores a 5 %) para que funcione. En inclinaciones más fuertes hay riesgo de que los encendidos avancen preferentemente a favor y comprometan la seguridad del personal que debe realizar los encendidos posteriores en posiciones más elevadas. Modificado de Rodríguez (1996)..

3.2.2.7. Quemas en contra por fajas

La quema en contra por fajas se emplea para acelerar la realización de una quema en contra normal. Para ello, resulta necesario crear líneas de control internas perpendiculares al avance del fuego y paralelas entre sí previas a la ignición. La anchura de las parcelaciones de quema suele estar comprendida entre 100 y 300 m (Wade y Lunsford, 1989). En esencia, se trata de llevar a cabo una división del área de quema para lograr tener varios frentes a la contra simultáneos e independientes que reduzcan los tiempos de ejecución. Los cordones de fuego se encienden a sotavento de cada una de las líneas internas normalmente de forma secuencial con el objeto de evitar molestias por humo a los trabajadores.

El inconveniente de este método es el coste de realizar las líneas internas. Al ser caro, únicamente es aconsejable para grandes superficies que se quemen en condiciones desfavorables.

Figura 3.24. Croquis de planta de una quema en contra por fajas.

Fotografía 3.25. La construcción de fajas cortafuegos dentro de la parcela de quema para dividirla resulta gravoso, por lo que es una técnica poco utilizada.

Quema sectorizada. Tineo (Asturias).

Pros de la técnica:

1. Tiene las ventajas de la quema en contra, pero aporta mayor velocidad de ejecución.
2. Una sola persona con antorcha puede encender todas las líneas de fuego (Martínez, 2001).

Contras de la técnica:

1. El plan de quema es difícilmente modificable una vez realizadas las líneas de control interiores.
2. Resulta necesario un buen estudio de los vientos en las parcelas llanas, antes de construir las líneas interiores, para determinar adecuadamente las direcciones de propagación más probables.
3. Existe un coste alto en la preparación de la parcela por la subdivisión en zonas (Vega *et al.*, 2001; Martínez, 2001).
4. Los cambios de viento son factores limitantes después de encendidas las fajas (Martínez, 2001).

3.2.2.8. Quemas en estrella o a los cuatro vientos

La técnica consiste en el encendido simultáneo de varias líneas de fuego de flanco a partir de un mismo punto en la cima de una elevación. Tales líneas se van alargando ladera abajo a línea de máxima pendiente de modo que los frentes generados tienen forma de cuña y de estrella en el caso del conjunto de la quema.

Este método es adecuado en pequeñas colinas o elevaciones con pendientes poco pronunciadas y bajo condiciones de relativa calma que permitan que la pendiente sea el principal vector de propagación.

Existe una variación entre quema en contra y en estrella consistente en generar un frente de llamas descendente semicircular a la contra de forma que tenga una estabilidad similar a la de la cola de un incendio.

Figura 3.25. Croquis de planta de una quema en estrella o "chevron".

Pros de la técnica:

1. Los frentes de llama son más estables que en la quema de flanco y tienden a converger en un punto dado que las líneas no son paralelas; por tanto, la intensidad aumenta poco en el encuentro.
2. Los frentes de llama realizan una combinación de movimiento lateral y descendente que aporta las ventajas en cuanto a estabilidad de un fuego en contra.

Contras de la técnica:

1. Es una técnica segura, pero más lenta que la quema de flancos.
2. Puede presentar inconvenientes por comportamiento dispar en las distintas orientaciones de las laderas debido a las diferentes exposiciones, humedades y circulaciones del aire. Por ello, se recomienda aplicar en las primeras horas del día y limitar su uso a la fase inicial de la quema (Martínez, 2001).
3. Necesidad de personal y equipos suficientes para realizar los encendidos simultáneos.

3.2.2.9. Quemas areales

Son quemas cuyo encendido se trata de hacer en muchos puntos de toda la parcela de la forma más sincrónica posible. La técnica consiste en puntear masivamente de fuego toda el área en el tiempo más corto que se pueda sin necesariamente seguir un patrón regular ni atender a las intensidades que cada mancha alcanza —tampoco su confluencia con las vecinas—, como ocurre en la quema por puntos.

El objetivo es crear fuegos muy intensos por el desarrollo de comportamientos convectivos sinérgicos que eliminen materiales relativamente pesados y, además, facilitar la evacuación del humo. Es decir, se busca generar un "efecto parrilla" en el área a quemar. La organización y condicionantes de uso son similares a la quema circular con anillo central; el prendido de parcelas extensas con este método es difícil hacerlo desde tierra, por lo que en algunos países se realiza con ignición aérea y/o usando mecanismos de ignición retardada.

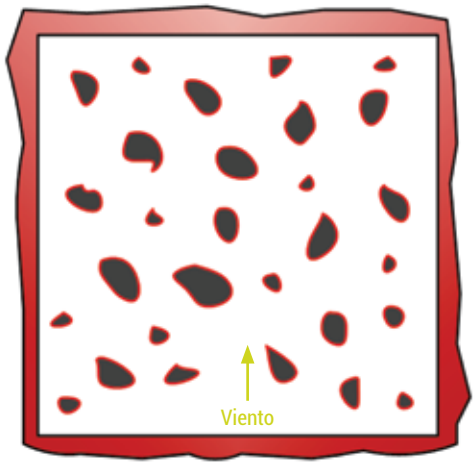


Figura 3.26. Croquis de planta de una quema areal con encendido puntual. Inspirado en Wright y Bailey (1982).

Se recomienda para eliminar materiales pesados en parcelas llanas o de poca pendiente.

Fotografía 3.26. Es difícil lograr el punteo terrestre masivo de modo más o menos simultáneo en grandes áreas sin el apoyo de automatismos.

Zapador encendiendo un punto de fuego en una vegetación relativamente húmeda.

Quema en Pedrosa de Valdeporres (Burgos).

Pros de la técnica:

1. Fuegos rápidos y muy intensos.
2. Se generan buenas columnas de convección para la evacuación del humo.
3. Permite la eliminación de combustibles pesados.

Contras de la técnica:

1. Organización relativamente compleja y necesidad de cierto número de operarios.
2. Requiere encendido aéreo o por automatismos en parcelas extensas.

3.2.2.10. Quemas en pilas y cordones

Las quemas de restos de desbroces, podas u otros trabajos selvícolas ligeros se han realizado usualmente en montones. El ramaje se amontona a mano y se quema en forma de grandes hogueras. Esta técnica resulta indicada para combustibles de hasta 25 mm de diámetro, con vientos de entre 5 y 25 km/h de velocidad a altura de llama y humedades relativas altas, del orden del 40-80 % (Fernandes y Loureiro, 2010). Si se lleva a cabo en bosques, debe hacerse en las aberturas del dosel arbóreo o mantener intensidades moderadas para evitar soflamados en las copas.

Ocasionalmente, este procedimiento se utiliza a mayor escala para la eliminación de restos leñosos de cortas a hecho u otras grandes acumulaciones de vegetación muerta.

Siguiendo a Wade y Lunsford (1989), las leñas y restos deben ser amontonados de modo que se generen combustiones de la suficiente intensidad que eliminen el material pesado. Se recomienda que el combustible se seque extendido antes de apilarlo y evitar que la tierra se acumule durante el proceso en la medida de lo posible. Lo mejor para ello es realizar la operación con el suelo seco y empleando los implementos adecuados; no palas empujadoras, por ejemplo.

Fotografía 3.27. Es bastante común eliminar pequeñas acumulaciones de restos vegetales mediante quemas en hogueras o montones.

Quema de despojos en la limpieza del cauce del río Trueba tras una gran avenida.

Medina de Pomar (Burgos).

Fotografía 3.28. Las quemas para eliminar restos tras cortas a hecho no son habituales en España; principalmente, porque es un método de regeneración poco utilizado y porque algunas veces solo se hacen asociadas a la selvicultura intensiva.

Quema en hilera de restos de corta de *Populus X canadensis,* acordonados previamente con maquinaria. Coca (Segovia).

La quema en pilas es preferible que en cordones dado que el impacto sobre la parcela es menor y su revegetación o plantación posterior se ven facilitadas. En general, las hileras presentan más inconvenientes que los montones debido a que ocupan más espacio e incrementan las alteraciones edáficas en extensión. Además, los cordones suelen tener más tierra y su ventilación es peor —lo que influye en el secado y la combustión— que en el caso de un grupo de montones de la misma talla. La quema en hilera también se desaconseja en pendientes pues puede facilitar el desencadenamiento de procesos erosivos. Lo idóneo es apilar los montones todo lo compactados y altos que sea posible para reducir la porción de suelo sometida a altas temperaturas.

Las grandes acumulaciones de combustibles pesados deben quemarse lo más secas y limpias de tierra que sea viable, ya que estos factores intervienen en el tiempo de combustión, la emisión de humos y la calidad de la reducción del combustible. El secado de las leñas es importante en esta técnica. La humedad en el combustible hace que se emita más cantidad de humo, que la quema sea lenta y que el tiempo de emisión se dilate con riesgo de durar días en la fase de combustión de ascuas, enfrentándose a cambios de las condiciones atmosféricas que hacen que las molestias provocadas por el humo se alarguen. Hay que tener en cuenta que es la técnica de quema que más emisión de humo tiene asociada y la que mayor preocupación social puede provocar por su duración.

Fotografía 3.29. Apilado de restos en un montón ya prendido provenientes de una corta maderera de *Populus X canadensis* para ser eliminados por quema en montones.

El poco volumen del aprovechamiento no hace rentable la valorización energética del material vegetal residual en este caso. La economía de escala y las limitaciones logísticas son los condicionantes principales de los aprovechamientos biomásicos.

Veguellina de Órbigo (León).

Estas quemas de acumulaciones de restos se realizan en España asociadas a algunos cultivos madereros; usualmente, en plantíos poco extensos en los que el volumen de restos generados no es suficiente para que su valoración dendroenergética resulte económicamente viable. Suele haber prisa en el despeje para su replantación o de otro tipo —por ejemplo, por razones económicas para lograr la devolución de avales por parte del rematante—, de modo que los montones de restos muchas veces se queman en verde.

El ahuecamiento y remoción de los montones prendidos se lleva a cabo empleando maquinaria —cargadoras de troncos principalmente—, con lo que la combustión se acelera y el tiempo de quema disminuye.

Son quemas operativamente fáciles y seguras —sobre todo, si el terreno está limpio por la acción de la maquinaria—, e incluso se dejan sin vigilancia en algunos casos. El combustible debe ser amontonado lejos de los bordes de la parcela para limitar los riesgos de escape. El viento no es un limitante —salvo en valores extremos—, pero las atmósferas ligeramente inestables evacuan mejor grandes volúmenes de humo. Lo más adecuado es que haya alturas de mezcla elevadas y vientos de transporte.

El encendido perimetral con punteo en el interior de los montones es el que mejor funciona, y lo ideal es usar combustibles de ignición que faciliten llegar a intensidades altas rápidamente para su transmisión a las leñas gruesas y, de ese modo, acortar el tiempo total de quema. En EE.UU. se usa gasolina gelificada para prender las pilas, pero es difícil adquirirla en España. En su defecto, lo recomendable es emplear acopios de leñas finas o herbáceas insertadas entre los montones para conseguir el mismo efecto. En el caso de contar con el apoyo de maquinaria, se puede portar un cazo de ascuas con una pala cargadora y verterlas sobre otro montón para prenderlo una vez que el primero se ha prendido y medio consumido.

Fotografía 3.30. El apilado de restos con maquinaria, ya sea para su quema o para su astillado, debe hacerse con las herramientas adecuadas y así arrastrar a la menor cantidad de tierra posible junto con el material vegetal.

Ejemplo de rastrillo para atropar restos de corta.

Villacelama (León).

Fotografía 3.31. (arriba) y **3.32.** (abajo). Quema de montón de restos de una industria maderera.

La falta de un entramado industrial suficiente en el área hace que la quema sea el único método de eliminación de estos materiales. En otro caso, los restos serian insumos para la industria de los tableros de partículas o para la energética.

En la imagen inferior se observan restos húmedos y embarrados de difícil eliminación producidos durante la intensa estación húmeda del lugar. La quema de estos montones en tales condiciones resulta difícil.

Mbubuin (Provincia Litoral. Guinea Ecuatorial).

Pros de la técnica:

1. Permite eliminar combustibles muy pesados. La reducción es buena si se sigue un protocolo de secado y limpieza del combustible suficientes.
2. Son quemas seguras y fáciles de ejecutar.

Contras de la técnica:

1. Las alteraciones edáficas son puntuales, pero intensas.
2. Se necesita maquinaria adecuada para el apilado, aunque este inconveniente es menor si la quema se efectúa asociada a operaciones de explotación maderera.
3. Es la técnica que produce más humo y durante mayor tiempo; por tanto, la más molesta.
4. Su uso actual provoca la destrucción de recursos útiles para la sociedad. Es necesaria una correcta evaluación económica previamente a su aplicación.

3.3. MANEJO DEL HUMO

El humo es el signo más llamativo de la presencia de fuego en los montes y puede ser visible desde áreas bastante alejadas al lugar de emisión provocando gran alarma social, porque la gente usualmente lo asocia a incendios que amenazan a diversos valores (Pyne *et al.*, 1996).

Además, da lugar a otras preocupaciones debido a su relación con la suciedad atmosférica, las emisiones contaminantes y los problemas asociados; por ello, hay una demanda popular que exige el control de los humos de toda naturaleza.

Fotografía 3.33. El humo produce un apantallamiento de la luz que dificulta la visión además de molestias respiratorias que pueden llegar a ser importantes. Las condiciones de viento que eviten molestias y riesgo para las personas deben elegirse cuidadosamente cerca de poblados y vías de tránsito.

Quema para la limpieza de un barbecho en la que se ha elegido mal el momento de ejecución afectando a la visibilidad de una carretera.

Vallecillo (León)

Emitir humos y gases a la atmósfera no entra dentro de los posibles objetivos de las quemas, pero es algo consustancial al uso del fuego (Wade y Lunsford, 1989). El manejo del humo es una parte más de dicho uso (Edmonds *et al.*, 1999). Ocasionalmente, los humos de las quemas pueden dar lugar a problemas de falta de visibilidad, molestias respiratorias, olores, deposiciones de cenizas y suciedad e inconvenientes similares que pueden ser graves si afectan a áreas habitadas y vías de circulación (Hardy, Ottmar *et al.*, 2001). El factor humo debe tenerse en cuenta en la planificación de las quemas cerca de las zonas sensibles para minimizar las molestias a las personas. La población es capaz de soportar los inconvenientes del humo durante unas horas, pero no períodos más prolongados (Wright y Bailey, 1982). Descuidar las posibles molestias puede llegar a comprometer un programa de quemas; sobre todo, en lugares en que los habitantes no comprendan o compartan el uso del fuego como herramienta.

Tabla 3.3. Efectos de la concentración de humo en la visibilidad (valores válidos para atmósferas con humedades relativas inferiores al 70 %) (Wade y Lunsford, 1989)

Concentración de humo (mcg/m^3 aire)	Visibilidad (km)
125	3,2-12,9
250	1,6-6,5
500	0,8-3,2
1000	0,4-1,6

En algunas ocasiones también se busca disminuir el volumen total de emisiones y es posible elegir las técnicas adecuadas de combustión para ello, aunque estas pueden estar ocasionalmente en conflicto con los objetivos de manejo de la vegetación y no tener una prescripción que aúne a ambos efectos.

El humo de las quemas es parejo al de los incendios forestales, aunque Dieterich (1971; citado en Ladrach, 2009) apunta a que una quema produce una quinta parte de las emisiones de un incendio. Realmente, esto depende de las características del combustible, situación ambiental en la quema y técnicas de conducción del fuego utilizadas. La aseveración de Dieterich debe entenderse por el posible efecto preventivo de la quema, que pretende que los volúmenes globales de vegetación quemados sean menores al disminuir la susceptibilidad del monte a los incendios. En este sentido, cabe argumentar que el humo generado en las quemas puede ser aceptable a cambio de los beneficios que el fuego produce en las dinámicas ecológicas y para prevenir las sobrecargas de emisiones que los incendios provocan.

Fotografía 3.34. (arriba) y **3.35.** (abajo). El humo es el efecto inmediato más visible de un incendio y en muchas ocasiones es un signo de fuego que se percibe a mucha distancia del foco emisor.

En la imagen superior se observa la columna de humo de un incendio en el piedemonte de la Mujer Muerta durante la media tarde del 31 de julio de 2012. Otero de Herreros (Segovia).

En la imagen inferior aparece la columna de humo del incendio anterior al ocaso del mismo día que avanza paralelamente al Sistema Central, hacia el noreste y a 68 km en línea recta del lugar de emisión. Cerezo de Arriba (Segovia).

3.3.1. TÁCTICAS PARA DISMINUIR EL EFECTO DEL HUMO

El objetivo principal del manejo del humo es evitar o disminuir las molestias a la población humana y reducir la alarma social. Otro objetivo también sería disminuir las emisiones o sus efectos ambientales en lo posible, porque el humo puede manejarse en cierta medida en las quemas. No obstante, los humos solo se eliminan totalmente mediante la extinción (Pyne *et al.*, 1996).

La cantidad de humo, su composición y dispersión pueden controlarse en algunos casos, dentro de unos límites, mediante la prescripción adecuada del fuego.

Las tácticas para disminuir el impacto del humo son la evitación, la dilución y la reducción, que se desarrollan seguidamente siguiendo a Sandberg y Dost (1990). Además, la información y educación de la población también tendrían que incluirse como técnica de reducción de la afección en el sentido de que aumente su tolerancia respecto a los trabajos con fuego.

3.3.1.1. Evitación de zonas sensibles

La evitación consiste en realizar las quemas en aquellos momentos en que las condiciones atmosféricas sean lo más favorables para el movimiento del humo. Esencialmente, se trata de quemar cuando los vientos no acumulen y transporten a las emisiones hacia las áreas de uso humano sensibles.

Para ello, resulta necesario conocer los vientos de la zona, así como sus direcciones y fuerzas, teniendo en cuenta que son distintos dependiendo de la altura, de los cambios meteorológicos que se producen a lo largo del día y de la noche, de las inversiones térmicas usuales y de la distribución y momento de uso de los lugares frecuentados por personas (Wright y Bailey, 1982). El tamaño de la quema y la rapidez con que la combustión se produzca también influyen en la circulación de los humos, de modo que con fuegos intensos se producen mayores volúmenes y columnas de evacuación más decididas. Las columnas de quemas de intensidad ligera son más influenciables por brisas suaves de superficie. Las combustiones que duran más tiempo —como las de ascuas— necesitan una planificación más compleja, ya que las condiciones atmosféricas podrían cambiar mientras haya emisiones.

Bajo condiciones de estabilidad atmosférica, las zonas sensibles localizadas sobre la parcela de quema pueden verse afectadas por los brisas anabáticas durante el día, mientras que las áreas sitas bajo ella lo son durante la noche con brisas catabáticas.

También es evitación no realizar quemas en los aledaños de las zonas pobladas y, de ese modo, no se producen las posibles molestias. Asimismo, lo es llevarlas a cabo en momentos en que la afección a la población sea menor, como con otros vientos dominantes o por las noches y/o cuando las actividades al aire libre de la gente sean menores; por ejemplo, en épocas de frío intenso.

En el **Anexo 2** de recoge una metodología para evitar la molestia del humo a la población.

Fotografía 3.36. Quema de despeje para facilitar el acceso al río en la que se ha elegido una situación de viento adecuada que evita la influencia del humo sobre las viviendas y la carretera.

Suan (Provincia Wele-Nzas, Guinea Ecuatorial).

Fotografía 3.37. Columna de humo de un incendio industrial en la que se observa una altura de mezcla de varios centenares de metros. La situación atmosférica y un fuego muy intenso facilitan la evacuación del humo en altura y la dilución de las emisiones en capas altas limitando su impacto a la población circundante.

Incendio en Ardoncino visto desde Valencia de don Juan (León).

3.3.1.2. Dilución de las emisiones

La dilución, o redistribución, consiste en modificar la concentración de humos en el aire por unidad de tiempo. Se trata de buscar que una misma cantidad de emisiones sea transportada y disipada en los volúmenes atmosféricos más grandes posibles aunque lleve mayor tiempo de trabajo y la ejecución de la quema sea más compleja.

Según Ottmar *et al.* (2001), la dilución puede hacerse mediante:

1. Ejecución de la quema en el momento en que la dispersión atmosférica sea buena.
2. Quemar teniendo en cuenta otras posibles emisiones en la misma área o cuenca para evitar coincidencias desafortunadas.
3. Quemar parcelas o cantidades de combustible pequeñas.
4. Quemar con frecuencias altas de modo que las cargas disponibles de combustible sean menores en cada tratamiento.

Para la dilución en buenos momentos de dispersión atmosférica deben tenerse en cuenta algunas variables meteorológicas que influyen en la mezcla del humo con el viento. Hay que considerar la altura de la capa de mezcla del humo y aire, porque determina el espesor de la columna de aire disponible para envolverse; también la velocidad del viento en la altura de mezcla, pues facilitan la dilución en mayor o menor medida. En Estados Unidos usan una clasificación de condiciones atmosféricas para la dilución del humo en base a la "tasa de ventilación" que de forma sinóptica ayuda a decidir si es un buen día para quemar desde la perspectiva del humo (**tabla 3.4.**), aunque se basa en informaciones meteorológicas no disponibles fácilmente en España.

La circulación de los vientos es más débil en las épocas de altas presiones. En esos momentos, la evolución de los vientos varía durante la jornada: la ventilación suele ser mejor durante el mediodía, y tiende a empeorar hacia el atardecer al agudizarse las condiciones de calma atmosférica por la disminución de la radiación solar. En general, se debe evitar quemar en condiciones de quietud atmosférica marcada, dado que se facilita que las masas de humo queden cautivas a ras del suelo.

El empleo de patrones de avance del fuego lentos también puede considerarse redistribución, ya que hacen que el humo se diluya más en determinadas circunstancias. Esta técnica, sin embargo, es cuestionable porque normalmente consume mayor cantidad de vegetación disponible, lo que se traduce en un incremento de la cantidad bruta de emisiones.

Fotografía 3.38. El humo produce molestias visuales y respiratorias.

Zapadores en una zona segura soportando el humo durante un lance de la extinción.

Incendio en Mezquita (Orense/Ourense).

El control del humo por dilución, por otro lado, presenta el inconveniente de hacer más caras las ejecuciones de las quemas ya sea por la pequeña extensión de las parcelas en que se aplica o por la lentitud de las combustiones.

Tabla 3.4. Directrices para la dispersión del humo en las quemas según la Tasa de Ventilación (Weir *et al.*, 2009)

Tasa de ventilación	Recomendación
< 2.000	No ejecutar la quema
2.000-4.000	No quemar antes de las 11 horas y nunca antes de que la inversión térmica se haya disipado.
4.000-8.000	Terminar la quema antes de las 16 horas. Quemar después de que la inversión térmica se haya disipado.
8.000-16.000	Se puede quemar en cualquier momento
> 16.000	Inestabilidad y presencia de vientos: excelente dispersión del humo. Quemar con precaución.
Tasa de ventilación = altura de la columna de mezcla (m) x velocidad del viento a esa altura (m/s)	

3.3.1.3. Reducción de las emisiones

La reducción persigue minimizar el volumen total de emisiones durante la quema. Se fundamenta en el uso de prácticas rápidas de encendido y conducción del fuego mediante una adecuada preparación del combustible y un dimensionamiento correcto de la parcela que se pretende tratar de modo que el combustible consumido sea el menor posible. Los tiempos de emisión suelen ser cortos utilizando esta táctica, lo que también reduce la atención y alarma social asociadas con las quemas (Wright y Bailey, 1982).

La combustión de ascuas produce de tres a cinco veces más emisiones totales que una quema de llamas vivas. Para tratar de reducir los humos totales, las quemas se deben ejecutar mediante fuegos vivos, creados por propagaciones a favor que formen buenas columnas de convección para la evacuación rápida y en altura de los humos y con la menor combustión de ascuas posible. También es necesario considerar que las quemas a favor emiten una considerable cantidad de partículas de tamaño grande, lo que puede ser un inconveniente en algunos casos.

La reducción de las emisiones puede apoyarse, asimismo, en un adecuado manejo del combustible en el sentido de realizar su disminución previa por otros métodos en la medida de lo posible. De esa forma, solo se quema el mínimo de vegetación imprescindible, aunque el manejo del combustible por otros métodos es gravoso. También hay que considerar que, en este caso, la humedad alta aumenta la cantidad de humo emitido en forma de vapor de agua y disminuye la velocidad de la quema, pero por otra parte facilita que las combustiones de ascuas sean menores.

Las técnicas para la reducción de las emisiones son (Ottmar *et al.*, 2001):

1. Adecuación de la superficie a quemar mediante la concentración de combustibles, el aislado de los combustibles más pesados para que no ardan —ya que pueden consumirse en forma de ascuas durante un tiempo dilatado— y/o quemar en distribuciones espaciales de mosaico, lo cual disminuye el área total tratada.
2. Disminución previa de la carga de combustible, que se puede hacer con distintos tipos de procesados mecánicos, con orientación a mercados biomásicos o sin ella, y mediante el empleo de herbívoros.
3. Reducción de la productividad vegetal mediante el cambio de la composición del monte, con el uso de fitoquímicos o modificando el uso del suelo.
4. Disminución de la cantidad de combustible disponible en el momento de la quema: quemando con humedades altas los combustibles de más de 75 mm de diámetro para evitar que ardan totalmente; con humedades suficientes en la hojarasca y el mantillo de manera que su consumo sea mínimo; justo antes de las precipitaciones para asegurar una extinción total y rápida; cuando el material medio grueso esté bien seco.

Fotografía 3.39. La emisión de humos debe contemplarse en la planificación de la quema; sobre todo, en zonas más habitadas o frecuentadas.Columna de humo de una quema bajo arbolado en un bosque de una isla altamente poblada.

La Victoria de Acentejo (Tenerife).

5. Quemar antes de la aparición de nuevos combustibles, como previamente a la caída de la hoja en los árboles caducifolios o marcescentes o con antelación a las activaciones vegetativas de primavera y otoño, en las que nuevas herbáceas se suman al combustible superficial.

6. Aumentado la eficiencia de la combustión, lo que puede hacerse quemando en condiciones ambientales de sequedad, con remates rápidos y eficaces tras el paso de las llamas y/o con patrones de quema rápidos, como con frentes de avance a favor en combustibles secos. También es factible considerar la quema de materiales pesados en incineradoras con aire forzado, en las que las combustiones son más eficientes que en el monte, aunque es una operación bastante onerosa.

Tabla 3.5. Parámetros necesarios para predecir las concentraciones de humo en quemas (modificado de Mobley, 1976)

Parámetros		Variables
Combustible	Capa de hojarasca total	Capa de hojarasca previa, edad aproximada, jornadas desde la última precipitación
	Carga de combustible	Tipo de combustible, edad aproximada, área basimétrica, altura del sotobosque, diámetros promedio y longitud (solo restos de leña)
	Combustible disponible	Tipo de combustible, carga de combustible, capa de hojarasca total
	Tasa de emisión	Tipo de combustible, etapa de combustión, edad aproximada, método de quema
	Combustible fino	Temperatura, HR, condiciones de nubosidad (solo para herbáceas)
	Características del rodal	Inventario pretratamiento
Fuego	Fase del fuego	Velocidad de liberación de calor
	Velocidad de propagación	Combustible fino, velocidad del viento a la altura de media llama, tipo de combustible
	Etapa de combustión	Comportamiento del fuego
	Longitud del frente de llama	Prescripción, geometría de la parcela (solo para fuegos confinados)
	Velocidad de liberación de calor	Combustible disponible, velocidad de propagación, longitud del frente de llama
	Velocidad de emisión de partículas	Combustible disponible, velocidad de propagación, tasa de emisión
Atmósfera	Altura de mezcla	Observación y predicciones del tiempo
	Velocidad de transporte y dirección del viento	Observación y predicciones del tiempo
	Clase de estabilidad atmosférica	Observación y predicciones del tiempo
	Área objetivo de las emisiones	Efectos de otras fuentes de emisiones o de quemas anteriores

Por el precio de una caja de cerillas, literalmente, es posible someter a centenares de hectáreas a una poderosa fuerza de modificación. Desafortunadamente, quemar es mucho más simple que alcanzar los efectos biológicos deseados, y el fuego puede tener numerosas consecuencias adversas si es incorrectamente usado.

Willian J. Bond y Brian W. van Wilgen. Fire and plants (1996).

4 PRESCRIPCIONES

Este libro trata principalmente del uso de las quemas. Con estas, se trata de modificar la realidad del ecosistema. Por ello, la valoración esencial que se debe hacer a la hora de plantearse el uso del fuego como herramienta —como en cualquier otro tipo de intervención selvícola— es la adecuación del tratamiento para alcanzar las metas buscadas.

Como se muestra en el **capítulo 8**, el efecto del fuego en el monte depende en buena medida de los atributos del ecosistema en el momento de recibir el fuego y de las características de la combustión. La conjugación de estos factores da como resultado una nueva realidad en la que algunas especies e individuos se ven beneficiados y otros perjudicados, y hay una disminución de la biomasa y una alteración de la estructura de la comunidad en distintos grados, entre otros efectos.

Los meros fuegos controlados son herramientas toscas que permiten alcanzar objetivos groseros en la gestión forestal. Las quemas prescritas cuentan con una receta facultativa, las prescripciones, que tratan de acotar la respuesta del ecosistema a través de la influencia del comportamiento del fuego, de modo que hay mayor probabilidad de alcanzar objetivos de gestión complejos (Vega *et al.,* 2001; Fernandes *et al.*, 2002). Según Pyne *et al.* (1996), las prescripciones de quema son determinadas condiciones ambientales de uso del fuego para que este tenga un efecto deseado sobre el ecosistema, el combustible y la dispersión del humo, y que su manejo y control sean fáciles.

Fotografía 4.1. Guiar la evolución de los ecosistemas —o, al menos, prever cómo cambiarán bajo determinadas circunstancias— es el epicentro de la ciencia forestal. Este conocimiento permite, a su vez, inferir las tasas de crecimiento y renovación de los montes para estimar después un aprovechamiento o uso que sea sostenible.

Orientar el flujo de los montes es una tarea difícil y cargada de aleatoriedad en muchas ocasiones, ya que depende de la situación de partida del monte —que puede ser más o menos compleja—, del suceso o procesos que incidan sobre el ecosistema y de las repercusiones de las circunstancias posteriores al hito de intervención, sobre las que no hay control y serán determinantes para el resultado en muchas ocasiones.

En la imagen se puede observar una alegoría forestal. Un motoserrista estudia un tortuoso ejemplar de *Pinus pinaster* para realizar su apeo. El complejo equilibrio de la arquitectura del árbol, la pericia del hombre y la técnica usada para romper la sujeción mecánica del raigal del pie —y la influencia del viento en su caída— determinarán el lugar donde el árbol terminará una vez cortado.

Coca (Segovia).

Las prescripciones de quema son análogas a las que se usan en otro tipo de tratamientos selvícolas, como las de corta, aunque la información que cada uno de los tipos de tratamiento recoge es de una naturaleza distinta, como corresponde a eventos renovadores contrastados. Las prescripciones de quema se desarrollan para un monte determinado, para unos objetivos de gestión y para un área geográfica; las hay muy elaboradas, con especificaciones y protocolos de todo tipo, y otras sencillamente proporcionan unos rangos de algunos parámetros meteorológicos.

Las prescripciones sirven para conducir facultativamente la evolución del ecosistema, pero tienen limitaciones si se realizan reiteradamente. La capacidad actual de predicción del cambio en los montes es relativamente alta para el suceso de un fuego, pero mucho menor para situaciones resultantes de varias aplicaciones (Edmonds *et al.*, 1999), ya que los caminos posibles que los ecosistemas pueden seguir aumentan significativamente en cada proceso de reinicio, total o parcial; sobre todo, si los intervalos de tiempo entre los fuegos son dilatados y heterogéneos.

Las predicciones son más sencillas:

- Para las quemas que para los incendios.
- En montes con vegetación pirófita (más adaptada al efecto del fuego).
- En sistemas simples, como, por ejemplo, con baja diversidad específica, sin irregularidad climática marcada o con ausencia de eventos sinérgicos.

4.1. PRESCRIPCIONES SELVÍCOLAS DE QUEMA

La selvicultura utiliza recetas facultativas para inferir transformaciones en los montes; principalmente, mediante intervenciones renovadoras de la vegetación. Son muy conocidas las prescripciones de corta que, en ocasiones, llegan a describir el manejo de la espesura arbórea a lo largo de toda la vida de una generación de arbolado. De forma paralela, el uso del fuego necesita fórmulas para lograr los objetivos de gestión que se pretenden.

Técnicamente, las prescripciones de quema son una colección de rangos de variables atmosféricas, de humedad, de cargas de combustible y de características de la vegetación —como su composición, fenología, estructura, estado de desarrollo, etc.— que condicionan el comportamiento y resultados del fuego en un monte concreto. Las prescripciones determinan en buena medida la reducción de combustible, el impacto térmico y la respuesta del complejo biológico frente a la renovación; son la herramienta facultativa más adecuada para alcanzar los hitos de manejo deseados.

4.1.1. ESPECIFICACIONES Y ESTRATEGIA DE QUEMA

En las prescripciones existen variables principales y otras derivadas en función de su significación (Martin y Dell, 1978). Toda la información recogida en una receta de quema no tiene la misma importancia: algunos datos son esenciales para que el fuego tenga el comportamiento adecuado y otra información es un conjunto de recomendaciones cuyo cumplimiento es flexible y que pueden variar en función de cada situación y de la pericia del equipo de quema.

Siguiendo a Molina (2000), las especificaciones de quema son la prescripción propiamente dicha, en sentido estricto. Fundamentalmente, definen unos rangos de parámetros atmosféricos y ambientales (HR, Tª, humedad del suelo, etc.) —así como de los combustibles (humedades, tamaños, distribución, etc.)— que van a hacer que el fuego se comporte de una determinada manera. También la propia prescripción da información en algunos casos sobre el comportamiento esperado del fuego, como la relacionada con la velocidad de propagación, la longitud de llama u otros parámetros.

La estrategia de quema es parte de la prescripción en un sentido amplio, ya que puede acompañar a las especificaciones de quema aportando información valiosa de la que el éxito del tratamiento podría depender. Son indicaciones que el director de quema puede variar, si lo cree necesario, para adaptarlas a una situación concreta. Se trata de información de diversa índole:

a) Tareas previas a la quema: anchura de las líneas cortafuegos, podas, cortas, acumulación de combustible, etc.

b) Técnicas de ignición: fuego a favor, fuego en contra, etc.

c) Recomendaciones de equipamientos, personal, maquinaria, operaciones de remate, etc.

4.1.2. TRANSFORMACIONES DEL ECOSISTEMA: LAS METAS SELVÍCOLAS

Las quemas se realizan para alcanzar unos objetivos de gestión que deben ser claros y mensurables en la medida de lo posible. La combustión provoca unos efectos directos en la vegetación y otros indirectos, y busca generar una determinada respuesta en el ecosistema usualmente relacionada con la modificación de su estructura y/o para dirigir la sucesión en cierto sentido.

Una prescripción bien desarrollada debe prever las dinámicas que suscite y describir cómo se espera que el monte quede tras el tratamiento. Es decir, tiene que presentar una relación causa-efecto lógica sobre la manera en que el ecosistema varía con la renovación —al menos, de los principales efectos directos e indirectos dentro de un rango— y una indicación de cómo se espera que el monte evolucione después de la renovación en función de la ecología del mismo.

Algunas prescripciones de quema adolecen de este tipo de información y están incompletas en cierta forma. Esto no ocurre con otros tipos de prescripciones selvícolas, como las cortas, en las que usualmente se describe la situación de partida del rodal, el peso y forma de la renovación y cómo se busca que el estrato arbolado quede tras el apeo; generalmente, todo ello medido mediante parámetros o índices selvícolas.

Es esencial que la información sobre la transformación del ecosistema contenida en las prescripciones defina qué metas selvícolas se pretende alcanzar para poder valorar adecuadamente el efecto directo de la quema tras el tratamiento. Además, ayudan a discernir a medio plazo si los desajustes en la evolución dinámica del rodal se deben a errores en dicho tratamiento o a factores posteriores, como la meteorología o los herbívoros.

Tabla 4.1. Ejemplo hipotético de transformaciones que podrían ser parte de una prescripción de quema bajo arbolado

Objetivos del manejo (esta información suele ser parte del plan de ejecución de quema o de la prescripción si esta es muy específica)	Reducción del riesgo de incendio a corto plazo, mejora de acceso al rodal y ligera disminución de la densidad arbórea para facilitar la maduración del estrato arbolado para latizales y fustales bajos de *Pinus pinaster.*
Metas selvícolas del tratamiento	Reducción del sotobosque al menos temporalmente, poda por soflamado en todos los pies y clareo por lo bajo de peso ligero.
Indicadores de referencia en el desempeño del fuego	Reducción de la presencia de sotobosque a menos del 30 % de Fcc.
	Soflamado de las ramas bajas del 60-90 % de los pies hasta los 4 metros de altura de fuste.
	Mortandad inferior al 20 % concentrada en los pies de menor diámetro.
Respuesta dinámica del rodal esperada	Reducción, temporal al menos, del sotobosque por el impacto de la renovación y el efecto sinérgico del sombreo del suelo. Puede que el fuego refuerce la reaparición de especies heliófilas y pirófitas a medio plazo si el sombreo arbóreo es insuficiente.
	Ligera estimulación del crecimiento del arbolado superviviente por la clara baja.
	Posible aceleración de la caída de la susceptibilidad al fuego por el cambio estructural y la fase de desarrollo del arbolado en curso.
Observaciones	Posible necesidad de clara mecánica alta o mixta en 5-10 años si se busca el aprovechamiento maderero, porque la reducción de la espesura del estrato dominante será escasa.

4.1.3. PRESENTACIÓN DE LAS PRESCRIPCIONES

Las prescripciones pueden ser complejas o sencillas, y se representan de diversas formas: alfanumérica o gráficamente (véase, por ejemplo, Wright y Bailey, 1982). La forma más común es a modo de tabla con los rangos de valores adecuados de las variables. En la jerga, estas tablas suelen llamarse "ventanas de prescripción", y una gran parte de la información necesaria para quemar y cumplir los objetivos propuestos se condensa en ellas. En la **tabla 4.2.** se muestra un ejemplo de ventana de prescripción genérica y sencilla y en la **4.3.** un ejemplo específico para quema bajo cubierta.

Tabla 4.2. Ejemplo de prescripción genérica de quema bajo dosel arbóreo (Vélez, 1982)

Condición	Intensidad	
	Baja	Alta
Humedad relativa del aire (%)	50	30
Temperatura del aire (ºC)	- 6	10
Velocidad del viento (km/h)	3	15
Humedad del combustible fino muerto (%)	20	7

Las prescripciones pueden simplificarse en el caso de ecosistemas conocidos en que se trabaja habitualmente y hacer que apenas representen los rangos de factores meteorológicos y humedades del combustible. No obstante, una prescripción siempre debe tener unas especificaciones razonables para delimitar suficientemente el comportamiento y efectos del fuego y, de ese modo, lograr los objetivos de gestión (Martin y Dell, 1978).

También existe información relacionada con las prescripciones que se recoge en las llamadas "ventanas marco" (Molina, 2000; Grillo *et al.*, 2009). Se trata de colecciones de variables con las condiciones meteorológicas de los días anterior y posterior a la quema, y sirven para poner sobre aviso de que una oportunidad para ejecutar el tratamiento está próxima a producirse mediante su comparación con las previsiones meteorológicas.

Algunas prescripciones pueden ser muy complejas y llegan a ser guías completas sobre el uso del fuego. Por ejemplo, Fernandes *et al.* (2002) desarrollaron dos —una para matorral y otra para tratamiento bajo cubierta de *Pinus pinaster*— con diversos ábacos buscando considerar muchos de los aspectos que influyen en el comportamiento y efectos del fuego sobre el ecosistema. A partir de este trabajo, Fernandes y sus colaboradores crearon en 2003 la primera versión de un interesante programa

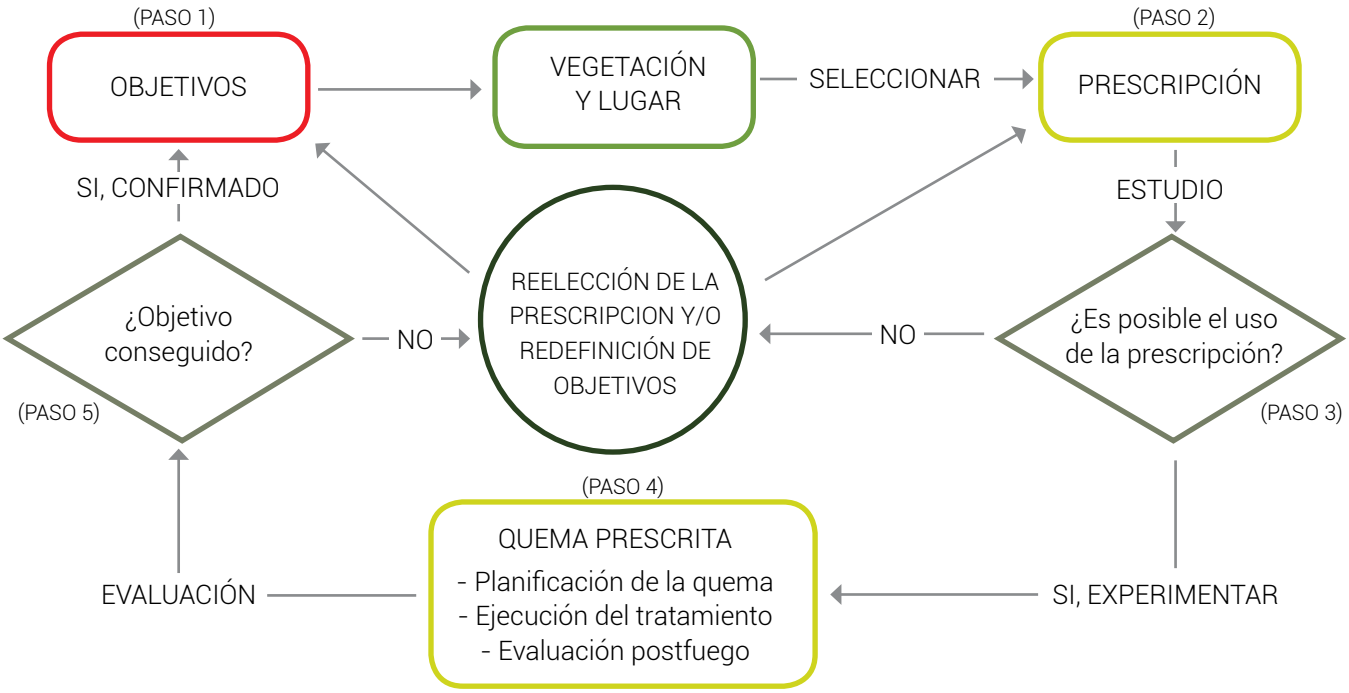


Figura 4.1. Organigrama de los "5 pasos" en la elección de prescripciones de quema para el manejo forestal. Fuente: Kayll (1980), en Alexander y Thomas (2006).

Tabla 4.3. Ejemplo de prescripción para quemas bajo cubierta en bosques de *Pinus nigra* de Cataluña (Fernandes y Loureiro, 2010)

Tipo de vegetación		*Pinus nigra*	
Objetivo de manejo		Reducción de riesgo de incendios, gestión de pastaderos	
Lugar		España/Cataluña/ Tremp, La Vileta	
Elementos de prescripción		**Rangos admisibles**	**Óptimos**
Variables meteor.	Velocidad del viento (km/h)	2 - 5	4
	Temperatura ambiente (º C)	12 - 20	16
	Humedad relativa (%)	32 - 55	40
Humedad del combustible (%)	1 h	6 - 10	8
	10 h	8 - 12	10
	100 h	10 - 14	12
	Herbáceas vivas	80 - 125	90
	Arbustos vivos	90 - 140	115
Patrones de encendido		A favor por fajas	
Comportamiento del fuego		**Rangos admisibles**	**Rangos óptimos**
Velocidad de propagación (m/h)		60 - 180	90
Longitud de llama (m)		0,3 - 1,0	0,6
Observaciones e información suplementaria			
Rodal arbolado de 30 años con sotobosque disperso y un importante estrato herbáceo.			

llamado PiroPinus, una herramienta basada en modelos empíricos útil para valorar el comportamiento del fuego y sus efectos en quemas bajo arbolado en pinares de *P. pinaster* (Fernandes, 2010).

Por otra parte, encontrar prescripciones de quema en la bibliografía resultaba difícil hasta hace un tiempo, y era necesario acudir a trabajos dispersos y enfocados a realidades naturales distintas de las ibéricas —como Martin y Dell (1978), Wright y Bailey (1982), Wade y Lunsford (1989), etc.— y, con ello, intentar realizar aproximaciones más o menos venturosas. En ese sentido, Alexander y Thomas (2006) condensan muchas de estas referencias y su trabajo es un buen inicio para empezar a buscar. Afortunadamente, Fernandes y Loureiro (2010) llevaron a cabo un compendio de las prescripciones desarrolladas en Europa durante los últimos años como producto del proyecto FireParadox, lo que supone una labor que facilita las tareas de gestión.

4.2. INTRODUCCIÓN A LA CREACIÓN DE UNA PRESCRIPCIÓN DE QUEMA

El desarrollo de una prescripción es una tarea compleja que se debe basar en la experimentación apoyada en la bibliografía disponible y en la utilización de simuladores del comportamiento del fuego. Cada prescripción se hace para un determinado ecosistema, tipo de combustibles y grupo de metas de manejo.

El objetivo final de la quema es inducir un determinado cambio en el monte en el marco de la conducción de su dinámica ecológica, lo que se logra mediante la acción de una combustión con unas características específicas en un ecosistema concreto y bajo una situación determinada. El comportamiento del fuego, a su vez, depende principalmente de las condiciones atmosféricas, de los combustibles y de la orografía, así como de las técnicas de encendido.

El desarrollo de una prescripción se basa esencialmente en el estudio y conjugación de los dos principales subsistemas que intervienen en la renovación y en la severidad de esta:

- El comportamiento del fuego, que rige qué estructuras biológicas y edáficas serán consumidas en la combustión y cuáles se verán afectadas por el calor en función de la longitud de llama, velocidad de avance, tiempo de residencia, etc. Este subsistema es esencialmente físico y determina, con permiso de la resistencia de los organismos y el momento fenológico, los efectos directos de la renovación; es decir, define qué estratos van arder y qué estructuras se espera serán afectadas por el calor y en qué medida.

- El complejo vegetación, conformado por poblaciones, individuos y sus restos, con una naturaleza y características propias en cada caso. Las plantas tienen unos atributos vitales propios que las hacen resistir y reaccionar ante la agresión por fuego de una forma particular en cada caso. Este subsistema es en parte físico y está íntimamente relacionado con la resistencia de las plantas al fuego, así como con el comportamiento del fuego por la dualidad vegetación/combustible. Sin embargo, es principalmente biológico en el sentido que los organismos poseen, en distinto grado, capacidad de reaccionar a la agresión por fuego en función de sus atributos vitales, tamaño y vigor; es decir, su resiliencia. Dependiendo de esos atributos vitales, los vegetales tienen unas respuestas plásticas y dinámicas en el tiempo ante el efecto del fuego. Este subsistema determina los efectos derivados del fuego y la reacción de los organismos sobre la base de las modificaciones sufridas directamente.

Usualmente, se observa que se concede bastante importancia al subsistema físico de la prescripción, al fuego y los combustibles, y menos al biológico; esto es, a los atributos vitales y a la capacidad de la vegetación para reaccionar a medio plazo. Es esencial una adecuada aproximación a la botánica de la comunidad vegetal y a la autoecología de sus especies principales o más importantes con el objeto de determinar cuál puede ser la reacción de los organismos al fuego y a su posible reiteración. Así, la prescripción tendrá un principio causa-efecto lógico que integre adecuadamente también a los mecanismos biológicos.

Uno de los motivos por los que se presta más atención al comportamiento del fuego es porque sus efectos son inmediatos, mientras que la reacción biológica se demora en el tiempo, se visualiza lentamente y está sujeta a variaciones debidas a otras interacciones.

Por otra parte, es necesario experimentar más y, de ese modo, obtener rangos de resistencia y resiliencia utilizables para las especies principales (Fernandes, 2010).

El diagrama de Brown (1985; en Vega *et al.*, 2001; y en Alexander y Thomas, 2006) con las etapas básicas de diseño de una prescripción se muestra en la **figura 4.2**.

Tabla 4.4. Desglose de la influencia del fuego sobre la severidad de sus efectos y la reacción del monte

Prescripción	Repercusión dinámica/causa		Influencia de la herramienta de manejo
Subsistema fuego	Agresividad del evento renovador: participa en determinar las estructuras y tejidos consumidos o necrosados	Comportamiento del fuego	Directa
Subsistema vegetal	Resistencia a la combustión y a los daños por calor: participa en determinar las estructuras y tejidos consumidos o necrosados	Morfología y otros atributos del individuo (además de la población y la comunidad)	
	Reacción a las modificaciones del ecosistema y a los daños individuales	Resiliencia de los organismos supervivientes	Derivada (también hay otros factores que participan en la evolución posterior; por ejemplo, la meteorología)
		Respuesta del banco de propágulos	

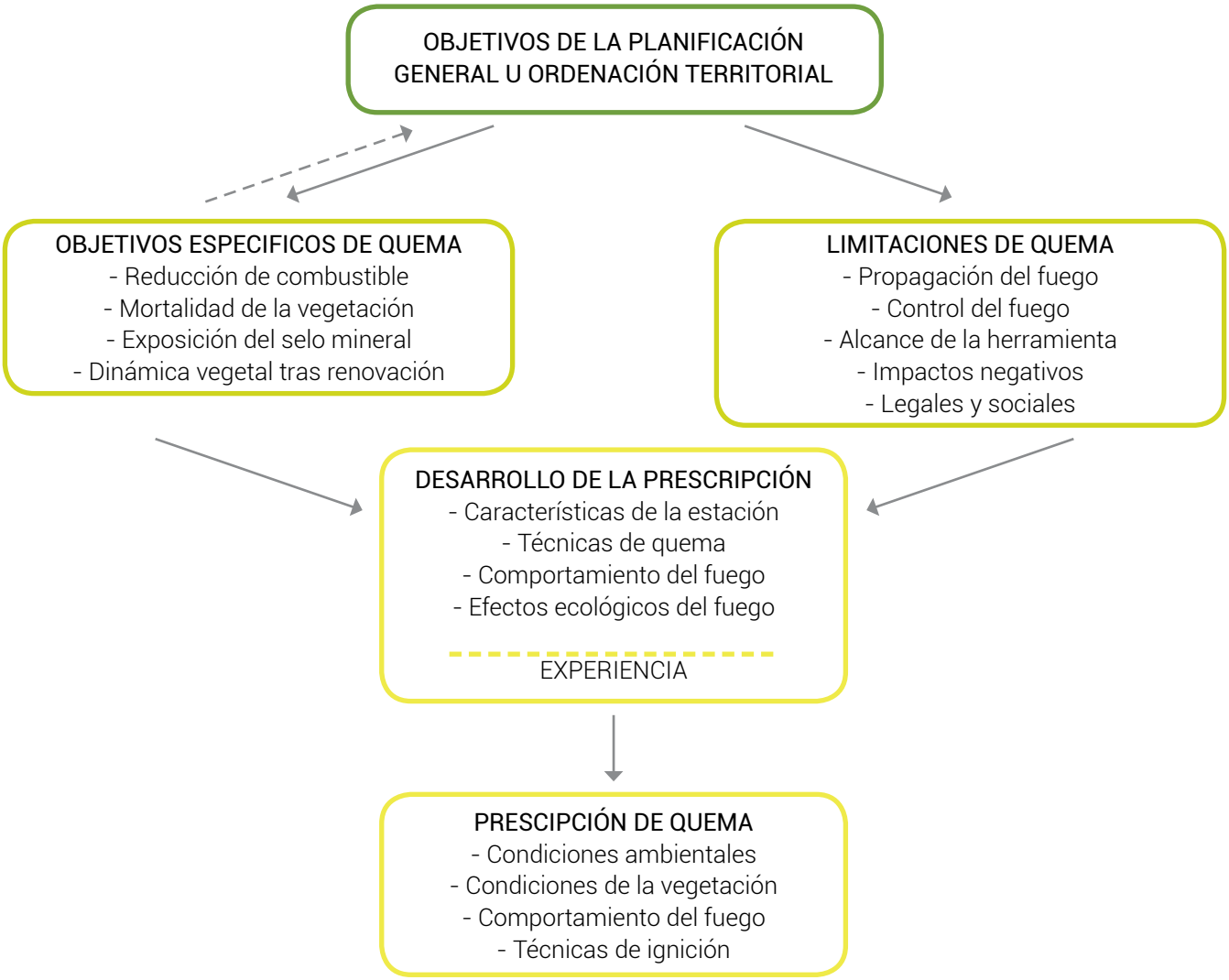


Figura 4.2. Etapas básicas en el desarrollo de una prescripción. Fuente: modificado de Brown (1985; en Vega *et al.*, 2001).

4.2.1. MECÁNICA DE LA HERRAMIENTA FUEGO EN EL MONTE

El fuego, como útil, tiene bondades y limitaciones, y estas deben tenerse en cuenta para el desarrollo de nuevas prescripciones. No debe perderse de vista que el fuego puede causar efectos distintos a los buscados bajo determinadas circunstancias o resultados colaterales no deseados. Es un agente que provoca efectos múltiples sobre el ecosistema y es posible que alguno de ellos no sea adecuado.

El fuego se usa como herramienta selvícola en las quemas; es decir, sirve para dirigir la evolución del monte hacia unas metas de gestión claras y alcanzables que deben estar dentro de la realidad ecológica de las poblaciones que se manejan. Antes de aplicar fuego, hay que estudiar si los cambios estructurales y/o sucesionales en el rodal de trabajo son posibles mediante el prendido y tratar de atisbar el régimen de fuego que se debe impo-

ner si se pretende quemar reiteradamente. La propuesta de gestión ha de ajustarse a la capacidad de respuesta biológica de las poblaciones, porque se podría provocar su extinción u otros efectos indeseados en caso contrario (Bond y van Wilgen, 1996). Un enfoque de gestión forestal adaptativa para el manejo del fuego es el correcto.

Algunas características de la herramienta son:

- La principal influencia del fuego sobre el ecosistema es física y directa por la reducción de la materia orgánica mediante la combustión y necrosis producidas por el calor en los organismos. También se producen alteraciones edáficas y en la disponibilidad de espacio que modifican las condiciones de habitación e influyen en la reacción del legado biológico tras el fuego.

- El uso del fuego suele perseguir usualmente transformaciones estructurales en los montes. Al ser una presión selectiva, también resulta factible emplearlo en la modificación de la composición florística de los ecosistemas en función de la resistencia y resiliencia diferencial que cada especie tiene a este agente. Para ello, hay que analizar los atributos vitales de cada taxón y el régimen de fuego que imponer. Sin embargo, no es una tarea sencilla porque también depende de otros muchos aspectos sobrevenidos después de la quema.

- El fuego se emplea normalmente para manejar a ecosistemas en los montes cuyas especies están más adaptadas a su efecto, como algunos herbazales, matorrales pirófitos o ciertos pinares. En menor medida, también puede emplearse en otros tipos de montes y bosques si, en líneas generales, se pretende llevar a la sucesión hacia una menor tolerancia a la concurrencia.

- El fuego se aplica normalmente sobre la superficie del suelo, de modo que su acción es efectiva en este nivel e influye por la penetración de la combustión hacia abajo o por la transmisión de calor hacia arriba:

    - El alcance de su efecto sobre el interior del suelo es normalmente corto dada la capacidad aislante del complejo edáfico. La combustión puede acceder al suelo si hay suficiente materia orgánica o raíces secas, y el calor entra en él dependiendo de la intensidad, el tiempo de residencia y la transmitancia del medio. Este efecto tiene importancia para la activación de ciertas semillas y la conservación del suelo capitalizado.

    - En cambio, el fuego se suele aplicar hacia arriba con el fin de renovar la hojarasca, herbáceas, sotobosque o matorral mediante combustión superficial. En quemas bajo dosel, además, puede servir para realizar podas térmicas o un clareo por lo bajo del arbolado mediante la regulación de las necrosis por calor. En algún caso, bajo determinadas condiciones ambientales, la combustión puede coronar a toda la estructura arbórea. Este efecto raramente tiene interés en la gestión forestal, aunque sí en la agrícola y en la pastoril.

- Las quemas presentan algunas limitaciones para hacer cambios estructurales de alcance en los bosques porque su acción se concentra en la superficie del suelo y su efecto sobre la vegetación es de tipo umbral. La soflamación es siempre de abajo-arriba hasta una altura relativamente homogénea. Sobre todo, presenta el inconveniente de que solo mata a los árboles "por lo bajo", eliminando a los pies de menor diámetro. No obstante, puede haber fuertes contrastes entre las especies de un mismo rodal debidos a las diferentes resistencias específicas. La homogeneidad del tratamiento con fuego suele verse alterada por las intensidades relativamente aleatorias del fuego en períodos de tiempo cortos. Aun así, la quema no permite alcanzar las dinámicas de evolución de los rodales arbolados que las claras altas, mixtas o selectivas posibilitan y el bosque queda sujeto a la influencia de los desarrollos por claras bajas. Siendo estas útiles en algún caso, llevan a la homogeneidad del estrato arbóreo y al estancamiento relativo de su desarrollo en períodos breves. La parametrización de los efectos estructurales del fuego en los árboles, como el grado de chamuscado de tronco o la altura o volumen de copa soflamada, resulta esencial para una conformación de prescripciones bajo arbolado útiles.

- La modificación de la estructura se lleva a cabo considerando los efectos directos del fuego, que son los aspectos mejor conocidos en las prescripciones. El control del cambio en la composición, no obstante, es más complejo. Este depende de la acción física del fuego sobre los organismos a través de su resistencia, pero también en buena medida de la respuesta del legado, que está regulada por la variación de las condiciones ambientales y la capacidad de resiliencia y de adaptación de los organismos supervivientes y del banco de propágulos.

- El fuego produce alteraciones en el suelo de distinta naturaleza y alcance según las características del evento y del ecosistema. Usualmente, se observa que ocurre una liberación de nutrientes por la mine-

Tabla 4.5. El papel dicotómico del fuego en la gestión forestal (Beaufait, 1962; citado en Alexander y Thomas, 2006)

El fuego puede:		
Reducir los combustibles disponibles	o	Aumentar la susceptibilidad de incendio
Eliminar a la materia orgánica	o	Contribuir a tener más materia orgánica
Exponer al suelo mineral	o	Facilitar la erosión edáfica
Matar semillas viables en el mantillo	o	Estimular la germinación
Matar a especies del sotobosque	o	Facilitar el rebrote
Diezmar a las poblaciones de insectos	o	Facilitar el desarrollo de insectos
Eliminar patógenos	o	Facilitar la instalación de hongos edáficos
Incrementar la disponibilidad de nutrientes	o	Reducir la capacidad de retención de agua del suelo
Abrir las piñas serotinas	o	Destruir a otras fuentes de semillas
Tener latizales densos en exceso	o	Promover el desarrollo del rodal

Fotografía 4.2. Si bien las prescripciones normalmente buscan un comportamiento del fuego no muy severo, hay algunos casos —usualmente relacionados con el cambio de uso del suelo— en los que se busca que el fuego sea lo más "dañino" posible.

La imagen muestra una quema de despeje del bosque tropical para usar la parcela en la agricultura tradicional. Debido a la elevada humedad, la prescripción popular en estos lugares se basa en buscar las mejores condiciones posibles para la progresión del fuego: segunda mitad de las estaciones secas, días después del último chubasco, durante las horas centrales del día y con temperaturas por encima de los 30 ºC.

Temelón (Provincia Wele-Nzas, Guinea Ecuatorial).

ralización violenta de la materia orgánica, lo que suele acarrear posteriormente una explosión vegetativa efímera. Se produce una cierta pérdida de fertilidad total por emisiones de gases y por los arrastres y lixiviaciones de las cenizas, y el lecho edáfico se vuelve adecuado para la germinación de plantas colonizadoras durante algún tiempo.

- En la aplicación de las quemas, como en la de cualquier otro tratamiento selvícola, debe tenerse en cuenta la dimensión temporal. La aplicación de fuego tiene que hacerse en el momento del monte más conveniente para generar sinergias entre la intervención y la dinámica del rodal, y así poder alcanzar los hitos de gestión con mayor facilidad.

- Las quemas poseen un elevado efecto preventivo de los incendios a corto plazo porque consumen principalmente material fino. Además, rompen la continuidad horizontal en los estratos que arden y la vertical en los casos de quemas bajo arbolado al eliminar el sotobosque y elevar la altura de las copas por la necrosis de las ramas bajas.

- La combinación de las quemas con otra táctica de manejo de la vegetación —como cortas, podas, desbroces, pastoreo, etc.— es muy efectiva para conducir la evolución del rodal, más que con el uso del fuego solo (Rigolot *et al.,* 2009).

4.2.2. OBJETIVOS

Para conformar una prescripción, se necesita establecer claramente cuáles son los objetivos del tratamiento selvícola y qué límites no hay que sobrepasar (Vega *et al.*, 2001).

A partir de las metas de la planificación general, es necesario determinar los objetivos específicos de la quema, que han de tener una orientación en este nivel dirigida hacia las modificaciones estructurales y florísticas. En general, se debe observar que, debido a que los efectos del fuego son variados, las metas mencionadas también lo pueden ser y que, además, pueden surgir conflictos entre objetivos. Por ejemplo, alcanzar una determinada intensidad de fuego podría facilitar la eliminación de combustibles de un grosor concreto, pero también comprometer la germinación de una especie deseada. Por eso, habrá que tratar de llegar a un ajuste de compromiso si es posible, renunciar a un objetivo o plantear otro tratamiento de naturaleza distinta.

El desarrollo de prescripciones de quema tiene mayor o menor dificultad en función de la suma de la especificidad de los objetivos de quema que se pretende lograr y de la naturaleza del ecosistema. De ese modo, es más fácil trabajar en montes desarbolados que en bosques, y más complejo desarrollar una prescripción para estimular la germinación de las semillas de una especie que para eliminar a parte de la carga de combustible. El marco espacial al que la acción de gestión se encuentra referida es orientativo de la complejidad de los objetivos perseguidos. Las intervenciones para gestión de pastaderos o lucha contra incendios suelen ser toscas a escala de paisaje. Las quemas para mantenimiento o mejora de un ecosistema o hábitat, por su parte, suelen necesitar un ajuste más delicado, pero todo depende del contexto.

Los objetivos deben de ser formulados con claridad y estar apoyados sobre valores cuantitativos siempre que sea posible (Martin y Dell, 1978). Tienen que ser realistas y adaptables expresando de forma inteligible y concisa lo que se pretende obtener con la quema (Vega *et al.*, 2001). Es decir, hay que considerar los siguientes puntos:

- Que los objetivos sean realistas.
- Que tales objetivos puedan ser evaluados transcurrido un período de tiempo razonable después de la quema.
- Que, al menos, contengan un factor cuantitativo con el que evaluar el nivel de cumplimiento.

Un ejemplo de objetivo específico para un clareo puede ser lograr la mortalidad en un 30 % de los pies de un latizal bajo, por lo bajo y con una distribución espacial lo más regular posible.

4.2.3. LIMITACIONES

Vega *et al.* (2001) señalan que es importante conceptualmente separar los objetivos de las limitaciones. Las limitaciones son constricciones en el manejo del fuego y objetivos en última instancia.

Las principales limitaciones afectan a cinco aspectos del uso del fuego:

a) La primera limitación es conseguir la propagación del fuego. El problema de sostener a la combustión suele deberse a una desafortunada elección de las condiciones meteorológicas y humedad de los combustibles o a la escasez o discontinuidad de estos.

b) El control del fuego es un imperativo esencial que se debe asegurar con los medios precisos y eligiendo una época de quema en la que el riesgo de fuegos virulentos no sea elevado. Poner el énfasis en el control a veces desvía la atención, que debería estar puesta en lograr los objetivos selvícolas de gestión. La diferencia entre una quema controlada y una prescrita es que, en esta, el fuego se comporta de una determinada forma generando efectos señalados y deseados, y no simplemente arde con seguridad. Tener claros los objetivos ayuda a no centrarse únicamente en la necesidad de control del fuego.

c) Las quemas permiten solo realizar determinados tratamientos a los montes; es decir, algunos objetivos no se pueden lograr con el manejo de este agente renovador. El fuego es un útil limitado en comparación con todo el resto de manejos selvícolas posibles. Por ejemplo, las claras altas o selectivas no se pueden ejecutar en los bosques mediante quemas.

d) Los posibles efectos negativos de la quema son otra restricción. Esta puede obedecer a varios factores, pero solo a uno en ocasiones, como el ciclo anual de un taxón animal de especial consideración, el impacto visual de los quemados en determinadas épocas, etc. Se debe procurar minimizar los efectos negativos del tratamiento en lo posible o buscar otra opción de manejo si se estiman inasumibles.

e) Las limitaciones sociales y legales son restricciones importantes en muchas ocasiones.

4.2.4. DESARROLLO DE UNA NUEVA PRESCRIPCIÓN

El proceso de conformación de una prescripción nueva se basa en el análisis de todos los factores que influyen en el manejo del fuego y del ecosistema: los objetivos generales, los objetivos específicos y los condicionantes de todo tipo.

Para crear una prescripción, se necesita poseer una combinación de conocimientos, empirismo e información. De forma simple y resumida, el esquema de Fisher (1985; en Vega *et al.*, 2001), presentado en la **figura 4.3.**, condensa la información necesaria, los flujos de trabajo y decisiones que deben tomarse a la hora de crear una prescripción y utilizarla en la gestión.

Como se observa en el diagrama de la **figura 4.3.**, parte de la información de inicio es la de la experiencia, siendo la práctica un factor clave para el desarrollo de nuevas prescripciones. La capacidad actual de los simuladores de incendios hace de ellos una herramienta importante, porque permiten efectuar múltiples proyecciones y obtener datos útiles, como hacer un primer acercamiento a combustibles o estaciones desconocidas, que ayudan a acotar tentativamente los parámetros de la prescripción. Los programas tienen distintas características y limitaciones, y los que están ligados a sistemas de información geográfica —o, más recientemente, los llamados modelos físicos completos que trabajan en 3 dimensiones (Dupuy y Alexandrian, 2010)— han sido todo un avance. La razón de ello es que permiten considerar heterogeneidades complejas en algunas variables, por lo que proporcionan proyecciones más realistas.

Ahora bien, no hay que olvidar que los modelos de comportamiento del fuego y desarrollo de los incendios son meras simplificaciones de la realidad aun en el caso de los más completos y complejos. Trabajan sobre hipótesis y aproximaciones (Leblic y Núñez, 2005; Stratton, 2006), por lo que siempre hay desajustes que deben corregirse mediante la práctica en el monte.

En las quemas de experimentación, se debe hacer un buen control y seguimiento de las condiciones ambientales, así como del comportamiento y efectos del fuego —tanto de los directos como de la respuesta del legado biológico— para ajustar la propuesta experimental de prescripción a la realidad. Cuando se comienza a trabajar en gestión con una nueva prescripción, también se recomienda hacer una labor de retroalimentación mediante la recogida de datos con los que afinar la fórmula de manejo en cada monte concreto.

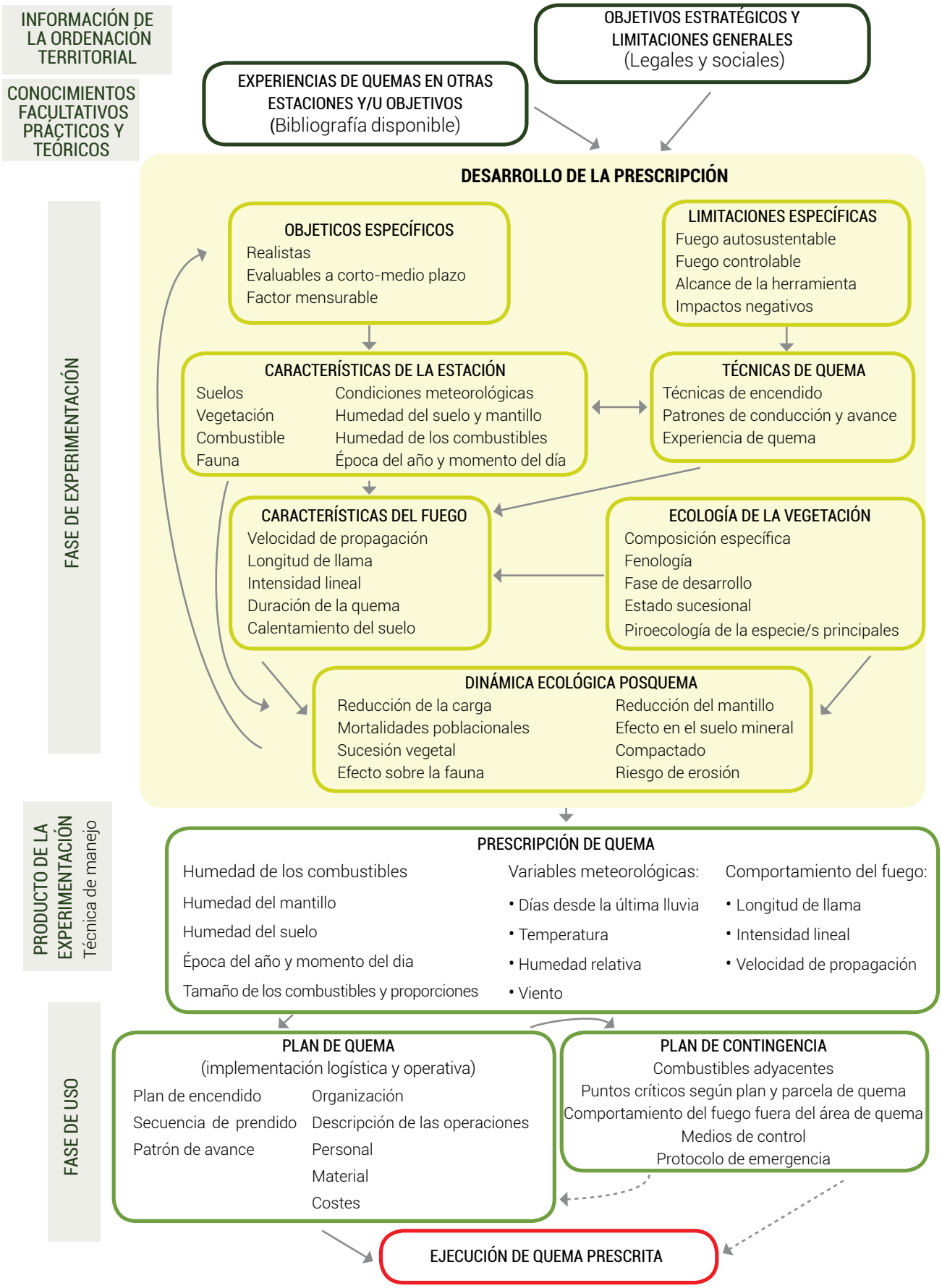


Figura 4.3. Flujo de trabajo para crear una prescripción y su ejecución. Fuente: modificado de Fisher (1985; en Vega *et al.*, 2001).

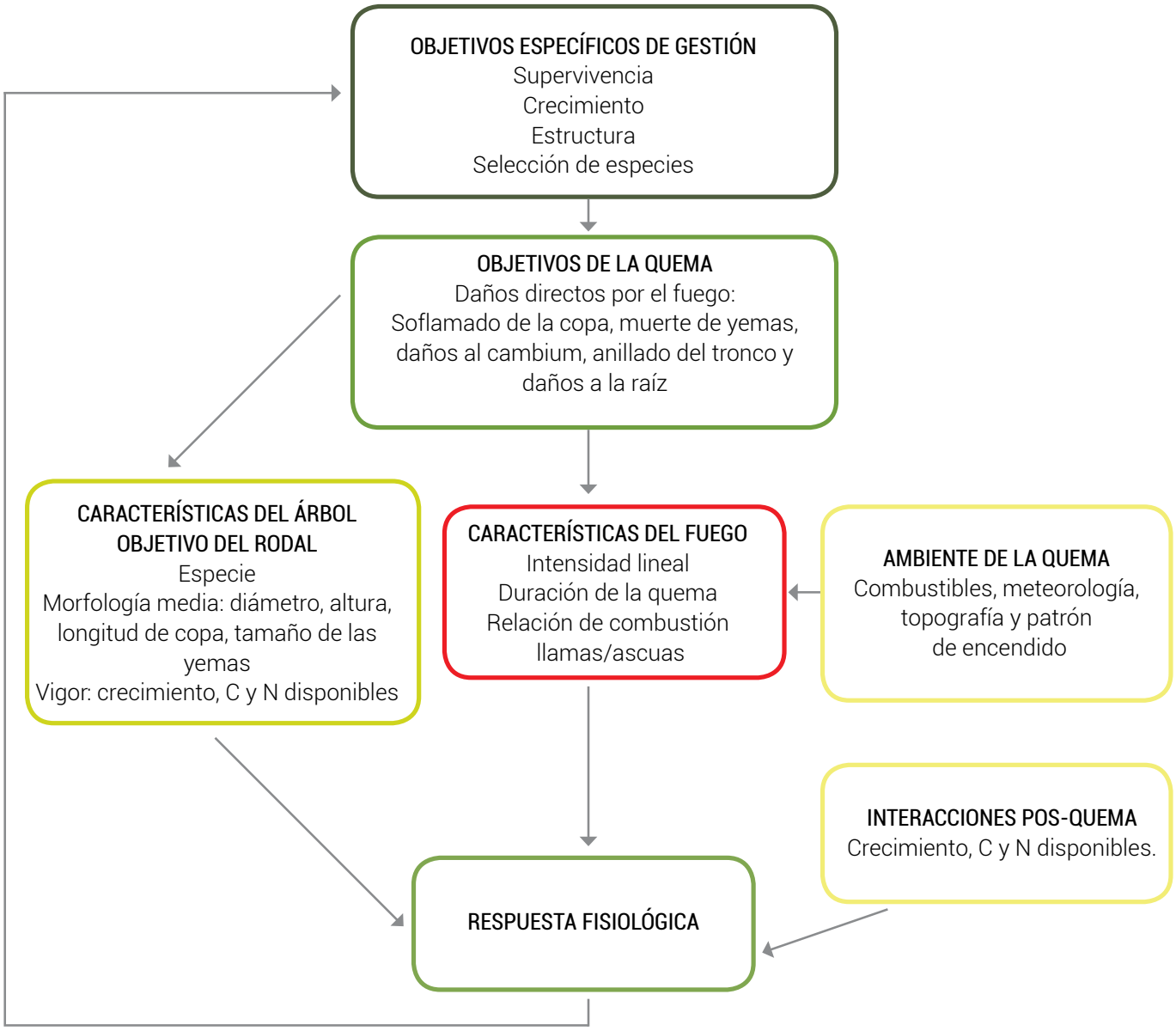


Figura 4.4. Aspectos que considerar en la conformación de una prescripción de quema en arbolado. Fuente: modificado de Ryan (2000).

Supongamos que se va á pegar fuego á unos brezales. Quando sople el viento del Norte, se hará á la parte del Mediodia una zanja poco honda, ó un foso de dos ó tres toesas de ancho, con un pie de profundidad, echando la tierra de forma que haga lomo por la parte del brezal, con lo que se formará una faxa de tierra de tres á quatro toesas de ancho, en que no se descubra Brezo alguno; y este trecho será suficiente para que no pase adelante el fuego. Ahora, pues, en un dia hermoso en que corra el viento que parezca mas favorable, se pegará fuego á los brezos con manojos de paja, yendo tras del fuego varios hombres para volver á encenderle en los parajes en donde no cobre fuerza; y quando vaya arrimándose ya á la zanja, siendo allí donde se debe atajar, se distribuirán los Jornaleros de trecho en trecho para echar prontamente tierra en qualquiera parte donde caygan chispas grandes: y siempre será lo mejor empezar la quema por el lado donde más se recele que pueda propagarse el fuego, para que el ayre empuje la llama, y se lleve las chispas adonde haya menos riesgo. Finalmente es preciso estár con suma vigilancia mientras dura encendido el fuego, porque son terribles los estragos que si por esta ó la otra contingencia se prende en los Bosques, y no se debe omitir diligencia alguna para precaverlos.

Henri L. Duhamel du Monceau. Tratado de las siembras y plantíos de árboles y de su cultivo (1773).

5 PLANES DE QUEMAS Y TRABAJOS DE EJECUCIÓN

La realización de quemas, como cualquier otra actividad de manejo del territorio, necesita unos marcos conceptuales a distintos niveles: filosófico, estratégico y táctico. Es necesario determinar para qué, por qué y con qué enfoque se va a usar el fuego y de qué forma, tanto de modo general como de tratamiento selvícola.

Por otra parte, la ejecución de quemas requiere una dotación de personal y material determinada. Las tareas para realizar los tratamientos son rutinarias dentro de unos límites y tienen una lógica que busca implementar razonablemente las metas buscadas.

5.1. MARCO GENERAL PARA PLANIFICAR EL USO DEL FUEGO

La gestión forestal no solo se enfrenta a retos de carácter ecológico, sino también a problemas sociales y económicos, lo que aumenta exponencialmente la complejidad de su labor. En la medida de lo posible, estas tres vertientes deben estar alineadas en las estrategias de gestión para poder ser exitosas.

La base de cualquier planificación es determinar los objetivos de gestión a partir de una visión veraz, holística y flexible de las dinámicas sociales, económicas y ecológicas del territorio —al menos, a escalas básicas— y llevar a cabo una valoración adecuada de la capacidad de manejo. La planificación debe hacerse considerando un contexto de lugar (Jardel, 2010) y su interacción con otras políticas y planes.

Es necesario considerar qué herramientas de manejo deben emplearse y la conveniencia de usar cada una de ellas en la valoración de los objetivos de gestión, tanto estratégicos como tácticos, para su consecución.

La piedra angular de la gestión forestal es el modo en la vegetación va a renovarse (Sevilla, 2011). Este enfoque dinámico enfatiza en el cambio y evolución de los ecosistemas: las renovaciones definen en buena medida cómo se hacen los cambios generacionales, qué caminos toma la sucesión y cuáles son algunas presiones selectivas a largo plazo, lo que determina que los montes lleguen a ser de un modo u otro.

La selvicultura se caracteriza por utilizar las dinámicas y procesos ecológicos como mecanismos de intervención en el monte. El fuego es una agente natural y una posible herramienta de manejo. La decisión de usar cualquier útil selvícola —el fuego en este caso— debe basarse en el análisis de tres aspectos principales:

- La naturaleza de los montes respecto al fuego.
- El escenario socioeconómico.
- El planteamiento filosófico de la gestión.

No debemos olvidar que, en muchas de sus facetas, el uso del fuego como herramienta está en la frontera del conocimiento ecológico (Jardel, 2010), y que debe ser tolerada cierta incertidumbre en la gestión dada la complejidad de los sistemas forestales.

5.1.1. NATURALEZA DE LOS MONTES RESPECTO AL FUEGO

Los montes son complejos heterogéneos compuestos por la suma de los organismos que los conforman, las características de la estación que habitan y las propiedades emergentes que el conjunto genera.

La inclinación de los ecosistemas al fuego se debe en buena medida a la suma ponderada de los atributos de las especies que los componen, que Rowe (1983) tipificó de forma sintética y práctica (véase capítulo 8). Paralelamente, Myers (2006) hace una clasificación conceptual de los montes como conjunto en función de su dependencia al fuego. Dicha clasificación es sintética y orientativa, y está pensada para escalas groseras. Por eso, se recomienda no caer en la tentación de tomar decisiones de manejo en detalle sin realizar un estudio particular de cada monte (Jardel, 2010), aunque la clasificación se ha usado directamente para orientar la gestión en algunas regiones del mundo (véase Morgan y Leonard, 2015).

Determinar la significación del fuego en la dinámica y procesos de un monte es una tarea que necesita el estudio de la autoecología de las especies implicadas en cada rodal. La relación entre los atributos vitales de las especies y las presiones selectivas no es directa, sino de propensión, y la respuesta de los organismos suele ser similar a la acción de diversas presiones o agentes. Por otra parte, los cambios en la vegetación dependen también de las características del régimen de fuego. Realmente existe una enorme variabilidad de relaciones fuego-vegetación (y de otros agentes y factores). La utilización práctica del fuego, como la de cualquier otra herramienta selvícola, requiere su adaptación a cada rodal de gestión en concreto.

Tabla 5.1. Niveles de dependencia de los montes al fuego (según Myers, 2006)

Categoría de monte	Descripción	Ejemplos españoles
Dependientes del fuego	Ecosistemas cuyas especies dominantes o principales tienen adaptaciones al fuego y responden positivamente a su efecto dentro de un rango. Usualmente, es vegetación piroprona con tendencia a arder y transmitir la combustión. La falta de incendios produce un cambio en los ecosistemas hacia formaciones más tolerantes a la concurrencia y menos pirófitas. Cada tipo de monte está adaptado a un régimen de incendios determinado dentro de una amplia variabilidad. Si el patrón de perturbación difiere del anterior más allá de determinados límites, el ecosistema también tenderá a cambiar.	Matorrales mediterráneos y atlánticos, herbazales diversos, pinares canarios y mediterráneos, arbustedos de quercíneas mediterráneas, etc.
Influidos por el fuego	Es una amplísima categoría de transición o intermedia entre los montes dependientes y los sensibles al fuego en función del grado de presencia de vegetación de una u otra tendencia. Estos montes pueden ser desde medios heterogéneos y biológicamente diversos hasta ecosistemas en franca degradación o transformación. Es la categoría típica de una vegetación que está bajo un régimen en transición o muy variable.	Casi todos los demás montes en la actualidad no incluidos en la primera categoría por la preeminencia del fuego en los niveles evolutivo e histórico. Muchos pinares de impronta eurosiberiana, robledales y otros montes están, o han estado hasta hace pocas décadas, influenciados por el fuego de forma regular.
Sensibles al fuego	Son montes que están expuestos al suceso de combustiones de forma ocasional o inclusive periódica con tiempos de retorno dilatados, pero que no tienen adaptaciones a su efecto, de modo que el evento no les beneficia. En ausencia de renovaciones, pueden parecer independientes al fuego. Su evolución y sucesión normalmente dependen del grado de la inestabilidad que reciban, lo que decanta los cambios en una dirección u otra o que llegue a mantenerse.	Ecosistemas influidos por el fuego que estén más apartados y los incendios les hayan sido manifiestamente más extraños en el último medio siglo, como hayedos, abetales u otros bosques poco perturbados por la combustión durante las últimas décadas.
Independientes del fuego	Biocenosis que se desarrollan en ambientes donde el fuego no aparece nunca o casi nunca, y progresa con gran dificultad de hacerlo. Suelen ser zonas libres de fuego por limitaciones climáticas o vegetales, como ocurre en ecosistemas desérticos por frío, sequía u otro motivo; por ejemplo, bosques nublados tropicales con exceso de humedad constante. La aparición del fuego aquí es una amenaza para el mantenimiento de estos ecosistemas, ya que las especies no presentan adaptaciones al agente.	Hay escasos ejemplos y de pequeña entidad espacial en la naturaleza de la península ibérica, y algunos golpes de vegetación ripícola u otros ecosistemas de pequeña entidad quizá puedan encuadrarse en esta categoría.

Fotografías 5.1. (arriba), **5.2** (en medio) y **5.3** (abajo). Los bosques tropicales nublados son el ejemplo más conocido de ecosistemas independientes del fuego. No obstante, en ellos los incendios pueden aparecer de forma natural marginalmente o por acción humana.

Los bosques nublados abundan en las laderas orientales de los Andes centrales, donde la orografía se precipita abruptamente hasta 4.000 m desde las cumbres y el altiplano hasta los llanos amazónicos. Las precipitaciones verticales y horizontales son copiosas aquí, y la vegetación presenta adaptaciones para medrar en ambientes hiperhúmedos.

Las dinámicas atmosféricas están influidas por tan impresionante relieve, lo que excepcionalmente provoca alguna pequeña ignición por rayo. La imagen central muestra un conato en una dorsal que se autoextinguió. Se observa que el fuego debió de ser poco intenso, pero la falta de adaptaciones a la combustión de la vegetación hizo que la severidad resultante fuera alta.

Junto con los procesos geomorfológicos, el ser humano puede ser el gran desestabilizador en estos montes. Los hombres pueden prender desde el fondo de los valles y elegir el momento ambiental adecuado para ello. En la imagen inferior, algo más abajo de la zona típica del cinturón de nubes, se muestra el resultado de una quema que ha eliminado a toda la vegetación anterior y ha llevado a los helechos a la dominancia temporalmente.

Camino del Choro, Parque Nacional Cotapata (Departamento de La Paz, Bolivia).

5.1.2. EL ESCENARIO SOCIOECONÓMICO

Las visiones de la gestión del territorio son diversas. Normalmente, hay diferencias entre los intereses de la población que habita en el lugar, las opiniones de la población urbana —con un peso político preponderante en muchos casos—, el posicionamiento de los expertos en cada materia, los compromisos legales internacionales, etc.

La gestión del medio natural es controvertida en no pocas ocasiones debido a que pretende unos resultados multifuncionales, y la jerarquización de los objetivos puede no satisfacer a todos los enfoques. No se debe olvidar que, respecto a los montes, usualmente se busca un equilibrio entre el bien común derivado del mantenimiento de los ecosistemas silvestres con los legítimos derechos de los propietarios a tener autonomía en el manejo y a tratar de obtener una rentabilidad de los mismos de la forma o tipo que sea.

A lo anterior se suma que el empleo del fuego como herramienta es también discutido. Los extremos —quienes solo ven peligro y destrucción y los que lo usan de forma despreocupada— se encuentran en el debate.

La gestión del territorio y el uso del fuego se hacen en un determinado contexto socioeconómico, y son llevados a cabo por organizaciones humanas, lo que condiciona de forma importante cómo dicha gestión puede ser en cada caso (Jardel, 2010). Las características de los montes nos pueden indicar si el fuego es una posible herramienta de manejo para lograr determinados hitos de gestión, pero las inclinaciones y objetivos de los actores sociales determinarán en última instancia si debe usarse o no (Pyne *et al*., 1996).

En general, modificar las costumbres de uso del fuego en una sociedad es posible, pero debe realizarse de modo gradual, justificado y aplicado mediante herramientas concretas de intervención social.

Fotografías 5.4. (izq.) y **5.5.** (der.). El contexto socioeconómico y la orientación filosófica de la gestión condicionan de forma importante el manejo de los montes y, por ende, el encaje de los tratamientos con fuego en los ecosistemas en los que este agente tiene importancia.

Los dos extremos de los planteamientos de gestión pueden ser los manejos productivos intensivos y las reservas naturales.

Por ejemplo, los cultivos madereros pueden ser positivos o negativos en la evolución del uso del suelo según las características del ecosistema al que sustituyan y el enfoque del análisis. Los cultivos madereros del norte de España se plantaron sobre montes rasos y cultivos marginales de un sistema agrario tradicional quebrado y en un contexto de un territorio con una historia humana dilatada y azarosa. En cambio, se ha hecho sobre bosques naturales en otros lugares y bajo el empuje de situaciones socioeconómicas complejas en algunas ocasiones perdiéndose patrimonio biológico y la oportunidad de desarrollar una selvicultura particular en el bosque original.

Izquierda: Plantación de *Araucaria angustifolia*. El pino Paraná es oriundo de la zona, pero se maneja habitualmente de forma intensiva en plantaciones junto a otros pinos y eucaliptos. La intensificación ha impactado negativamente sobre el conjunto de la Selva Misionera. María Magdalena (Provincia de Misiones, Argentina).

Los parques nacionales son el paradigma mundial de reservas naturales, aunque su manejo es en muchos casos intensivo y orientado a la explotación turística. El término parque no esconde la visión urbana posmoderna del monte en su significado. La R.A.E. lo define así en su primera acepción: *terreno destinado en el interior de una población a prados, jardines y arbolado para recreo y ornato.*

Derecha: Pinares en las laderas del Gran Cañón del Colorado. En este Parque Nacional, como en otros muchos, se hace una gestión de los montes con poca intervención humana; sin embargo, la explotación turística es intensa. Esta gestión no es inocua y puede ser evaluada como negativa desde cierto punto de vista de gestión ambiental global si se considera la contaminación y emisiones de CO_2 producidas en los viajes turísticos para visitar el lugar desde muchos rincones del globo. Parque Nacional del Gran Cañón (Estado de Arizona, Estados Unidos).

5.1.3. PLANTEAMIENTO FILOSÓFICO DE LA GESTIÓN

La gestión del medio natural puede llevarse a cabo desde distintos enfoques, y eso condiciona los objetivos que se pretende alcanzar y los medios usados para ello.

Hay todo un abanico de intensidades de intervención y orientaciones de manejo entre la gestión de una reserva estricta hasta la de un cultivo para la producción maderera. Ninguna es rigurosamente mejor que las otras y todo depende de las metas buscadas en cada caso.

El fuego tiene unas determinadas cualidades que pueden decidir su uso, o no, en la gestión. Tradicionalmente, se ha usado como herramienta de despeje para el mantenimiento de pastaderos y, en menor medida, también en el desbroce de rodales destinados a plantación. Estos dos tipos de intervenciones se pueden hacer hoy de forma sencilla con medios mecánicos. Las quemas han tenido un uso marginal para la eliminación de montones de restos selvícolas en los bosques, pero se han abierto nuevas posibilidades para su uso en las últimas décadas; entre ellas, el manejo del régimen de incendios mediante quemas y como un proceso natural al que determinada vegetación está adaptada.

En última instancia, la decisión del gestor, bajo el mandato del propietario y de las políticas públicas a las que esté sujeto, determinará considerar, o no, a las quemas en el manejo.

La jerarquía entre las pautas de ordenación del territorio y el manejo a nivel de rodal se muestran en la **figura 5.1.**

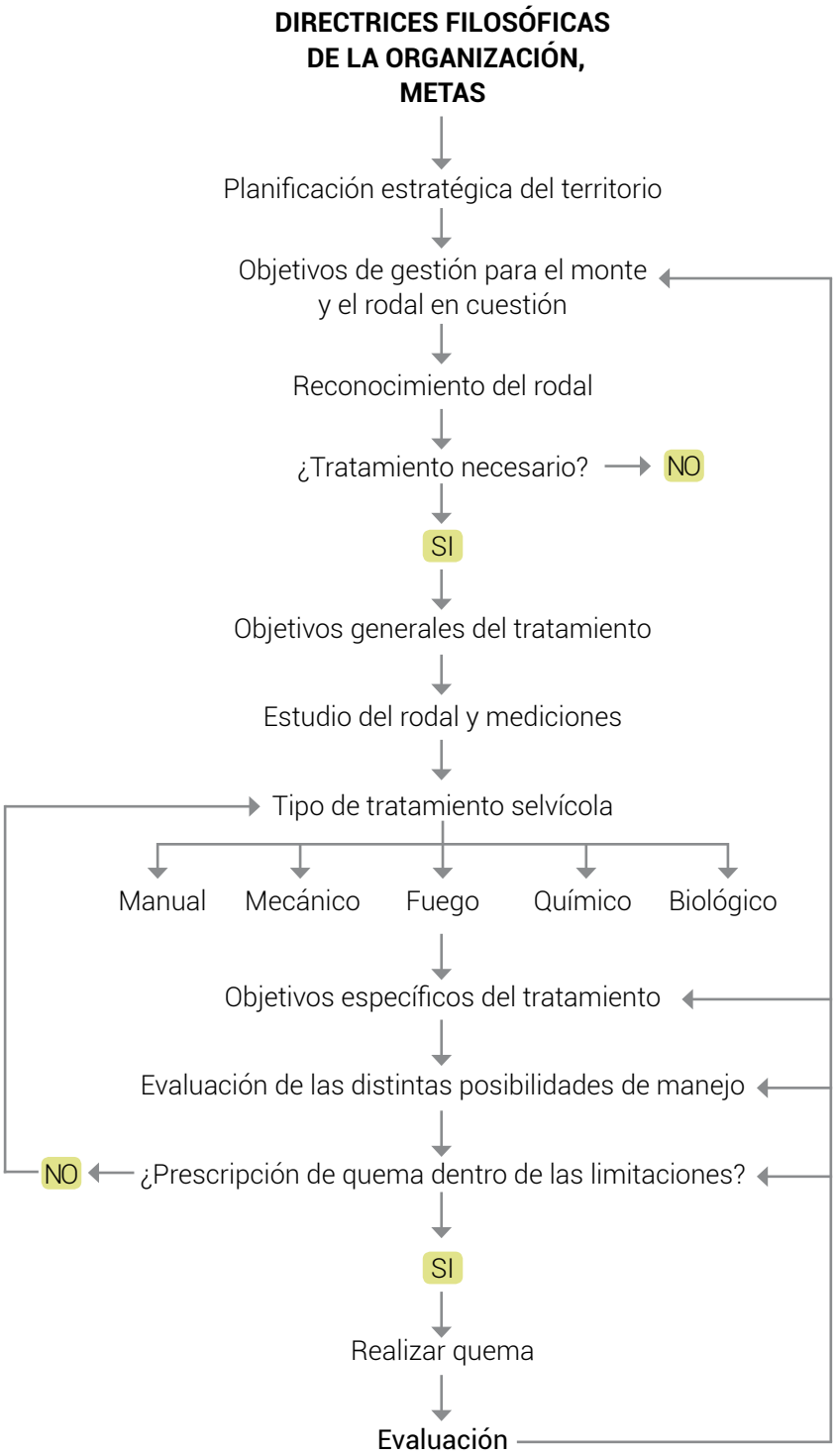


Figura 5.1. Diagrama del proceso para llegar a realizar una quema desde las pautas del ordenación del territorio. (Martín, 1978; en Alexander y Thomas, 2006).

Tabla 5.2. Estrategias de gestión de los montes bajo una perspectiva de manejo integral del fuego (modificado de Myers, 2006)

Hitos		Ideas a desarrollar		
		Ecología	Economía	Sociología
1	Evaluación de los valores, necesidades y problemas del territorio natural/rural.	Paisajes, ecosistemas y especies que mantener o potenciar. Régimen de incendios y renovaciones global actual.	Tipos de actividades de explotación del medio y su repercusión tanto en la dinámica ecológica como en la socioeconómica.	Población, distribución, vinculación cultural y económica con los montes.
2	Identificación de las metas en la gestión de los paisajes vegetales y condición futura deseada.	Metas que cubrir y forma en *reemplazo* de los montes. Determinación del régimen de renovaciones (con incendios) para alcanzar y mantener la situación deseada.	Tipos de actividades que potenciar y cuáles deprimir: utilidad de los cambios en los ecosistemas y en la estructura y comportamiento social.	Metas para el mantenimiento de las poblaciones rurales demográfica y socialmente funcionales asociadas a ese régimen de renovaciones.
3	Desarrollo e implementación de políticas para el manejo y renovación de la vegetación.	Líneas de intervención para conformar la dinámica de los montes y su peso relativo: cortas, quemas, ganadería, etc.	Estudio de costes/beneficios globales de la estrategia. Cuellos de botella tecnológicos y económicos.	Análisis de la perspectiva cultural respecto del régimen de renovaciones objetivo.
4	Diseño de estrategias de prevención de incendios adecuadas a la situación ecológica y social para alcanzar la situación objetivo.	Prescripciones selvícolas, de quemas, cinegéticas, agrícolas y ganaderas para el manejo de la vegetación. Planificación de la gestión.	Programación y medios para armar el régimen de renovaciones. Análisis global de rentabilidad. Metas en infraestructura y medios.	Adecuación de la perspectiva cultural para hacer funcionar el régimen de renovaciones diseñado. Intervención social y formativa.
5	Regulación del uso del fuego para alcanzar la situación vegetal objetivo.	Conocimiento de la ecología del fuego y de las técnicas de quema.	Costes/beneficios del uso del fuego.	Situación cultural de aceptación o rechazo a la herramienta. Modos de uso popular.
6	El fortalecimiento de las capacidades de extinción en todos los niveles.	Conocimiento del comportamiento del fuego y de las tácticas de extinción.	Disponibilidad material y personal. Labores de capacitación. Costes/beneficios de la extinción.	Adecuación del modelo al beneficio social rural y al bien común.
7	Implementación de acciones de recuperación, restauración y mantenimiento de los ecosistemas respecto de la situación objetivo.	Mecanismos y técnicas ecológicas preferibles.	Costes/beneficios de las técnicas empleadas.	Nivel de compresión y adecuación social de las medidas.
8	Investigación y retroalimentación adaptativa del modelo de gestión.	Manejo de los ecosistemas y especies.	Rendimientos globales del modelo, retorno social y fiscal.	Estructura demográfica, servicios, calidad de vida y nivel de cumplimiento de las expectativas subjetivas. Importancia de los montes en la visión.

5.1.4. PROGRAMAS Y PLANES DE QUEMAS

La ordenación del uso fuego dentro de una óptica de gestión del régimen de renovaciones global debe tener dos niveles: uno programático o estratégico —junto con las demás formas posibles de renovación de la vegetación— y otro operacional o táctico; es decir, cómo se ejecutan esos tratamientos.

Como cualquier otro trabajo facultativo, las quemas deben estar apoyadas por documentos técnicos en los que se analice la problemática, se evalúen alternativas y se planifiquen las acciones necesarias con las que lograr unos hitos selvícolas determinados.

Debido a la peligrosidad y complejidad de la herramienta fuego, en el nivel estratégico tiene que decidirse si su uso es conveniente en un territorio dado, qué peso ha de tener frente a otras formas de renovación y cómo y de qué manera se empleará dentro de un marco realista de las dinámicas ecológicas y sociales.

En el nivel operacional, es necesario que la idea de intervención se plasme en proyectos sencillos donde se especifique qué se quiere hacer, por qué, dónde, cómo y quién autoriza el tratamiento y cómo ha de ser evaluado (Pyne *et al*., 1996).

5.1.4.1. Programas de quemas

Los programas de quemas son planes de acción en los que se determina el uso de la herramienta fuego y se reflejan en documentos generales o estratégicos incluidos dentro de los instrumentos de ordenación del territorio (Martin y Dell, 1978). Lo idóneo es que tales documentos formen parte de los "planes de ordenación de los recursos naturales o forestales" de escala comarcal y que, desde el punto de vista estratégico, en ellos se plasme cómo van a gestionarse los montes de una zona.

Los programas de quemas son trabajos técnicos en los que se estudia una problemática relacionada con la vegetación y decide utilizar el fuego como herramienta, de forma exclusiva o junto con otras opciones selvícolas, con el objeto de lograr unos objetivos determinados. Posteriormente, se realiza una programación temporal y espacial indicando cuándo y dónde el fuego se empleará para lograr las metas perseguidas; al menos, de forma somera.

Tales programas pueden poseer ámbito comarcal, municipal o de monte, y un horizonte temporal a 5-10 años vista. La ordenación espacial de las quemas suele tener una sistemática rotacional entre los predios que se crea conveniente tratar de este modo en función de la evolución de la vegetación, aunque esto depende finalmente de los objetivos de manejo en cada caso.

Estos planes son raros en España, y suelen estar desfasados de haberlos. Es posible, no obstante, encontrar algunos casos de ordenaciones pascícolas o de control de carga de combustible —con un fin más académico que de gestión realmente— en los que el fuego se haya elegido para intervenir en algunos rodales. Es interesante la realización y seguimiento de estos planes en aquellas comarcas en que se decide trabajar con fuego.

Existen distintas propuestas de índices-guía del mencionado documento (por ejemplo, véase Jardel, 2010), y aquí se muestra el siguiente para su redacción (modificado de Rubio, 2008):

1. Antecedentes, justificación y objetivos del plan

1.1. Análisis de la problemática. Objetivos generales.

1.2. Justificación del programa.

2. Estudio legal y social

Referencias a la normativa que pueden influir en el uso del fuego como herramienta. Sucinta descripción del marco social y de opinión de la población del medio respecto a las quemas y otras formas de renovación. Análisis de las limitaciones y problemas que pueden derivar del marco socio-legal, y evaluación de la adecuación del uso del fuego en el área. Generación de ideas para la intervención social en caso de que se considere posible seguir adelante.

3. Estudio del medio

Análisis de las formaciones vegetales que tratar; sobre todo, su dinámica ecológica frente al fuego y otros tipos de renovación. Myers (2006) señala la necesidad de observar a las especies fundamentales que controlan el ambiente de fuego, como: aquellas que regulan la acumulación de combustible o constituyen el estrato típico de conducción de la combustión; las especies dominantes que caracterizan al ecosistema; las especies que requieren una atención especial, y otros factores limitantes para el uso del fuego (erosión, fauna, etc.) en el territorio con una perspectiva a medio y largo plazo, y escalas amplias. El objetivo de este estudio es valorar si las trans-

formaciones perseguidas en el monte son factibles con un determinado régimen de fuego o se pueden lograr de forma plausible con otro tipo de renovaciones. También es necesario describir brevemente los incendios típicos habidos en esa región (extensión, época, intensidad, etc.) para hacer una aproximación al régimen de incendios actual de la zona y de los otros agentes de renovación presentes, así como su probable evolución o posibilidad de potenciación.

4. Estudio económico

Prospección aproximada del coste básico de implementación del plan y comparación con otras alternativas de manejo incluyendo *grosso modo* los costes evitados y de oportunidad que los aspectos socioeconómicos del lugar consideren.

5. Evaluación de otras alternativas de gestión y de los factores limitantes. Justificación del uso del fuego

Breve estudio de las posibilidades de manejo en el marco del régimen global de renovaciones. Hay que transcribir sus conclusiones si este trabajo ya se ha hecho en el nivel de ordenación del territorio en general, así como consultar con otras disciplinas los problemas u oportunidades que pueden generarse si se decide emplear al fuego como herramienta.

Toma de decisiones de gestión respecto al uso de las quemas.

6. Uso del fuego

6.1. Objetivos específicos, cualitativos y cuantitativos.

6.2. Prescripciones de quema.

Colección de prescripciones de quema provenientes de la bibliografía, de la experimentación o de la simple práctica empírica para los casos, estaciones y objetivos más habituales de la comarca.

6.3. Ejecución de las quemas.

Aspectos operativos generales: dotación de personal para llevar a cabo el plan, procedimientos, medios y logística, limitaciones en el manejo del humo, etc. .

6.4. Evaluación a corto, medio y largo plazo.

- Procedimientos para evaluar los objetivos cualitativa y cuantitativamente, incluyendo los posibles impactos negativos.
- Estimación de los resultados que se espera alcanzar.

7. Intervención social

Establecer las actividades para lograr la aceptación o adecuación del plan de quemas en el lugar en caso de que se estimen conflictos con algún colectivo.

8. Programación espacial y temporal

8.1. Estudio y análisis de las zonas o parcelas con necesidad de actuación. Priorización.

8.2. Programación de los tratamientos de quema.

8.3. Actuaciones de carácter social: extensionismo, comunicación, etc.

9. Presupuestos

5.1.4.2. Plan de ejecución de quema

Los planes de ejecución son documentos básicos para la aplicación del fuego prescrito en un rodal determinado. Son la base documental en que la quema se proyecta, pero también recogen la información generada durante la realización y la evaluación.

No existe un paradigma del documento del plan ejecución de quema (Pyne *et al*., 1996), depende mucho de la Administración Pública con que se trabaje y de la situación. El plan debe existir antes del prendido y haber sido redactado por facultativos competentes. Los aspectos básicos de la quema —objetivos, localización, descripción del rodal, prescripción, método de evaluación, etc.— tienen que reflejarse en él.

La esencia de un plan de quema ha de ser la evaluación del rodal, la determinación de los objetivos y la prescripción que aplicar. Sin embargo, todo lo anterior es solo una parte del documento, pues este puede recoger más información, como manejo previo del combustible, características de las líneas de control, etc. También puede contener datos sobre la organización y el desarrollo esperado de los trabajos de ignición, conducción, vigilancia y remate, así como los medios o respuesta que dar si el fuego se escapa de control y debe ser extinguido. A veces, también conviene que refleje los posibles tratamientos tras la quema, la dinámica ecológica posterior esperada y un modelo básico de costes.

El trabajo de Reque *et al*. (2013), *Diagnóstico selvícola*, es una magnífica guía para el estudio de los rodales. Se trata de un compendio de valoraciones cualitativas que busca responder a las cuestiones básicas del manejo forestal en el nivel de rodal y que pueden ser útiles en la planificación de los tratamientos con fuego (**tabla 5.3.**).

Tabla 5.3. Preguntas básicas en la fase de diagnosis de un rodal (Leibundgut, 1984; Madrigal, 1994; Frehner, 2005; citados en Reque *et al.*, 2013)

1	¿Qué se busca y cuál es su necesidad?
	Como fase previa a la planificación selvícola, es ineludible contar con: a) Una clara definición de los objetivos b) Un correcto pronóstico de evolución natural del rodal c) Un preciso reconocimiento de las medidas ineludibles para la consecución del objetivo
2	¿Cuándo y dónde debe aplicarse el tratamiento con la menor inversión posible?
3	¿Cómo debe aplicarse la selvicultura?

Los planes de ejecución tienen que modelizarse con el fin de abaratar costes y tiempo, y también para facilitar la informatización de los datos (Pyne *et al.*, 1996). Los documentos deben ser completos en lo necesario, pero concisos y sucintos de modo que únicamente contengan información realmente útil para el trabajo (véase Martínez, 2001; o Vélez, 2012). Si bien la peligrosidad de la herramienta justifica un plan relativamente elaborado, hay que evitar esfuerzos burocráticos vanos y gravosos que no mejoran realmente la gestión del territorio.

Se aconseja realizar planes de quema detallados en caso de que la prescripción sea novedosa, el trabajo peligroso y/o el equipo de quema inexperto. Después, una vez adquirida experiencia, la información para la quema puede no ser tan exhaustiva y más sintética llegando a consistir en objetivos de manejo del ecosistema, prescripción, croquis del rodal con los datos más relevantes y tareas de evaluación, lo que repercute en una mayor eficiencia y reducción de tareas de gabinete. Lo idóneo es que el registro del tratamiento se asemeje al de otras intervenciones selvícolas de distinto tipo practicadas en la misma área con lo que tener un archivo histórico de gestión selvícola completo y congruente de esos montes.

Un plan de quema puede contener información muy amplia, por lo que la siguiente se propone como declaración de máximos (modificado de Rubio, 2008):

1. Localización del rodal: localización (provincia, municipio, pueblo, monte y/o paraje), superficie que quemar y propiedad. Se debe acompañar con plano de situación y uno o varios croquis del rodal o parcela con dibujos de los principales trabajos que realizar y otras informaciones expuestas en los puntos siguientes.

2. Objetivos de quema: esta es una información relevante, ya que la actuación persigue variar la realidad, actual o futura, del ecosistema. Se debe explicar brevemente por qué la herramienta fuego va a ser capaz de provocar los cambios deseados y cuál es la dinámica o variación en el monte esperable con la renovación mediante el fuego. En este apartado también hay que describir los objetivos de la intervención de forma cualitativa a largo plazo y los objetivos directos del fuego en sí dentro de un rango cuantitativo (Martin y Dell, 1978).

3. Descripción del rodal:

a) Accesos y líneas del terreno: caminos y sendas de acceso al lugar de trabajo y que pueden servir como línea de control.

b) Topografía: descripción del terreno y colección de datos básicos, como altitud, exposición y pendiente.

c) Vegetación: descripción desde el punto de vista de los combustibles y biológico. Deben separarse especies arbóreas, de matorral y herbáceas, dominantes y dominadas, indicando la fracción cabida cubierta y el intervalo de su altura. Valorar la carga de combustible, hojarasca y mantillo presente antes de la quema. Las especies pueden nombrarse por su nombre vulgar y solo referirse a aquellas que propaguen el fuego o que necesiten protección para limitar su afección.

d) Otros datos de diagnosis: tipo de suelo, signos de erosión, etc.

La información de este punto se puede reflejar gráficamente en los planos, croquis u ortofotografías.

4. Estudio de otros condicionantes para la obtención de permisos, comunicación a los interesados o afectados e información al público: análisis e integración en el plan de otras limitaciones, como las legales, sociales o impuestas por el propietario del predio. Realización de trámites burocráticos con el fin de conseguir la autorización para ejecutar la quema y otros procedimientos asociados. Dar publicidad a la quema de la forma adecuada en el ambiente social en que se desarrolle y así disminuir la posible alarma y/o aumentar el impacto en aquellos sectores que reclamen su realización. También es necesario comunicar el tratamiento al propietario[9] y a los titulares de las parcelas adyacentes si fuera posible.

[9] Resulta recomendable avisar al propietario de la ejecución de los trabajos; sobre todo, en los Montes de Utilidad Pública, ya que a veces los servicios forestales, como gestores y fiscalizadores, se olvidan en muchas ocasiones de esta deferencia esencial con la administración propietaria del monte.

Tabla 5.4. Ejemplo de tabla predictiva de un efecto directo del fuego sobre el arbolado. Predicción de la altura de soflamación de copas (m) en función de la longitud de llama (m) y de la temperatura del aire (ºC) para quemas bajo cubierta de *Pinus pinaster* (Fernandes *et al.*, 2002).

Longitud de llama (m)	Temperatura (ºC)										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0,2	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2
0,3	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,6
0,4	1,5	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,6	3,9	4,2	4,6	4,9
0,5	1,9	2,2	2,6	2,9	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5	5,3
0,6	2,3	2,6	2,9	3,3	3,6	4	4,3	4,7	5	5,3	5,7
0,7	2,6	3	3,3	3,7	4	4,3	4,7	5	5,4	5,7	6,1
0,8	3	3,4	3,7	4	4,4	4,7	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4
0,9	3,4	3,7	4,1	4,4	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,5	6,8
1	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5	6,8	7,2
1,2	4,5	4,9	5,2	5,6	5,9	6,2	6,6	6,9	7,3	7,6	7,9
1,4	5,3	5,6	6	6,3	6,6	7	7,3	7,7	8	8,4	8,7
1,6	6	6,4	6,7	7,1	7,4	7,7	8,1	8,4	8,8	9,1	9,5
1,8	6,8	7,1	7,5	7,8	8,2	8,5	8,8	9,2	9,5	9,9	10,2
2	7,5	7,9	8,2	8,6	8,9	9,3	9,6	9,9	10,3	10,6	11
Corrección de la soflamación de copas por efecto de ventilación del viento: restar al resultado de la altura 0,24 x la velocidad del viento (km/h).											

5. Prescripción de quema: condiciones ambientales y de comportamiento del fuego para poder lograr la transformación buscada en el ecosistema.

Es adecuado tener alguna prescripción de reserva si es posible por si las condiciones estimadas para la quema son raras en el lugar y su ejecución se demora mucho. Algunas adaptaciones de la prescripción principal pueden ser válidas en ocasiones, como sustituir la quema a la contra por puntos o incluso a favor si la humedad del combustible es más alta de lo esperado.

6. Estudio del humo: determinación de las características de los vientos del área de la parcela de quema válidos para usar las prescripciones. Análisis de zonas sensibles y del posible impacto del humo en función de los rumbos de emisión esperados intentando minimizar las molestias a la población.

7. Preparación de la parcela de quema: preparación previa del lugar para poder quemar según la prescripción y el plan de ignición asociado.

a) Construcción de cortafuegos para contener a la quema: localización, longitud, anchura, etc. Es aconsejable plasmar esta información en un plano o croquis.

b) Medios para construir los cortafuegos: tipo de maquinaria, horas de trabajo.

c) Otros trabajos complementarios: roza, compactación o extracción de combustibles, regado previo, etc.

d) Revisión de los puntos de agua próximos, así como el estado y acceso a posibles líneas de control cercanas a la parcela en caso de contingencia.

8. Plan de ignición y conducción: epígrafe en el que los factores determinantes para la propagación del fuego en el lugar se analizan, y las operaciones de encendido y su orden son determinadas a fin de obtener un patrón de avance adecuado. Lo idóneo es que se programen las operaciones de ignición y conducción con hitos que tienen alcanzar los frentes de llamas. Se debe también tratar de estimar el tiempo que se espera que cada encendido este activo para recorrer toda la superficie que tiene asignada quemar, así como para valorar cuanto tiempo se necesita para ejecutar toda la quema.

Las labores posteriores de vigilancia y remate, con las necesidades de personal y medios para ejecutarlas, también se plasman aquí. Ha de apoyarse en un plano

o croquis de la parcela en el que se exponga la siguiente información:

a) Límites de la parcela, líneas de control y situación de tractores o autobombas a la espera.

b) Vías de acceso y escape.

c) Líneas de encendido con su secuencia temporal aproximada.

d) Patrón de avance esperado de los frentes de llamas.

e) Dirección del viento esperada.

f) Operaciones de remate y enfriamiento del perímetro.

Tabla 5.5. Clasificación de velocidades de propagación de un frente de llamas (modificado de Nájera, 2015)

Rango	m/min	km/h
Lento	< 2	< 0,12
Mediano	2 - 10	0,12 - 0,6
Alto	10 - 70	0,6 - 4
Extremo	> 70	> 4

9. Organización del personal y logística: determinación del número de trabajadores que han de ejecutar la quema, sus funciones durante la misma y labores previas, así como las necesidades de herramientas, maquinaria y materiales para toda la operación.

10. Plan de contingencia: es el protocolo básico de actuación en caso de que el fuego de la parcela de quema se escape y se convierta en un incendio, de fuertes variaciones ambientales respecto a la prescripción que dificulten alcanzar las metas de manejo buscadas u otro tipo de problema. Normalmente, es un plan básico de extinción en caso de necesidad.

a) Determinación de los puntos más sensibles por los que el fuego puede escapar de la parcela de tratamiento según el plan de ignición determinado.

b) Consideración del posible comportamiento del fuego fuera de la parcela; al menos, el patrón de avance esperable desde los puntos críticos.

c) Protocolo de actuación: qué hacer con la quema en ejecución, rutas de escape y puntos de reunión para organizar la reacción, protocolo de información al exterior, estimación aproximada de medios que pueden acudir si es necesario, etc.

d) Otras eventualidades: accidentes de tipo diverso, evacuación de heridos, caída de la red de comunicaciones, descoordinación severa en el encendido o en el avance de los frentes de llama, etc.

11. Dificultad de la quema: Larrañaga *et al*. (2007) muestran una metodología con la que evaluar la complejidad de los tratamientos con fuego. Es un aporte interesante para la planificación con vistas a realizar una comparación normalizada de las quemas. El método define una dificultad media generada a partir de los siguientes conceptos:

a) Dificultad asociada al tipo de combustible: discrimina entre los distintos modelos de combustibles por grupos.

b) Dificultad respecto a la estructura que se quiere tratar: definida en función de la complejidad estructural del rodal y de los estratos que deben ser, o no, alcanzados por el fuego o necrosados por calor.

c) Dificultad para la consecución del objetivo principal: se obtiene a partir de la relación entre la profundidad del cambio pretendido en el ecosistema y las limitaciones de la quema, que reducen la facilidad para lograr el objetivo.

d) Dificultad de la ejecución de la quema: se valora sobre la base de la duración prevista de la operación, el patrón de quema elegido y la necesidad de personal y medios para su realización.

12. Estimación de costes: de los trabajos de la quema, tanto previos como posteriores, incluyendo personal, maquinaria y material utilizados.

13. Evaluación de la quema:

a) Consecución de las metas selvícolas del tratamiento a corto plazo.

b) Plan de seguimiento de la parcela: evolución esperada del rodal a medio y largo plazo, observación de la realidad, análisis de desviaciones y estudio de medidas correctoras.

5.2. PERSONAL Y MEDIOS EMPLEADOS PARA LAS QUEMAS

Como todo tipo de labor, los trabajos de quemas requieren una determinada dotación de personal y medios materiales para poder ejecutarse.

El personal que trabaje en quemas debe tener conocimientos sobre el manejo del fuego. Lo idóneo es que los trabajadores posean formación tanto práctica como teórica y que sean veteranos de varias campañas de extinción de incendios. Hay algunas propuestas y tendencia a la gradación y certificación de las capacidades de trabajo con fuego del personal que realiza las tareas de extinción y quema (Miralles *et al*., 2010; Molina *et al*., 2010; Montiel *et al*., 2010).

En este sentido, Martínez (2001) señala que la cuadrilla más adecuada para ejecutar quemas estaría formada por un ingeniero, dos capataces y seis obreros, todos con práctica en el uso del fuego. La dotación material mínima, por su parte, consistiría en un vehículo todo terreno de transporte, una autobomba ligera —que lance espuma para hacer líneas húmedas si es posible— y las herramientas de extinción e ignición usuales.

Por su parte, Rodríguez (2005a) dimensiona el equipo idóneo basándose en la experimentación realizada en Andalucía, y sería una cuadrilla de siete operarios, un capataz, un ingeniero, dos conductores-mecánicos con una motobomba de 3.500 l y otro conductor-mecánico al cargo de un vehículo con equipo para mediciones meteorológicas.

La división del trabajo habitual en los equipos de quemas se recoge en la **tabla 5.6.**

Fotografía 5.6. La conformación de las cuadrillas de quemas puede ser distinta en función de las necesidades del lugar y tipos de trabajos que se ejecuten.

Zapadores cargando material en un vehículo.

Tineo (Asturias).

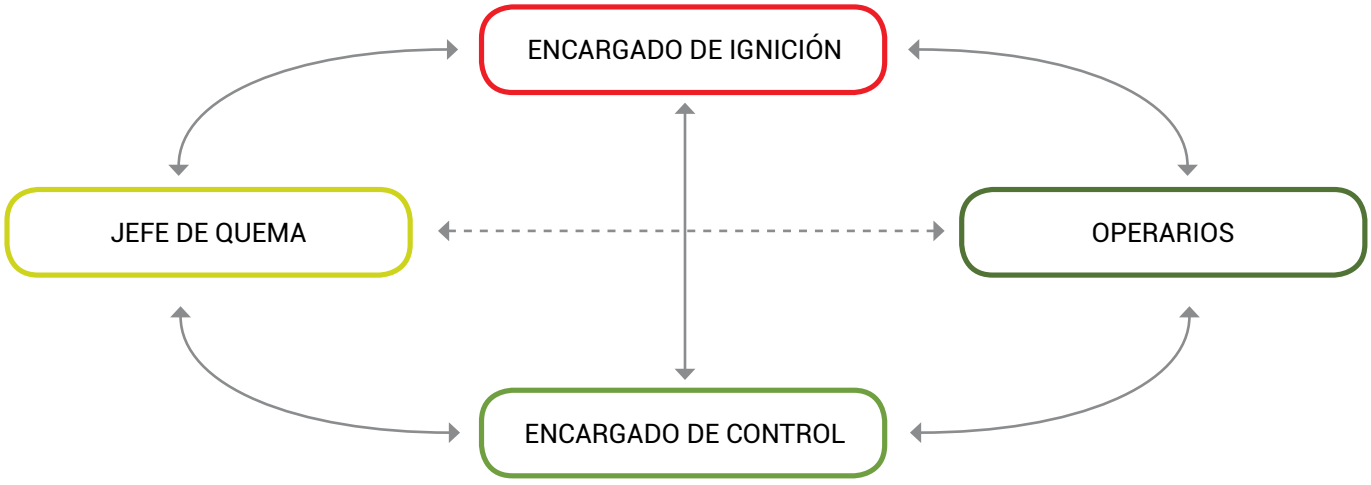


Figura 5.2. La comunicación debe ser fluida entre los distintos integrantes de los equipos de quema. Lo normal son sistemas jerarquizados entre el personal y la cadena de mando, pero a veces otros patrones de comunicación se usan en equipos pequeños para agilizar la toma de decisiones y las acciones.

Tabla 5.6. Roles y responsabilidades básicas en un equipo de quemas (compuesto a partir de Madrigal, 1999; Vega *et al*., 2001; Grillo *et al*. 2009; Nájera, 2015)

Jefe de quema
Supervisión de todo el trabajo. Velar por la seguridad de todo el personal. Asegurarse de que todo el personal conozca su trabajo. Comprobar que la quema esté dentro de la prescripción. Vigilar el comportamiento del fuego y decidir cambios sobre la marcha si hay fuertes variaciones sobre lo esperado, llegando incluso decidir terminar con el tratamiento. Verificar que el comportamiento del fuego y el consumo de la vegetación están dentro de lo planeado. Decidir la solicitud de refuerzos en caso de contingencia. Poder alterar las normas preestablecidas. Hacer que la comunicación entre los encargados de tarea sea clara y ágil, y estar al tanto de todas las comunicaciones.

Encargado de ignición	Encargado de control
Ejecutar las órdenes directas del jefe de quema. Ejercer la dirección sobre el personal y las herramientas de encendido. Organizar y dirigir el prendido de acuerdo con el plan. Realizar la quema de prueba. Supervisar la ejecución del encendido. Cuidar de la seguridad del personal a su cargo. Mantener comunicación con el jefe de quema y demás miembros del equipo.	Ejecutar las órdenes directas del jefe de quema. Su misión principal es que el fuego no salga de la parcela de trabajo. Dirigir el personal y medios de contención y extinción de la quema. Tomar la iniciativa si fuera necesario realizar trabajos de extinción o de contención de un frente de llamas en un borde de la parcela. Determinar, junto al jefe de quema y los otros encargados, si es posible apagar la quema en curso si fuera necesario con los medios de extinción disponibles, si son necesarios más medios o si se toman otras tácticas. Supervisar la seguridad del personal a su cargo. Mantener comunicación con el jefe de quema y demás miembros del dispositivo.
Encargado de vigilancia y remate	**Encargado de evaluación del comportamiento del fuego**
Ejecutar las órdenes directas del jefe de quema. Dirigir los trabajos de remate del fuego y vigilancia del quemado. Supervisar la seguridad del personal y medios a su cargo. Determinar, junto con el jefe de quema, cuando el fuego se declara extinto. Mantener comunicación con el jefe de quema y demás miembros del dispositivo.	Ejecutar las órdenes directas del jefe de quema. Su misión principal es estudiar que las variables ambientales y del comportamiento del fuego están dentro de la prescripción durante la quema. Participar en la quema de prueba y valorar, junto con el jefe de quema y el encargado de ignición, la adecuación de las variables para realizar el trabajo. Observar y registrar todos los hechos del desarrollo de la quema que puedan tener importancia. Evaluar los efectos directos del fuego en el quemado nada más terminar la quema. Supervisar el control y la seguridad del personal. Mantener comunicación con el jefe de quema y demás miembros del dispositivo.

Operarios
Ejecutar los trabajos según las órdenes de sus jefes. Avisar a su jefe directo en caso de lesión o peligro inminente. Mantener comunicación directa con sus compañeros y jefe directo. Los operarios pueden desarrollar distintas funciones en la ejecución de la quema, y deben tener claras sus funciones en cada puesto. Los roles más usuales son: antorchas, vigilantes, puntas de lanza, operarios de motobomba u operarios de herramientas manuales.

Las necesidades de personal de las cuadrillas de quema varían en cada caso en función de las características de la zona de trabajo (accesibilidad, pendientes, líneas de control existentes, etc.) y el tipo de quemas que se suelan ejecutar (tamaño, combustibles, época, etc.). Los equipos de quema son muchas veces pequeños, integrados por solo unas pocas personas, y tanto el jefe de quema como el resto de los integrantes llevan a cabo muchas otras funciones complementariamente a la principal que les ha sido asignada. No obstante, siempre es necesario que haya un responsable supremo y una jerarquía clara en la toma de decisiones. Nájera (2015) indica que en las cuadrillas de trabajo debe haber roles repartidos, o grupos de tarea en trabajos de envergadura, que asuman las siguientes funciones: (1) dirección de la quema, (2) ignición del fuego, (3) control del fuego, (4) evaluación del comportamiento y (5) remate y vigilancia (véase **tabla 5.6.**).

El equipamiento mínimo suele ser un auto todoterreno para el transporte del personal y de las herramientas manuales, aunque lo más adecuado es que dicho vehículo sea, al menos, una autobomba ligera.

Las jornadas de trabajo en la ejecución de quemas son irregulares y flexibles, ya que están regidas por el ritmo de avance del tratamiento, extensión de la parcela, situación meteorológica y necesidades de remate y vigilancia posteriores (Larrañaga *et al*., 2007), aspecto que debe considerarse en la organización de la vida laboral de los equipos.

Las cuadrillas de quemas en España habitualmente forman parte de la Administración Pública ya sea como personal propio o perteneciente a contratas integradas en el servicio forestal de una u otra forma.

Fotografía 5.7. Las autobombas ligeras son una herramienta útil para realizar quemas, aunque no pueden acceder a algunos lugares. Las que utilizan equipos de presión para pulverizar, como la de la imagen, logran obtener bastante rendimiento de volúmenes parcos de agua.
Tineo (Asturias).

Tabla 5.7. Aspectos importantes en el organigrama de personal de una quema (modificado de Nájera, 2015).

1	Un solo jefe.
2	Crear solo la estructura de personal imprescindible para el trabajo.
3	Organización ascendente y jerárquica.
4	Las funciones de dirección y control de los trabajos se deben hacer diligentemente.
5	Se debe poder llegar a controlar y ejecutar todos los aspectos asignados.
6	El jefe puede tener asistentes.
7	Canales claros de comunicación, autoridad y responsabilidad.
8	Las posiciones en la estructura se deben repartir según capacitación, experiencia y habilidades.
9	Trabajar preferentemente con personal experto y/o capacitado.
10	La responsabilidad de cada uno es intransferible, sobre todo la del jefe y los encargados.

5.3. ORGANIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS CON FUEGO: FLUJO DE TRABAJO Y OPERACIONES QUE REALIZAR

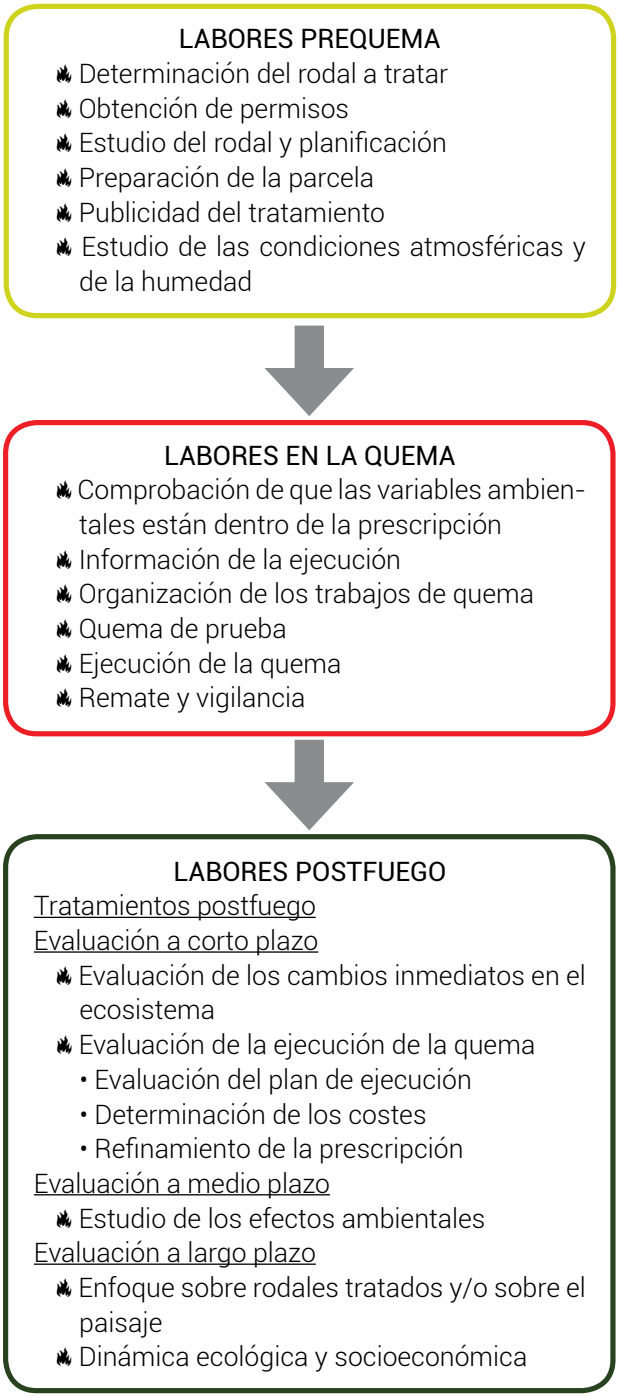


Figura 5.3. Flujo de trabajo básico para realizar tratamientos selvícolas con fuego.

La forma de trabajar de los equipos de quema responde a una lógica organizativa que trata de optimizar el recurso tiempo y cumplir con todas la tareas que es necesario efectuar. El flujo de trabajo operativo con fuego se puede dividir en tres fases esenciales: labores prequema, labores durante la quema y labores posquema.

El trabajo de los equipos de quema depende en gran medida del tiempo atmosférico, que marca las pautas de trabajo. Así, suele haber largos períodos de tareas preparatorias y pocos días de quema, y estos normalmente coinciden con los anticiclones invernales, durante los que hay que aprovechar el tiempo al máximo para poder ejecutar todos los tratamientos posibles[10].

5.3.1. LABORES DE PREPARACIÓN DE LA QUEMA

Es un conjunto heterogéneo de trabajos con los que llevar a cabo la quema. En la **figura 5.4.** se muestra una propuesta de secuencia de realización de las tareas.

a) Determinación del rodal que tratar: lo idóneo es que esta decisión provenga de un plan general o estratégico de quemas que indique anualmente las superficies que deben tratarse con fuego. No obstante, como ya se ha indicado, estas programaciones generales son raras y suelen estar desfasadas si existen, porque su cumplimiento es escaso.

Las parcelas normalmente se determinan mediante la valoración de las propuestas del personal de la Administración Pública o de las solicitudes de personas interesadas, como en el caso de ganaderos que tienen sus ca-

[10] En el libro *Quemas prescritas realizadas por los EPRIF. Método y aplicación* (Vélez, 2012) se muestran bastantes ejemplos de preparación y ejecución de quemas. Su consulta se recomienda para más información.

bañas en los predios públicos de algunas comarcas. En este último caso, según Gómez-Arnau y Picardo (1995), hay que hacer previamente una campaña de información entre los interesados para dar a conocer el servicio que se les puede prestar, establecer unas vías de solicitud sencillas y ágiles y determinar unas condiciones y obligaciones asumibles por los ciudadanos con el fin de que presenten dichas solicitudes y colaboren.

La disposición espacial de las áreas que se tratarán es fundamental cuando se quema buscando evitar la propagación de incendios, ya que la forma y localización de los rodales quemados entorpece de una u otra forma el progreso del fuego en el paisaje y da diferentes oportunidades a los medios de extinción (Graham *et al*., 2009; Fernandes, 2010).

Resulta muy importante analizar la conveniencia de tratar a un determinado rodal con fuego en función de los objetivos buscados, las limitaciones que la parcela pueda presentar, el contraste comparativo con otras áreas candidatas al tratamiento y la capacidad operativa del equipo de quemas, entre otros aspectos, para decidir qué parcela debe quemarse.

b) Obtención de los permisos: debido a la necesidad de coordinar la gestión del territorio, es habitual centralizar las decisiones de manejo, que recaen normalmente sobre los gestores del servicio forestal. Estos suelen sancionar en última instancia la realización, o no, de las quemas tanto en montes públicos como privados debido a la peligrosidad de la herramienta fuego y según la conveniencia de las mismas en el marco de gestión global de los montes. En el caso de las peticiones particulares, es fundamental que los solicitantes sean informados de la suerte de su demanda explicándoles por qué se ha denegado en caso de que así sea.

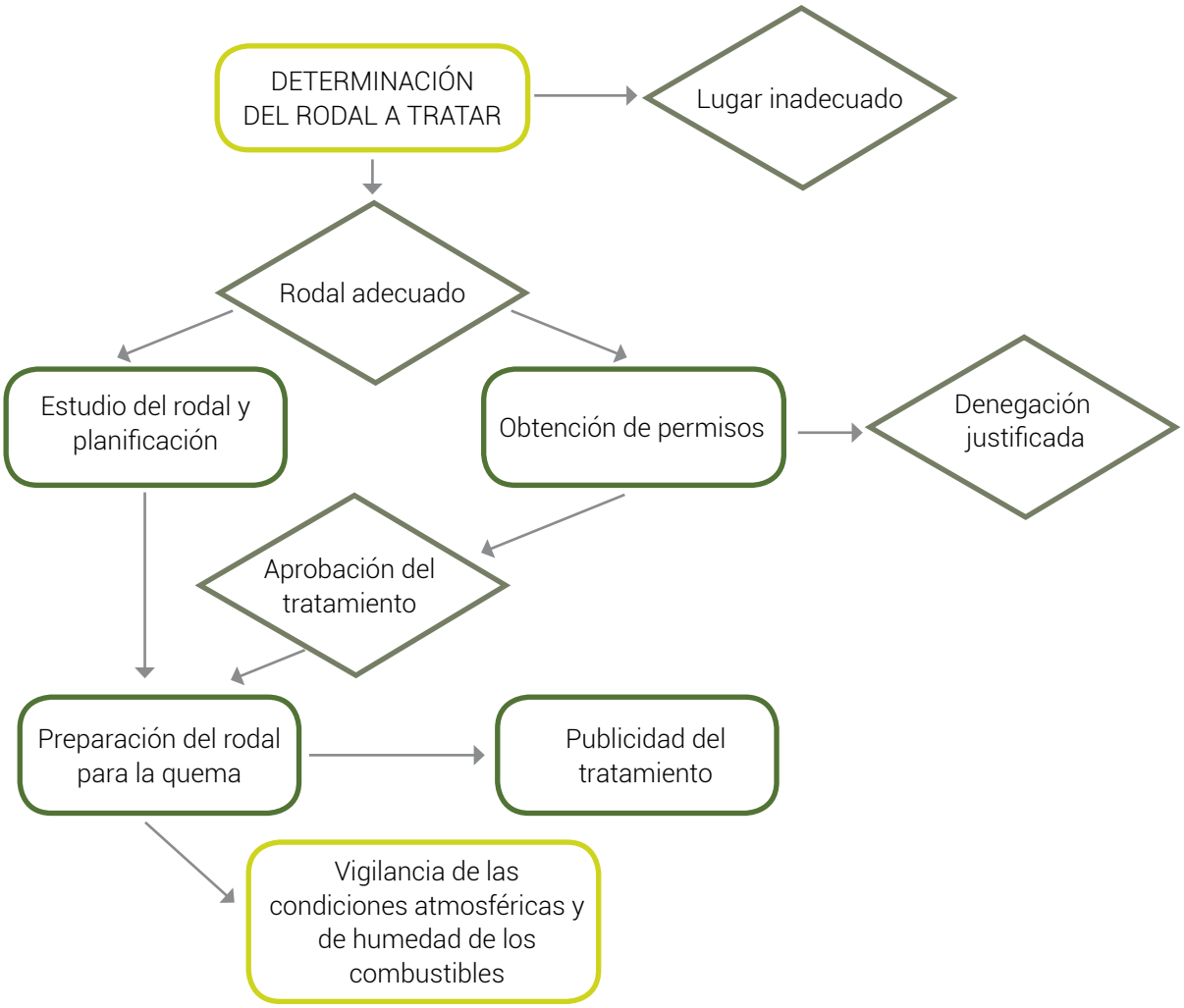
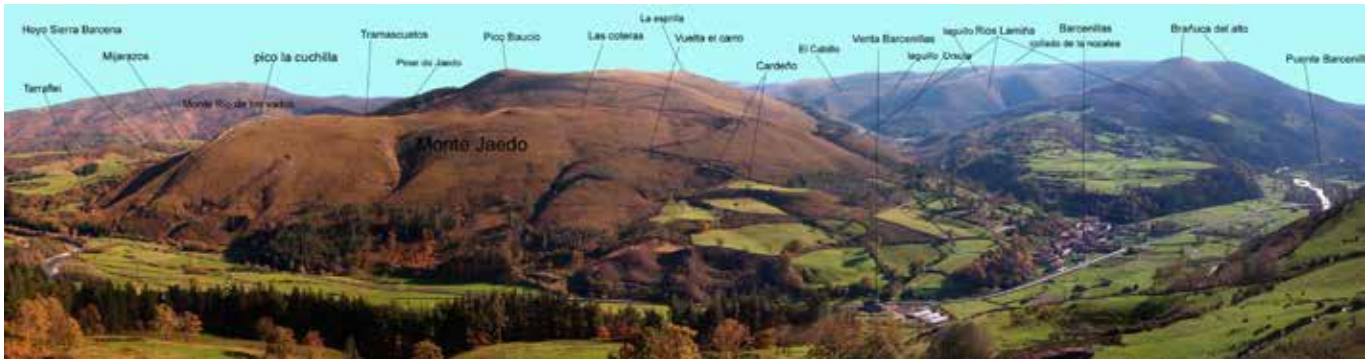


Figura 5.4. Flujo normal de los trabajos preparatorios para la quema.



Fotografía 5.8. Elegir los rodales que se tratarán necesita una priorización en el marco de las capacidades de la cuadrilla de trabajo, porque los territorios son extensos. Hay que estudiar en qué lugares se lograrán más beneficios o dónde urge el tratamiento.

Vista del monte Jaedo y alrededores. Barcenillas (Cantabria).

c) Estudio de la parcela y planificación: la primera aproximación al sitio se hace cuando se valora si la parcela es adecuada para ser tratada con fuego inicialmente. En esta fase, el trabajo se amplía con el fin de determinar las tareas necesarias para poder quemar, y la mayor parte del plan de quema se arma sobre esa base:

- Prescripción que utilizar.
- Trabajos de preparación de la parcela.
- Plan de ignición y conducción.
- Plan de contingencia.
- Logística y organización para cada uno de los trabajos.

Fotografía 5.9. La planificación de las quemas es una fase trascendental del trabajo. De ella depende lograr las modificaciones vegetales buscadas, alcanzar una eficacia de asignación de recursos razonable y limitar los riesgos. El fuego es una herramienta peligrosa y de gran poder destructivo en caso de escape.

Caseta de aperos destruida por un escape de fuego en una mera quema de limpieza de cunetas de un camino.

Albalate de Cinca (Huesca).

d) Preparación de la parcela: ejecución de los trabajos de adecuación del sitio para la quema, como construcción de líneas de control, tratamiento previo de la vegetación, etc.

Fotografía 5.10. El uso de pequeños tractores puede facilitar los trabajos y aumentar la seguridad de las líneas de control.

Tractor de cadenas con desbrozadora acoplada para el picado de restos de una clara. Alhama de Murcia (Murcia).

Fotografía 5.11. En las quemas para generar cultivos de subsistencia en bosques, suele ser habitual el apeo de los árboles para su secado previo y para disponerlos en el estrato superficial, que es el que conduce el fuego.

Parcela tratada a tumba y quema en la que el fuego no produjo reducción de los combustibles pesados previamente apeados.

Mbubuin (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

e) Publicidad del tratamiento: es necesario comunicar eficazmente los trabajos a la población del área; especialmente, a los colectivos con intereses en la gestión del territorio. El inicio de programas de quemas ha sido a veces polémico y difícil, y es probable el rechazo a la metodología debido a algún error puntual o efecto desfavorable (Rego y Ferreiras, 2000). La comunicación permite informar a los colectivos ajenos al mundo forestal y rebaja la posible alarma ante la presencia de fuego en los montes. Por otra parte, permite dar a conocer y amplificar el efecto social de las quemas sobre los colectivos rurales demandantes del uso del fuego, como ganaderos o cazadores. Es una labor imprescindible principalmente en las comarcas en que existen conflictos en la gestión del territorio que suelen derivar en incendios intencionados y se pretende realizar una ordenación del uso del fuego, ya que permite el acercamiento entre los vecinos demandantes y la Administración Pública, lo cual es un imperativo para resolver el problema.

Algunas acciones de comunicación que se pueden realizar son:

- Si el grupo de interesados en la ejecución de las quemas es amplio —como a veces ocurre con las quemas pastoriles en comarcas de cultura ganadera—, es posible colocar carteles en lugares frecuentados por miembros del colectivo, como mercados ganaderos, determinados bares, comercios, etc. En las notas donde se alisten los trabajos que se van a realizar, es aconsejable señalar que se ejecutarán dependiendo del tiempo atmosférico y disponibilidad de personal.
- En ocasiones, resulta adecuado colocar carteles en las parcelas indicando que el lugar va a ser o se ha quemado de forma controlada. Esto sirve para que los vecinos discriminen los quemados autorizados de los incendios provocados, lo que es útil en comarcas con conflictos de incendios intencionados. Lógicamente, los carteles situados en parcelas aledañas a vías de tránsito están más justificados.
- La alarma social en lugares donde puede haber oposición o preocupación por el uso del fuego como herramienta, puede reducirse con carteles ubicados en las carreteras más transitadas desde donde se puedan ver las columnas de humo informando que en esa comarca se "trabaja con fuego".

Fotografía 5.12. Cartel que señala una parcela de quema. Es importante informar a la población de las labores que se realizan. Ruente (Cantabria).

f) Estudio de las condiciones atmosféricas y de humedad: una vez que se han realizado todos los trabajos y estudios previos y se tienen los permisos, hay que vigilar la meteorología y condiciones de humedad del combustible para prever cuándo se está dentro o próximo a los rangos de la prescripción y ejecutar la quema en ese momento (Molina, 2000). También es necesario observar que las condiciones de estabilidad y los vientos son los adecuados para evitar —o, al menos, limitar— el impacto del humo sobre las zonas frecuentadas por la población humana.

Una visita a la parcela bajo condiciones atmosféricas similares a aquellas en las que se va realizar la quema es asimismo adecuada. De ese modo, es posible hacer mediciones meteorológicas y observar si las variables están realmente dentro de la prescripción que se pretende emplear. Además, permite prever los posibles cambios ambientales que pudieran surgir durante la ejecución; sobre todo, en relación con el viento y humedad de los combustibles. Sin embargo, no es usual que las cuadrillas de trabajo dispongan de tiempo para realizar esta labor dada la escasez de "ventanas meteorológicas" adecuadas para las quemas y elevado número de rodales en los que intervenir.

5.3.2. LABORES DE QUEMA

En la jornada de la ejecución del tratamiento, al menos deben realizarse las operaciones mostradas en la **figura 5.5.**

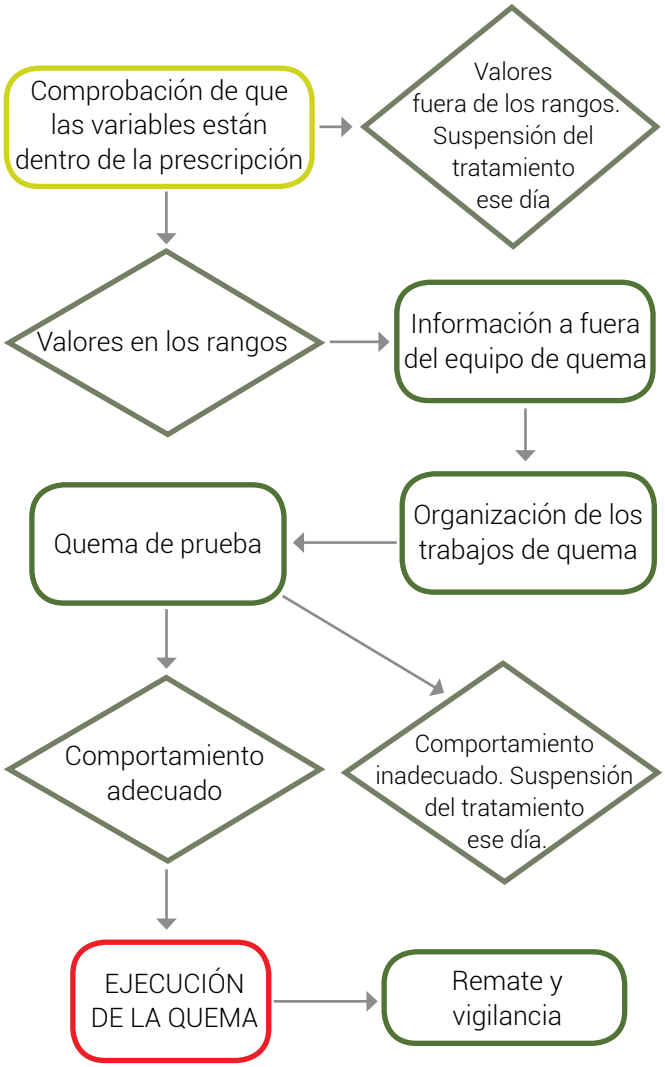


Figura 5.5. Flujo habitual de tareas para la ejecución de la quema.

Tabla 5.8. Prácticas correctas para dirección de quemas (Weir *et al.*, 2009).

1	Leer el plan de quema y estudiar la parcela antes de comenzar la quema.
2	El manejo del fuego es importante, pero la seguridad en los trabajos debe ser lo primero.
3	Todas las acciones deben realizarse bajo la observación del comportamiento actual del fuego y en el esperado posteriormente.
4	Estudiar los pronósticos del tiempo y consultar los posibles cambios frecuentemente.
5	Asegurarse de que se han dado las instrucciones correctas a la gente de la cuadrilla de quema y éstas han sido entendidas.
6	Comprobar periódicamente durante la quema si las condiciones ambientales y del comportamiento del fuego están dentro de la prescripción.
7	Tener bien definida la técnica de quema en cada caso y dirigir al personal y recursos de forma adecuada para cumplir el plan.
8	Permanecer en comunicación con todos los miembros de la cuadrilla de quema.
9	Poner vigilantes en las situaciones o lugares que se prevean peligrosos, para agilizar la reacción en caso de necesidad.
10	Conservar el control en todo momento.
11	Estar alerta, permanecer en calma, pensar con claridad y actuar con decisión.
12	Asegurarse de extinguir todas las ascuas del borde de la parcela tras la quema.

a) Comprobación de que las variables ambientales están dentro de la prescripción: El equipo sabe aproximadamente si hay un momento, o "ventana temporal", adecuado para ejecutar los tratamientos —tanto en lo que se refiere al comportamiento del fuego como a la evacuación del humo— basándose en los pronósticos meteorológicos. Una vez en la parcela, se emplean equipos de medida y ábacos con el objeto de determinar si realmente las variables atmosféricas, de humedad del combustible y de emisión de humos están dentro de la prescripción. Hecho esto, se decide llevar a cabo la quema en esa jornada o no.

Las quemas se realizan normalmente en horario diurno dado que este se adapta mejor al ritmo habitual de trabajo y vida del personal. Ahora bien, no hay que olvidar que las noches ofrecen buenas condiciones ambientales para las quemas en muchas ocasiones y que son un momento de la jornada que también debe considerarse para ello en ciertas circunstancias.

b) Información de la realización de la quema: se debe comunicar a la Administración provincial que la quema va a ser ejecutada en un determinado lugar antes de realizar cualquier prendido. Los responsables de la gestión suelen estar enterados de la programación de los trabajos de los equipos de quemas, aunque esta nunca es exacta, ya que hay variaciones según la meteorología y otros aspectos del trabajo diario. Esto es importante, pues permite que el dispositivo de extinción esté al tanto de la situación evitando alarmas innecesarias; además, facilita la movilización de refuerzos si fueran necesarios en caso de contingencia. También hay que poner en aviso

al centro coordinador de emergencias y a otros posibles interesados, como al propietario del monte y a las autoridades de los núcleos de población cercanos; sobre todo, si pueden verse afectados por la columna de humo

c) Organización de los trabajos de quema: es una tarea fundamental para garantizar la seguridad del personal y el éxito del tratamiento. Todo debe organizarse previamente al encendido: los trabajadores tienen que conocer sus funciones —tanto en el desarrollo normal como en caso de contingencia— y los medios y herramientas deben ser los planeados. Es importante que el jefe explique el esbozo del plan de quema a todo el personal —especialmente, a los operarios de prendido— y repasar las funciones de cada uno. Esto resulta capital si participan vecinos en el tratamiento, como a veces ocurre en quemas pastoriles. Las explicaciones deben darse antes de la quema de prueba, ya que a veces "se deja correr". En caso de que se decidan variaciones en la ejecución durante los trabajos, serán comunicadas diligentemente al resto del equipo.

d) Quema de prueba: es una ignición de pequeño tamaño y efectuada bajo condiciones controladas; primero, de fuego en contra y también a favor después si el comportamiento del fuego es el adecuado. Sirve para observar si la evolución del mismo está dentro de lo definido en la prescripción y si el plan de ignición y el patrón de avance planeado se pueden efectuar tal cual o hay que hacer variaciones. En caso de observar desajustes significativos, habrá que considerar suspender la quema esa jornada. Conviene hacer este prendido con medios de extinción cercanos y suficientes para atajarlo rápidamente y en la parte de la parcela de menor peligro.

Fotografía 5.13. La quema de prueba permite evaluar de forma práctica el comportamiento del fuego en el lugar y en ese momento.

Zapador realizando quema de prueba.

Espinosa de los Monteros (Burgos).

Tabla 5.9. Propuesta de charla organizativa al personal para la ejecución de quemas (Eurofire, 2008)

Apartado		Descripción
1	Perspectiva general	Introducción al contexto del tratamiento, características del rodal, previsión meteorológica haciendo especial hincapié en los posibles cambios y el peligro de incendios esperado.
2	Objetivos del tratamiento	Metas principales y secundarias que se pretende alcanzar con la intervención selvícola.
3	Patrón de ignición	Tipo de avance del fuego elegido y patrón general de quema de la parcela para cumplimentar los objetivos. Programación aproximada para alcanzar hitos de trabajo y plazos clave en los encendidos y encuentro de frentes.
4	Plan de contención	Líneas de control, personal designado para la labor, posición de los recursos, etc. Incluye el plan de evacuación del humo.
5	Asignación de tareas	Reparto de labores a personas y grupos para realizar el trabajo.
6	Mando y comunicaciones	Explicación de la cadena de mando y decisión, y del protocolo de comunicación, tanto dentro de cada grupo de tarea como en el conjunto del equipo de trabajo.
7	Peligros	Repaso de los peligros que hay en la parcela y en las operaciones de quema.
8	Zonas seguras y rutas de escape	Información de las zonas seguras, rutas de escape y puntos de reunión en caso de comportamiento anómalo del fuego u otros problemas.
9	Plan de contingencia	Actuación en caso de escape de fuego que derive en incendio, accidente o personal herido, perdida de las comunicaciones, falta de cumplimentación de hitos en el patrón de quema, etc.

Fotografía 5.14. Todos los participantes en las quemas deben conocer sus funciones y saber qué se espera de ellos exactamente tanto en la realización normal del trabajo como en caso de contingencia. Es una responsabilidad intransferible de los jefes que cada integrante comprenda perfectamente su misión.

Grupo de zapadores atendiendo a una explicación para realizar un entrenamiento. Laza (Orense/Ourense).

e) Ejecución de la quema: se debe realizar siguiendo el plan de ignición establecido siempre que sea posible y no haya cambios ambientales importantes durante la ejecución.

Resulta conveniente observar las variables meteorológicas y del comportamiento del fuego cada cierto tiempo durante la quema para comprobar que continúan en rangos adecuados y recoger información que ayude a comprender mejor el proceso de combustión; fundamentalmente, si la estación o prescripción son nuevas y aún es necesario ajustar los valores.

Posteriormente, habrá que analizar el comportamiento del fuego en función de la información meteorológica y humedades del combustible. La colocación de jalones en la parcela de quema puede ser una buena ayuda para observar adecuadamente el avance de los frentes de llama y estimar la altura del fuego (Vélez, 2012).

Si hay algún problema en la quema, como puede ser comportamientos agresivos u otros, el tratamiento debe suspenderse siguiendo los protocolos de seguridad. Se aconseja en esos casos —si la extinción no es posible, como ocurre usualmente— manejar al fuego hasta llegar a una quema a la contra, que es la más "dócil", si esta opción es viable en el momento de tomar la decisión de modificación o suspensión.

f) Remate y vigilancia: son labores de enfriamiento de la parcela tras la quema para evitar las reproducciones. Los trabajos de remate que se estimen necesarios para asegurar el quemado se efectuarán en este momento; sobre todo, en los lugares más sensibles del perímetro, como líneas de control sin suelo mineral expuesto, zonas de sotavento, etc.

En las quemas de invierno la noche, con su bajada de temperaturas y consiguiente condensación de rocío o escarcha, simplifica las operaciones de remate. Aun así, el patrullaje y vigilancia resultan convenientes, pues las reproducciones al mediodía de la jornada siguiente no son extrañas.

Fotografía 5.15. La realización de las quemas debe estar precedida por una adecuada explicación de las labores a todo el equipo de trabajo. La coordinación del avance de las antorchas es fundamental para la seguridad del personal.

Zapadores dando línea de ensanche en un incendio.

A Mezquita (Orense/Ourense).

Fotografía 5.16. Durante la ejecución de las quemas todo el personal debe estar atento a la evolución del fuego y a la situación del resto del personal que tenga a la vista. En caso de algún problema significativo debe tratar de solucionarlo y dar aviso al resto del equipo de trabajo.

Un zapador vigila una quema de ensanche en un incendio de un latizal de *Eucaliptus globulus*. Santoseso (Asturias).

Fotografía 5.17. La vigilancia de los quemados es un imperativo para evitar reproducciones. La necesidad de labores de remate en el invierno es menor gracias a la meteorología, pero se debe estar vigilante y estudiar el perímetro de la quema después del tratamiento para evitar escapes y accidentes.

Tras una quema se observa como un tocón arde en la fase de ascuas en una banda rozada que limita el quemado. Si la combustión subterránea hubiera llegado más lejos, más allá de la banda rozada, se hubiera originado un incendio con facilidad.

La Victoria de Acentejo (Tenerife).

Tabla 5.10. Situaciones generadoras de peligro en las quemas: aumentan el riesgo de escapes de fuego y/o daños a personas (Weir *et al*., 2009).

1	Parcela de quema no explorada ni dimensionada adecuadamente.
2	Parcela de quema solo vista de noche.
3	No han sido identificadas las zonas de peligro y de posibles escapes por vuelos de pavesas.
4	Falta de familiaridad con las condiciones meteorológicas y de los factores que influyen en el comportamiento del fuego localmente.
5	Falta de información sobre la estrategia, táctica y riesgos de la quema.
6	Falta de claridad al dar instrucciones y asignar tareas.
7	Falta de vía de comunicación con los jefes y los otros miembros de la cuadrilla de trabajo.
8	Cortafuegos sin hacer hasta suelo mineral.
9	Realización de prendidos ascendiendo pendientes.
10	Realizar quemas por fajas a la contra demasiado anchas.
11	Existencia de zonas sin quemar atrás de frentes a la contra.
12	No se observa que hay tras los frentes de llamas según avanzan, ni nadie alcanza a verlo.
13	Quemar 12 horas antes del paso de un frente o cambio de viento general.
14	El ambiente tiende a condiciones más cálidas y secas.
15	Presencia de vientos que ganan fuerza y/o cambian de dirección.
16	Ocurrencia de prendidos por pavesas al otro lado de los cortafuegos.
17	Existencia de lugares de la quema inaccesibles a las autobombas.
18	Parar a comer con el fuego activo.

5.3.3. LABORES DESPUÉS DE LA QUEMA: LA EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO

Los trabajos posfuego que se efectúan en las quemas son esencialmente evaluaciones del tratamiento realizado, aunque también pueden incluir ocasionalmente ciertas actividades dirigidas a conducir la dinámica del monte tras la combustión.

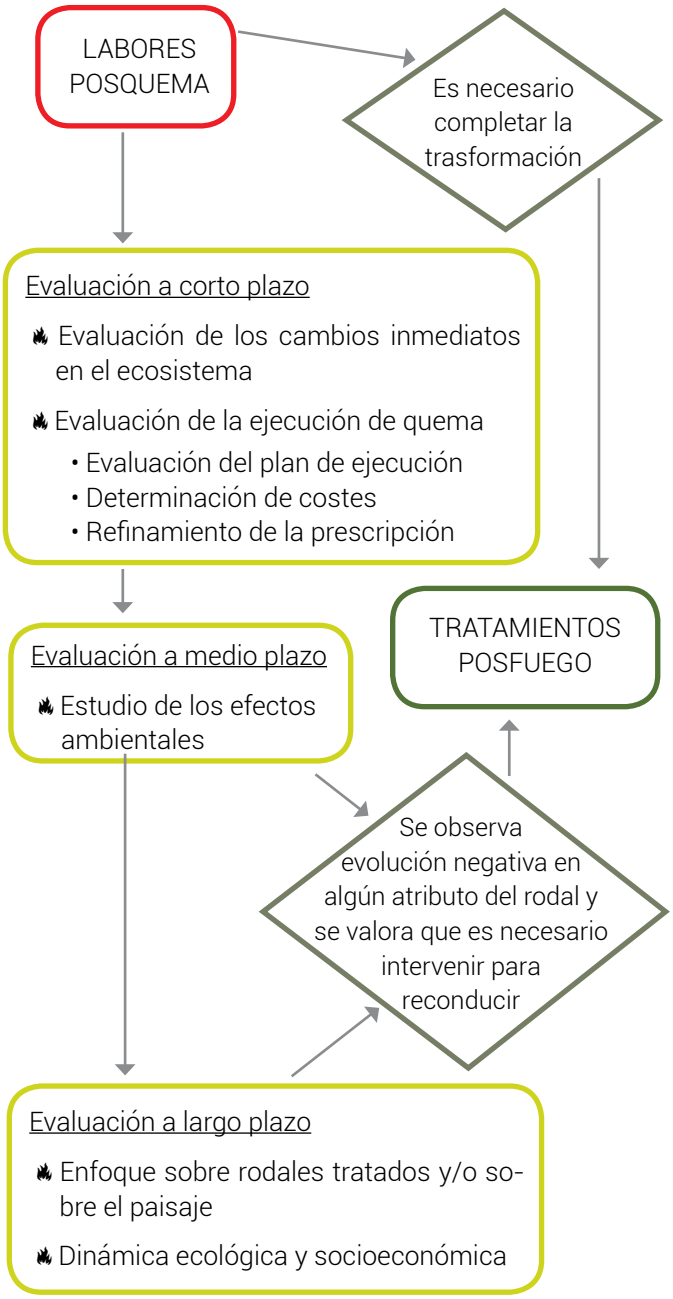


Figura 5.6. Labores tras la quema.

5.3.3.1. Los tratamientos posfuego

Los ecosistemas son dinámicos y cambiantes, y el fuego una herramienta con la que inducir transformaciones en los montes y realizar la conducción de la dinámica ecológica. En ocasiones, la quema es solo una mera actuación más para lograr los objetivos de gestión, que necesitan más actividades para su consecución.

Como renovación, el fuego prescrito abre "ventanas" ecológicas conformando legados biológicos de distinta naturaleza y composición, y generando condiciones de habitación más despejadas que facilitan que el ecosistema pueda tomar uno u otro camino o permanecer de forma similar a la realidad de partida transcurrido un tiempo. Con los trabajos posteriores a la quema, se busca transformar o conducir el legado a la situación deseada, y son diferentes en función del tipo de cambio que se pretenda realizar, las características y la situación del monte.

Los tratamientos selvícolas para el control del combustible resultan eficaces si combinan dos técnicas (Rigolot *et al*., 2009); por ejemplo, la quema y el pastoreo.

Algunas actividades complementarias comunes son:

- Transformación de matorrales a herbazales de mayor producción pascícola. A veces, se recurre a gradeos, enmiendas, abonados y siembras o al mantenimiento de cargas elevadas de pastoreo para forzar el majadeo. No obstante y por lo general, las adecuaciones pastoriles extensas necesitan tratamientos de quema o desbroce de mantenimiento cada 4-7 años según la vegetación y tipo de aprovechamiento (Dimanche y Coudour, 2005; citados en Baiges *et al*., 2007).
- Transformaciones de matorrales a rodales arbolados mediante repoblación: la quema es un método con que despejar a la vegetación que medra en el sitio de plantación para luego realizar el resto de las operaciones de repoblación. El fuego era un método habitual de desbroce hasta hace unas décadas en España (véase Navarro, 1977). También es factible la siembra de semillas de árboles colonizadores.
- Mejora de la demografía de un taxón objetivo: las quemas suelen emplearse para este manejo con el fin de llegar a estructuras o comunidades más favorables para determinados organismos animales o vegetales. En el primer caso, usualmente se realizan acciones que buscan cambios estructurales y florísticos que refuercen adecuadamente su ciclo vital en el área. Estos

Fotografía 5.18. El manejo de las cargas de herbívoros es un método complementario a las quemas para las trasformaciones de matorral a herbáceas.
Pastadero adehesado en el que el fuego se ha usado como herramienta de despeje, lo que es visible en los raigales de los árboles.
Corumbá, pantanal (Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil).

pueden ir dirigidos a que tengan a su alcance mayores recursos alimenticios o lugares de refugio o incluso mejorar la conectividad entre zonas de habitación aumentado la posible área de campeo de la población. En tales casos, las labores complementarias consistirían en la suspensión de las actividades cinegéticas durante un tiempo, control demográfico de los competidores o predadores, o siembra de determinados vegetales necesarios para su alimentación.

Los trabajos de recuperación de rodales quemados que pueden haber reaccionado deficientemente a la intervención o hayan sufrido desvíos de la dinámica esperada por la influencia de otro proceso también se incluyen en los tratamientos posfuego. La necesidad de estos tratamientos de recuperación suele observarse en las evaluaciones a medio y a largo plazo.

5.3.3.2. Evaluación de las quemas[11]

La quema es un trabajo facultativo en el que el fuego puede producir o inducir distintos efectos en el medio incluso desarrollándose en condiciones ambientales similares. Aunque las prescripciones acotan de una forma estrecha el comportamiento del fuego para un determinado ecosistema y objetivo de gestión, cabe la posibili-

[11] Desarrollado a partir de Vega *et al.*, 2001.

dad de que se produzcan variaciones en el legado tras la renovación debidas a otras influencias ecológicas, como la presencia de herbívoros, la llegada de propágulos inesperados, etc. o situaciones ambientales posteriores, como sequías, lluvias torrenciales, etc.

La evaluación de las quemas debe hacerse en varios niveles y con intensidades diferentes en función de la complejidad de la actuación y experiencia acumulada en ese ecosistema, objetivo de gestión y prescripción. En situaciones conocidas, casi rutinarias en el lugar, no es necesario realizar una evaluación pormenorizada. Esto ocurre, por ejemplo, en quemas de matorral pirófito de comarcas del noroeste español en las que siempre se ha quemado —también los servicios forestales— siguiendo pautas consuetudinarias de carácter empírico. Sin embargo, hay que haber realizado comprobaciones para acumular la experiencia necesaria antes de llegar a ese grado de confianza. Este planteamiento a medio plazo hace que la carga de trabajo de gabinete sea menor y que los recursos disponibles puedan utilizarse en otras tareas de gestión.

La quema debe evaluarse desde diferentes puntos de vista: el principal es el efecto del fuego sobre el ecosistema, y los trabajos de la quema de manera secundaria. A veces se presta demasiada atención a la herramienta, el uso del fuego, y poca al objetivo, la conducción en la dinámica del monte.

La evaluación necesita que los objetivos estén claramente definidos y que tengan algún valor mensurable que proporcione un grado de cumplimiento de la operación (Martin y Dell, 1978). Cualquier reporte de evaluación requiere poseer elementos cualitativos que informen de la transformación que se pretende alcanzar, y cuantitativos que indiquen el grado de cambio directo entre las condiciones de antes y después del fuego y que permitan valorar el rumbo que el ecosistema toma en su evolución. Lógicamente, esto implica contar con datos del antes y del después de la renovación para poder comparar.

La evaluación de la quema es importante, ya que proporciona al menos la siguiente información (Vega *et al*., 2001):

- Nivel de cumplimiento de los objetivos buscados.
- Datos diversos tales como efecto del fuego, reacción del legado biológico, desarrollo de las tareas, etc. Es información útil con la que retroalimentar positivamente al equipo de trabajo para las siguientes quemas.
- Costes reales de la operación.

Es fundamental determinar qué informaciones hay que recopilar para llevar a cabo las evaluaciones en función de su utilidad, cuándo, cómo y quién realizará la toma de datos, así como una estimación de medios y recursos necesarios para llevar a cabo estas labores.

En la evaluación de la efectividad de una quema deben medirse las variables asociadas a los objetivos, pero sin caer en esfuerzos enciclopédicos: hay que hacer una selección óptima en función de los hitos de manejo pretendidos y de la capacidad de toma, procesado y análisis de datos (véase **Tabla 5.15.**).

La evaluación de los objetivos perseguidos en la quema debería efectuarse como mínimo en dos horizontes temporales: uno a corto plazo y otro a medio-largo plazo. Lo siguiente se propone para definir los tiempos de evaluación tras las quemas:

- Corto plazo: se refiere a la valoración de los efectos inmediatos del fuego sobre el monte. Es decir, de los cambios producidos por la destrucción de tejidos, órganos y combustibles, así como otras alteraciones inmediatas en el ecosistema por el suceso de fuego, como las que afectan a la estructura vegetal y edáfica. La ejecución de la quema también se estudia en esta etapa.
- Medio plazo: período en que la reacción del ecosistema al fuego es observable; al menos, en su inicio. Estos signos son, por ejemplo, el rebrote, la germinación, el crecimiento tras el fuego, la evolución edáfica, etc. Otros factores o sucesos que han influido sobre el lugar tras la quema también participan de alguna manera en este momento del ecosistema. Normalmente esta observación se hace tras el primer periodo vegetativo después de la combustión y sirve para valorar la primera reacción del legado y estimar el camino probable que tomara el monte en su evolución. Suele ser la última evaluación relacionada con el tratamiento en caso de prescripciones conocidas y en trabajos de quema ocasionales y poco extensos en los que normalmente no se detectan problemas.
- Largo plazo: este período sirve para hacer una evaluación de los efectos derivados del fuego, pero con más tiempo de evolución que el plazo medio, o en la valoración ampliada de todo un programa de quemas. Desde una óptica meramente biológica, permite estudiar los cambios en la evolución del rodal y en la sucesión de la vegetación si se busca este efecto. La sucesión avanza a diferentes ritmos y escalas según el tipo y situación del monte, la productividad de la estación, el ritmo de llegada de propágulos, etc. Las evaluaciones a largo

plazo se relacionan con prescripciones novedosas o experimentales, ecosistemas complejos y/o evaluaciones de programas de quemas amplios.

Se recomienda esbozar un plan de seguimiento específico, asociado al plan de quema, para cada parcela quemada en función de las características del monte y los objetivos planteados, y así tener una guía adecuada con que controlar la evolución del ecosistema tras la perturbación (véase Vélez, 2012; y Alloza *et al*. 2013[12]).

5.3.3.2.1. Evaluación a corto plazo

Las evaluaciones justo tras la quema sirven principalmente para graduar el cambio inmediato en el rodal por el fuego; fundamentalmente, con el fin de comprobar la reducción del combustible y los impactos térmicos sobre la vegetación. De forma secundaria, son un mecanismo de retroalimentación que permite mejorar las capacidades del equipo de quema y afinar la prescripción.

Estas tareas deben realizarse cuanto antes después de ejecutar el tratamiento de modo que el evaluador pueda recordar todos los datos y situaciones de la quema. Lo ideal es hacerlas tras terminar las labores de remate o al día siguiente y siempre antes de lluvias que desvirtúen parte de la información (Wade y Lunsford, 1989).

5.3.3.2.1.1. Evaluación de los cambios inmediatos en el ecosistema

El fin de las quemas es lograr unas transformaciones en los ecosistemas dentro de los objetivos de gestión del monte, por lo que resulta prioritario analizar el efecto directo del fuego sobre el ecosistema.

Lo más notable que se puede ver tras el paso del fuego son los cambios estructurales de la vegetación. En esta valoración se estima la disminución y cambio en la distribución de la biomasa del monte, que representa la descarga energética que el fuego produce en el ecosistema y las afecciones a los tejidos y organismos vivos que la renovación ha realizado. En general, los procesos observados son:

- Disminución de la biomasa total del ecosistema por el proceso de combustión: tanto necromasa como vegetación viva.
- Generación de nueva necromasa por la combustión parcial y daños térmicos a los tejidos vivos tanto en los estratos que han ardido como en los cercanos que han sufrido impacto térmico.

La reorganización de la biomasa por el fuego provoca un cambio en la estructura del monte cuyo resultado depende de los estratos que han ardido o se han necrosado y de la severidad de la quema.

Fotografía 5.19. La reducción del combustible es un parámetro básico que estimar en las evaluaciones posfuego.
Observación del "acabado" de un tratamiento con fuego para la renovación de un pastadero. Ucieda de Abajo (Cantabria).

Por ejemplo, las quemas para reducir el riesgo de incendio persiguen principalmente la disminución del combustible disponible y reorganización de los estratos en rodales arbolados. La reducción del combustible y la creación de discontinuidades influyen sobre el binomio intensidad-frecuencia de incendios y en la estructura del monte. Muchas quemas bajo cubierta pretenden una reducción de la hojarasca y el sotobosque, así como inducir la poda por calor en la parte baja del dosel arbóreo. Con esto se pretende romper la continuidad vertical del combustible y disminuir la intensidad de un hipotético frente de llamas incontrolado limitando la susceptibilidad del bosque al incendio de copas.

[12] El trabajo de Alloza *et al.* (2013) es una guía para abordar los trabajos de restauración del monte tras un incendio severo del que se pueden tomar ideas y criterios útiles en la evaluación de rodales tratados con fuego, así como para su recuperación en caso de necesidad.

Es posible estimar la reducción del combustible comparando la cantidad de material vegetal antes y después del fuego, así como cuantificarla empleando diferentes métodos (Vega *et al.*, 2001):

- Estimación visual del porcentaje de reducción de la carga inicial. Este es el método más utilizado por su sencillez y rapidez. Se realiza en ocasiones con apoyo de tablas o croquis orientativos de variación del combustible o usando valores de carga de los modelos de combustible. Asimismo pueden estimarse los volúmenes de copa soflamados y la altura de tronco chamuscada en el caso de rodales arbolados.
- Usando series de fotos comparativas. Se hacen para una determinada área geográfica y formación, y suelen tener una graduación de la reducción asociada a cada imagen.
- Otros métodos, como reducción del mantillo, estimación del tiempo para recuperar los niveles iniciales de carga, etc.

La situación más simple son las quemas de montes desarbolados. En estos, muchos objetivos se alcanzan al conseguir una reducción superior al 50 % del combustible. Se muestran seguidamente dos sistemas sencillos de estimación visual.

La **tabla 5.11.** contiene una clasificación cuantitativa de la efectividad del fuego en la reducción de carga de diferentes grupos de combustibles.

Fotografía 5.20. La eliminación de materiales pesados necesita intensidades de fuego muy altas.

En la imagen se observa que la reducción del combustible no ha alcanzado a los diámetros medianos o gruesos. No obstante, este acabado servirá para facilitar el objetivo último de la intervención.

Quema agrícola para cultivos de subsistencia.

Meyang (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

Tabla 5.11. Estimación visual de reducción de combustibles finos en quemas (Buckley y Corkish, 1991; citados en Vega *et al.*, 2001)

Efectividad	Hojarasca	Restos de corta	Matorral
Muy alta	> 50 %	> 75 %	> 75 %
Alta	25-50 %	> 75 %	25-75 %
Regular	< 25 %	25-75 %	< 25 %
Baja	no ardió	< 25 %	no ardió

De forma gráfica, la **figura 5.7.** también permite valorar la reducción del combustible en pie para quemas de matorral y sotobosque.

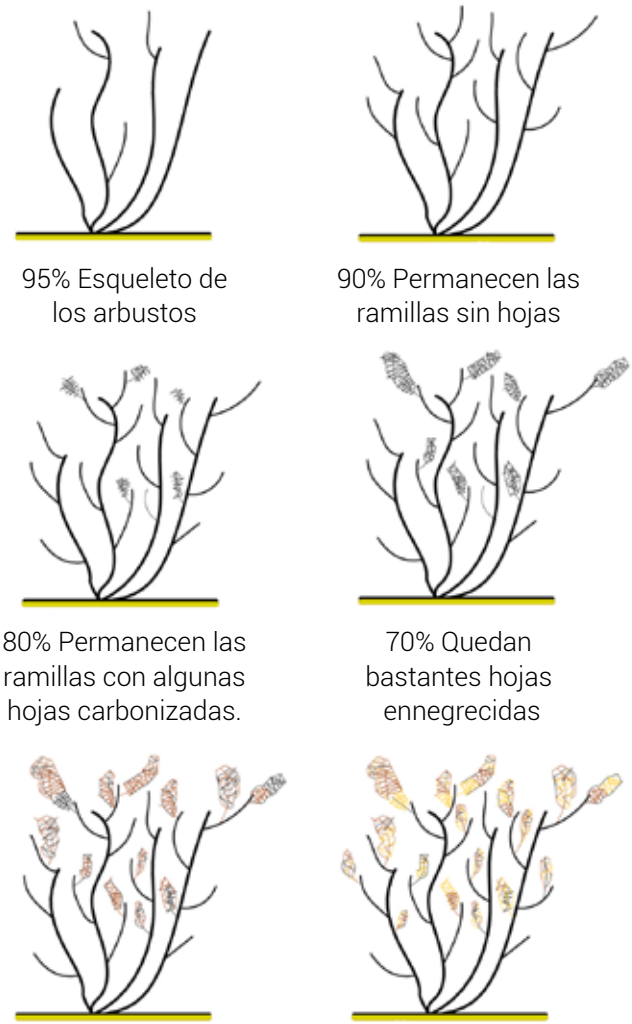


Figura 5.7. Clave gráfica de reducción de combustible en matorral. Inspirado en Vega *et al.* (2001) y Fernandes *et al.* (2002).

La situación es más compleja en las quemas bajo arbolado. La combustión normalmente se sostiene en el estrato de la hojarasca, aunque también se suele tratar de reducir el sotobosque. El fuego produce asimismo algunos efectos en el arbolado, como chamuscado de troncos y soflamado de copas, que pueden ser buscados en ocasiones para hacer poda con calor y/o claras por lo bajo en algunos rodales. En su excelente guía de fuego bajo arbolado, integrada luego en el programa *PiroPinus*, Fernandes *et al.* (2002) presentan tablas con las que estimar el volumen de copa soflamada, al altura de chamuscado de tronco, la reducción del sotobosque y hojarasca, y otras pensadas específicamente para el *Pinus pinaster* en estaciones lusas, pero que son utilizables de forma estimativa para otros pinos y regiones ibéricas.

Tabla 5.12. Ejemplo de estimación de reducción de carga (%) de sotobosque bajo cubierta de *Pinus pinaster* en función del diámetro terminal medio (mm) de los tallos y ramos residuales en pie tras la quema. Aplicable a *Genista tridentata, Erica* y *Ulex* (Fernandes *et al.*, 2002).

Diámetro (mm)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Reducción (%)	53	68	78	85	90	93	95	97	98

Tabla 5.13. Ejemplo de criterio para la valoración del impacto de quemas bajo cubierta al arbolado. Tanto por uno de volumen de copa soflamada en función de la altura del árbol (m) y de la altura soflamación (m) para fuegos bajo cubierta de *Pinus pinaster* (Fernandes *et al.*, 2002).

Altura de soflamación (m)	Altura del árbol (m)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	1													
4		1												
4,5			0,3											
5			1	0,1										
5,5				0,6										
6				1	0,4									
6,5					0,7	0,2								
7					1	0,5	0,2							
7,5						0,7	0,4	0,1						
8						1	0,6	0,3	0,1					
8,5							0,8	0,5	0,2					
9							1	0,6	0,4	0,2				
9,5								0,8	0,5	0,3	0,1			
10								1	0,7	0,4	0,2	0,1		
10,5									0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	
11									1	0,7	0,5	0,3	0,2	
11,5										0,9	0,6	0,4	0,3	0,1
12										1	0,7	0,5	0,4	0,2
12,5											0,9	0,7	0,5	0,3
13											1	0,8	0,6	0,4
13,5												0,9	0,7	0,5
14												1	0,8	0,6
14,5													0,9	0,7
15													1	0,8
15,5														0,9
16														1

Generalmente volúmenes de copa desecada inferiores al 30 % no causan reducciones en el crecimiento del árbol. Es conveniente mantener el volumen de copa desecada por debajo del 50 % siempre.

Fotografía 5.21. Contraste de situación de combustible superficial entre una zona recién quemada (der.) y otra quemada con anterioridad (izq.).

La Victoria de Acentejo (Tenerife).

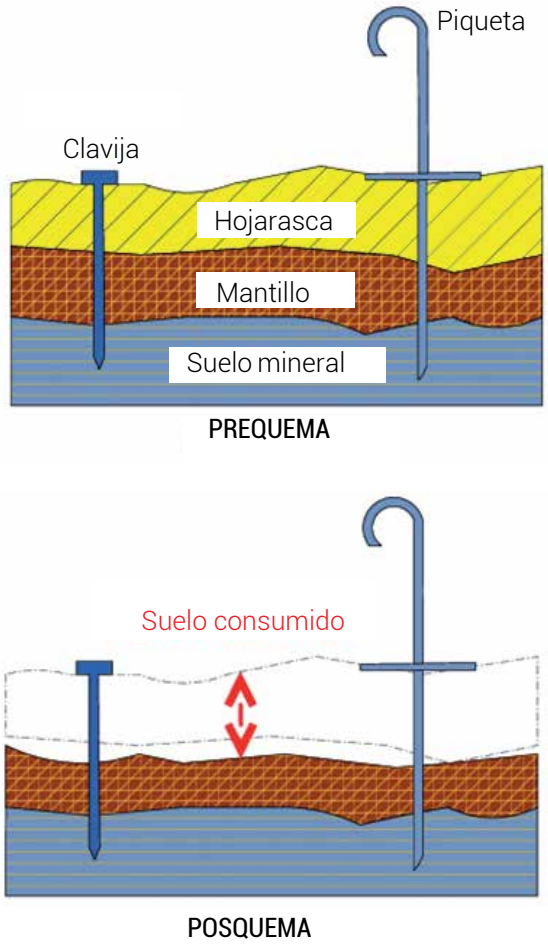


Figura 5.8. Modo de uso de clavijas o piquetas para medir el suelo orgánico consumido. Se suelen poner varias en un transecto en la parcela de quema. Situaciones prequema y posquema. Inspirado en National Wildfire Coordinating Group (2001).

5.3.3.2.12 Evaluación de la ejecución de la quema

El registro y estudio de una cantidad de información considerable sobre la ejecución de la quema se realiza porque la tecnología del fuego es críptica y tiene cierto carácter experimental en ocasiones, ya sea por la novedad en el uso del fuego en un determinado monte, de una prescripción cuyos efectos no son bien conocidos aún o por la bisoñería del equipo de quemas. Llevar a cabo una toma y procesado de datos exhaustivos al inicio de un programa de quemas posibilita efectuar retroalimentaciones positivas en la aplicación del fuego en ese ecosistema y en el funcionamiento del equipo de trabajo, y así poder llegar a una pericia adecuada que permita alcanzar los objetivos de gestión con una seguridad razonable. Logrado este nivel de manejo, la necesidad de los esfuerzos de evaluación disminuye y estas energías y recursos pueden emplearse en otras actividades.

a) Evaluación de la ejecución del plan de quema

La calidad de la ejecución del trabajo y el grado de cumplimiento de lo planeado previamente se estudian en el análisis a corto plazo con el fin de realizar una mejora en el funcionamiento y las capacidades de la cuadrilla de trabajo, así como para comprobar si se estuvo dentro de la prescripción de quema. Se debe evaluar:

- Las técnicas de encendido: analizar si la secuencia de prendido usada fue la planificada, qué variaciones hubo, su causa y la idoneidad general de las técnicas utilizadas.
- Los datos meteorológicos, de humedad de los combustibles y del comportamiento del fuego para determinar si se estuvo dentro de la prescripción durante la ejecución. También es necesario comprobar si la información meteorológica previa manejada fue la correcta.

- Los recursos asignados: evaluar si el trabajo ha estado dentro de las capacidades humanas y materiales según la planificación y, de ese modo, llevar a cabo una tarea de afinamiento en busca de una optimización de los medios empleados.
- Análisis de accidentes y emergencias:
  - Estudio de cualquier accidente o contingencia que haya ocurrido en la ejecución (caídas, heridas, daños al material, etc.) para mejorar procedimientos, entrenamientos y operaciones.
  - Análisis de los escapes de fuego: por qué se produjeron, determinar si las medidas planificadas fueron suficientes, etc.

b) Determinación de los costes de la operación[13]

Se suele argumentar que la quema tiene en muchas ocasiones dos ventajas sobre algunas de las otras técnicas de manejo de la vegetación: la rapidez y la economía. Aunque el uso del fuego muchas veces es caro, debido a los altos costes en medidas de seguridad que usualmente conlleva.

Es necesario tener en cuenta la asignación de los medios para la ejecución del tratamiento. Estos deben evaluarse monetariamente para obtener los costes totales de la ejecución y poder comparar esa cuantía con otras opciones de tratamiento y los beneficios obtenidos.

Los costes de realización de una quema varían en función de las características de la zona, el tamaño del tratamiento y el empleo de mayores o menores medios materiales y humanos.

El análisis considerará los siguientes puntos (Vega *et al.*, 2001):

- Costes de personal: operarios, capataces, ingenieros, etc.
- Costes de vehículos: tanto de extinción como de transporte.
- Costes de maquinaria ligera: motosierras, desbrozadoras, etc.
- Costes de maquinaria pesada: tractores usados para la construcción de cortafuegos o control, autobombas, etc.
- Costes de herramientas manuales: según el Servicio de Defensa Contra Incendios Forestales de Pontevedra, puede estimarse como de un 4 % sobre el coste de los jornales.

[13] Todos los precios del epígrafe están actualizados a finales de 2016.

El coste de la quema por unidad de área depende de los trabajos previos necesarios para preparar a la parcela, tamaño de esta, técnicas de encendido y conducción del fuego y necesidades de seguridad en el trabajo. Conviene que las superficies sean lo más extensas posibles desde la optimización económica, ya que el precio unitario por superficie tratada disminuye.

En la **tabla 5.14.** se muestran algunos costes de quema para diferentes objetivos.

Fotografía 5.22. La realización de tratamientos necesita una asignación presupuestaria para el sostenimiento del personal y la adquisición de los equipos necesarios.
Almacén de una brigada. Tineo (Asturias).

Fotografía 5.23. La utilización de tractores en las labores con fuego es una opción económica si el número o tamaño de las quemas es grande en una comarca. Pueden abaratar los trabajos si se alcanza una determina economía de escala.
Tractor agrícola de un voluntario haciendo ataque directo a frente de llamas. Villanueva de la Cañada (Madrid).

Tabla 5.14. Algunos costes de las quemas

Objetivos		Ámbito geográfico	Coste (€/ha) en precios de 2016
Manejo de matorrales y herbazales: mantenimiento de pastaderos y/o descarga de combustible		Galicia[1]	60 (5), 90 (6) y 121 (4)[5]
		Pirineo francés[2]	274 a 685
		Cataluña[3]	244
		Gran Canaria[4]	444 (275 en dehesas)
Manejo de otros combustibles en pleno monte	Parcelas estratégicas para extinción	Cataluña	1257
	Áreas de baja carga de combustible	Cataluña	1390
	Áreas de baja carga de combustible	Gran Canaria	3136
Manejo de combustibles en interfaz urbano-forestal	Polígonos industriales y interfaz urbana	Cataluña	1157
	Perímetro de seguridad en pueblos	Cataluña	570
	Defensa de infraestructuras	Gran Canaria	2822
Repoblaciones	Despeje para repoblaciones	Gran Canaria	444
	Manejo de la competencia	Gran Canaria	1008
Investigación		Cataluña	2749
		Gran Canaria	3135

[1]Fuente: Martínez y Martínez (2000) y Martínez (2001).
[2]Fuente: Rigolot (2000).
[3]Fuente de todos los datos de Cataluña: Larrañaga *et al.* (2007) y Molina, Galán *et al.* (2007).
[4]Fuente de todos los datos de Gran Canaria: Molina, Galán *et al.* (2007)
[5]Los números entre paréntesis indican el modelo de combustible según Rothemel (1983) al que está referido el coste.

Rodríguez (2005a) desarrolló unos "Modelos de gestión de quemas prescritas" hechos de forma específica para Andalucía. Asociado a estos, proporcionó una interesante información sobre los costes de quema, datos de la superficie de quema mínima rentable y costes de las quemas de forma comparativa con tratamientos convencionales (rozas de matorral; rozas, podas y clareos; recogida y apilado de los residuos; quema de montones). Los valores para quemas en montes desarbolados están entre los 415-1368 €/ha, y entre los 230-1637 €/ha en los rodales arbolados según cada modelo de combustible específico. Estos datos se pueden extrapolar más o menos a otras zonas teniendo en cuenta la descripción del modelo de combustible.

Los costes de desbroces de repaso con tractores en montes desarbolados ascienden a unos 200 €/ha (Sevilla, comunicación personal, 2016), lo que da idea de que las quemas en muchas ocasiones no son la opción selvícola más barata.

c) Refinamiento de la prescripción

Esta labor consiste en determinar las conclusiones útiles de la quema para los siguientes usos de la misma prescripción, en función de lo observado en cuanto al comportamiento del fuego y lo aprendido en la evaluación de los cambios acaecidos en el ecosistema. El objetivo que se persigue es afinar los rangos de valores de una prescripción novedosa para lograr la mejor inferencia posible sobre el monte. En ocasiones, según las características y objetivos de la norma, es necesario manejar información de la reacción del ecosistema obtenida de las evaluaciones a medio y a largo plazo.

5.3.3.2.2. Evaluación a medio plazo: la observación de los efectos ambientales

La evaluación de las quemas en el medio plazo se refiere a un período de tiempo en el que se pueda observar el inicio de la reacción del ecosistema tras la renovación. Lo idóneo es que esta tarea se haga tras el primer período vegetativo después del fuego, de forma que sea posible estimar el inicio del camino tomado por el legado del ecosistema y se valoren algunos posibles efectos negativos desde una perspectiva ponderada; por ejemplo, el riesgo de erosión, que puede parecer elevado justo después del tratamiento o tras las primeras lluvias y que habitualmente se difumina tras la germinación y rebrote inicial.

Fotografía 5.24. El seguimiento de las parcelas quemadas es necesario para estimar la consecución de objetivos.
Parcela quemada para uso pastoril y defensa del arbolado un año después del tratamiento. Ucieda de Arriba (Cantabria).

El fuego influye de forma compleja y dispar sobre los componentes del ecosistema, por lo que realizar un seguimiento pormenorizado de todas las variaciones desborda el mero trabajo de gestión. No obstante, es importante al menos percibir los cambios específicos y dinámicos más notables. En esta fase de la evaluación se propone un estudio de, al menos, los siguientes puntos:

- Observación de las variables relacionadas directamente con el objetivo de manejo perseguido, como afección a determinada especie vegetal, obtención de determinada estructura en el bosque, idoneidad de los cambios florísticos para un determinado taxón animal, etc.
- Vigilancia de los factores que han podido verse afectados negativamente por el fuego y que ayudan a reflejar la intensidad de la renovación realizada, como:
  - De forma simple, la intensidad suele relacionarse con la afección al suelo y se puede estimar valorando la porción de suelo mineral descubierto o signos de erosión desencadenados tras la quema, como descalces, regueros, salpicaduras, etc.
  - Es posible volver a observar variables de cambio estructural en los rodales arbolados, tales como la fracción de copa soflamada o altura de tronco chamuscado de los pies supervivientes así como la cantidad de árboles muertos y su distribución. El primer periodo vegetativo decanta la supervivencia de parte de los árboles heridos, por lo que el efecto directo del fuego llega hasta este momento. Estas valoraciones se pueden comparar con las hechas justo tras la quema para sacar conclusiones de manejo útiles.
  - El tamaño del quemado es una variable importante: cuanto más grande, mayor es el cambio producido en la matriz paisajística.

Fotografía 5.25. Los daños al arbolado en las quemas bajo cubierta se suelen evaluar en función de la mortalidad de pies, la altura del chamuscado en los troncos y la desecación por el soflamado de las copas.
Plantío de *Pinus pinea* injertado con las copas soflamadas debido a un conato que consumió al estrato de herbáceas.
Coca (Segovia).

Los efectos adversos del fuego son normalmente pasajeros (Wright y Bailey, 1982); sobre todo, si la quema se ha desarrollado con la prescripción adecuada y suelen comenzar a difuminarse con el inicio del desarrollo vegetal. Por ejemplo, Vega *et al.* (1987) observaron que el cambio más profundo en un rodal de *Pinus pinaster* dos años después de una quema prescrita fue la variación de la estructura del vuelo causada por la poda térmica.

5.3.3.2.3. Evaluación a largo plazo

El estudio a largo plazo sirve para estimar si las renovaciones por fuego han ayudado a conducir adecuadamente la cinética del monte y evaluar los posibles efectos ambientales adversos persistentes que se hayan podido producir en algunos rodales. Es el enfoque adecuado con el que valorar los programas de quemas amplios. Se puede usar principalmente para el seguimiento de tratamientos novedosos y análisis de programas de quemas.

Debido a que los cambios en la vegetación por crecimiento y sucesión son relativamente lentos en la mayor parte de las estaciones ibéricas, la evaluación a largo plazo se realiza, en caso de que se determine oportuno, pocos años después de la quema[14].

Deben tenerse en cuenta dos escalas espaciales en la evaluación a largo plazo:

- Rodal quemado: sirve para controlar la deriva de los efectos negativos severos observados en la evaluación a medio plazo de una parcela y que se ha estimado han podido tener una evolución desafortunada desde entonces. Hay que hacer un análisis de por qué se ha producido ese desajuste y de la necesidad de intervención para reconducir la evolución del lugar.
- Monte o paisaje: hay que usar preferentemente una escala espacial de análisis amplia —como monte, municipio o macizo forestal— en la evaluación a largo plazo de programas de quemas y no la simple consideración de las parcelas de quema. Esto obedece a que las quemas frecuentes en un área, aunque generalmente de menor extensión, suplen a los incendios y tienen unos efectos similares a estos en muchos aspectos. La escala territorial habitual de los incendios como procesos ecológicos es la de paisaje; por ello, es necesario tener una perspectiva adecuada que permita estudiar la influencia de los tratamientos con fuego sobre el medio (Lloret, 2004; Sevilla, 2008). Esto debe ser así en el caso de que las quemas sean reiterativas dentro de una estrategia de gestión y no una actuación extraordinaria. Utilizar una escala amplia permite analizar los efectos globales del programa de quemas desde un enfoque conveniente y ayuda a obtener conclusiones reales del conjunto del medio más allá de las situaciones que se puedan observar puntualmente en algunos rodales.

En la evaluación a escala de paisaje de los programas se puede analizar si el régimen de fuego aplicando es admisible, evoluciona hacia ello o está provocando un desajuste grave en algún sentido. Los siguientes aspectos son observables:

- Ecología: es necesario analizar si los paisajes, montes y poblaciones manejados evolucionan hacia los objetivos definidos. Estos pueden ser variados dependiendo de la situación; por ejemplo, se puede perseguir la progresión arbórea, la adecuación de la superficie de pastoreo para herbívoros domésticos o silvestres, la recuperación y mantenimiento de una población en situación crítica o de una determinada formación vegetal. Como es habitual en la gestión forestal los objetivos suelen ser múltiples y por ello se suelen buscar soluciones complejas y de compromiso entre las distintas metas.
- Economía: se debe hacer un estudio comparativo de los costes en los que se está incurriendo y de los beneficios que se están obteniendo. También se requiere llevar a cabo un contraste con la situación anterior al uso del fuego como herramienta reglada en el lugar con el fin de observar si hay alguna mejora en este sentido o no. Existen indicadores fáciles de medir, como la disminución de los costes de vigilancia y extinción o la capitalización de madera, pero los aspectos intangibles —mayoritarios en la naturaleza— son siempre complicados de valorar desde el punto de vista económico.
- Sociedad: la población debe comprender y asumir la aplicación del régimen de fuego sin grandes tensiones y dentro de un margen. Los extremos de las problemáticas sociales en este ámbito son, por un lado, poblaciones urbanas que tienen baja tolerancia al factor ecológico fuego y presionan fuertemente hacia políticas de exclusión total, y por otro determinados colec-

[14] De 2 a 4 años es un tiempo adecuado para la evaluación de las parcelas quemadas. Para estudios sobre extensiones a nivel de comarca es preciso unos periodos superiores, para observar el efecto sobre las dinámicas del paisaje y del régimen de renovaciones.

Fotografía 5.26. La ordenación de las quemas en una comarca a largo plazo provoca la progresión y cambios estructurales en la vegetación. Quema para la protección de una repoblación de árboles. Sopeña (Cantabria).

tivos rurales, como ganaderos extensivos de algunas comarcas, que demandan quemas, legales o ilegales, con tanta vehemencia que llegan a mantener grandes superficies de montes rasos de forma similar al sistema agrario tradicional. La población, asimismo, también tiene que ser objeto de acciones para aproximar su opinión o tolerancia al régimen de fuego admisible posible u objetivo.

Cabe reseñar la particularidad de los estudios faunísticos en las evaluaciones a largo plazo. Estos se realizan en caso de que se persigan objetivos relacionados con algún taxón animal o se tema un impacto negativo sobre alguna población sensible. Se pueden realizar en el nivel de parcela si las áreas de quema son extensas, del orden de centenas o miles de hectáreas, lo que no es habitual en la península ibérica. Lo normal es que se realicen observaciones a escalas amplias, monte o comarca, que incluyan rodales quemados y no quemados. Muchas especies de vertebrados utilizan el territorio de modo extenso y complejo, y los rodales quemados solo son otra tesela más de sus áreas de habitación, que emplean para una función vital o en una determinada época. Las comparativas de censos repetidos periódicamente en el área durante algunos meses o años, desde antes del inicio del uso del fuego, tienen valor técnico para constatar la evolución real de las poblaciones. Como ya se ha comentado, los animales más afectados negativamente por el fuego generalmente son terrestres de pequeño tamaño e invertebrados. No obstante, los efectos del fuego sobre estas poblaciones son pasajeros y algunos de ellos acostumbran a permanecer en período de reposo durante las quemas de invierno (Vega *et al.*, 2001), lo que minimiza los daños directos.

Fotografía 5.27. La fauna de pequeño tamaño suele ser la más afectada por el fuego. La elección de la época de quema limita el daño directo a estas poblaciones.

Tarentola mauritanica al sol.

Algimia de Almonacid (Castellón/Castelló).

La complejidad de la evaluación a largo plazo depende de la problemática del territorio, pero se recomienda hacer una selección de algunos indicadores sencillos de medir y comparar si es posible.

Para finalizar esta parte del libro, resulta necesario recordar que el fuego es un agente ecológico, por lo que siempre participará en la dinámica del monte de una forma u otra. Los incendios siempre existirán en los montes ibéricos. Sin embargo, su papel en la gestión es el de herramienta: un medio para lograr resultados y no un objetivo en sí mismo. No hay que perder esta perspectiva. Las quemas quedarán incorporadas indefinidamente en el elenco de intervenciones selvícolas para el manejo del territorio en algunos casos; en otros, el útil fuego se debe abandonar una vez logrados los objetivos de gestión.

Tabla 5.15. Algunas variables a medir para la evaluación de objetivos de manejo y efectos del fuego. (modificado de Van Wangendonk, 1982; citado en Vega *et al.*, 2001)

VARIABLES		PREFUEGO	QUEMA	POSFUEGO 1	POSFUEGO 2
Variables de la prescripción				corto plazo	medio y largo plazo
Combustibles	Carga	I	D		F
	Humedad	I			
	Combustible vivo	I		D	F
	Continuidad	D		D	F
Climáticas	Tª del aire	I	I		
	Humedad relativa	I	I		
	Velocidad del viento	I	I		
	Dirección del viento	I	I		
	Nubosidad	D	D		
	Precipitación	D	D	D	
Topografía	Pendiente	I			
	Orientación	I			
	Relieve	I			
Variables del fuego					
Velocidad de propagación			I		
Dirección de propagación			I		
Longitud de llama		I	I		
Altura de llama			I		
Inclinación de llama			I		
Altura de chamuscado en tronco				I	
Variables de efectos del fuego					
Vegetación	Biomasa	D			D
	Altura	I			I
	Cobertura	I		I	F
	Composición	F			F
	Mortalidad			F	F
	Reducción			I	
	Cambios en la estructura			I	I
	Cambios en la dominancia y en otros estratos: sucesión				I
Atmósfera	Dirección del fuego		D		
	Visibilidad		D		
Agua	Cambios químicos			D	D
	Turbided			D	D
Suelo	Reducción de hojarasca			I	
	% de suelo descubierto			I	I
	Erosión				I
	Cambios químicos			F	F
Fauna	Cambios en la vegetación				F
	Censos poblacionales				F
Económicos	Costes			I	
	Beneficios				I

I: variable imprescindible; D: variable deseable; F: variable imprescindible en función de los objetivos.

PARTE 2

ECOLOGÍA DEL FUEGO

Reacción del legado biológico en un quemado: rebrote de cepa de *Quercus pyrenaica* y germinación vigorosa de las herbáceas. Asturianos (Zamora).

No olvidemos, además, que siempre que se trate de buscar reglas y leyes aplicables a los fenómenos biológicos, se precisa una gran elasticidad y amplitud de criterio, pues cuanto más nos esforcemos en satisfacer nuestras ansias de reglamentación y de orden, tanto más nos alejaremos de la realidad, ya que la naturaleza es rebelde a fórmulas y a encasillados, y como obra divina tiene para nosotros, dentro de su armónica perfección, una enorme complejidad que es difícil encerrar en las concepciones artificiosas de los hombres.

Luis Ceballos. Los matorrales españoles y su significación (1945).

6 UN ESBOZO DE LA DINÁMICA DE LOS MONTES

La selvicultura es ecología aplicada. El manejo de los montes debe basarse en las dinámicas que rigen a los ecosistemas; por ello, conocer los principales procesos ecológicos es fundamental para el selvicultor que realice quemas u otro tipo de tratamientos.

Las distintas visiones de la ecología vegetal conducen a planteamientos filosóficos contrastados que pueden condicionar fuertemente a la gestión. Las ideas de Clements, recogidas inicialmente en *Plant succession* (1916), tuvieron una gran repercusión pública durante el siglo XX. Este autor defendía una visión de las asociaciones vegetales como un pseudo-organismo y de la sucesión vegetal como un proceso determinista basado en un cambio gradual, direccional y autoorganizado del ecosistema desde la colonización del terreno desnudo hasta llegar a una asociación madura y estable, la clímax, tras la cual no cabe esperar cambios. Parte de sus ideas fueron discutidas por otros ecólogos, como Gleason[15] (1926) (Terradas, 2001; Zavala, 2003), que expuso una visión de la dinámica forestal basada en los individuos y en las especies (hipótesis individualística) y que consideraba a las comunidades menos estructuradas de lo que Clements creía.

En el ámbito europeo y español, como en otras partes del mundo (Jardel, 2010), el enfoque clementsiano ha tenido una gran influencia durante muchas décadas. Así lo demuestra la interpretación maximalista de las tablas de regresión de Ceballos (1941) o la fitosociología sigmatista, que tiene una visión determinista de la sucesión y para la que el concepto de pseudo-organismo de la asociación vegetal es muchas veces una constante aunque basada en excesos en el uso de determinados lenguajes o en su interpretación (Terradas, 2001). Algunos trabajos de esta corriente, destacando el de Rivas Martínez (1987), han tenido una gran repercusión en el mundo forestal español.

[15] El ecólogo ruso Ramenskii también desarrolló independientemente ideas semejantes a las de Gleason en las primeras décadas del siglo pasado, pero fue totalmente desconocido en occidente hasta la publicación de los trabajos de Sobolev y Utekhin (1978), y Robotnov (1979) (Alcaraz, 2009).

Por su preponderancia durante décadas, la hipótesis climácica ha influido enormemente en el ideario ecologista actual. Las ideas basadas en el equilibrio tienen un enorme vigor y se han tratado de trasladar a la gestión y a la legislación impregnando totalmente a la bienintencionada Directiva de Hábitats de 1992 y su aplicación en España. Sin embargo, es una teoría incompleta y errónea en algunas de sus bases, aparte de discutida y no aceptada por toda la comunidad científico-técnica. Aun así, ha contribuido a un encorsetamiento del manejo del medio natural y a que en España triunfen las ideas de no gestión forestal en muchas regiones con todos los problemas que eso está acarreando.

Las ideas originales de Gleason, como las de Clements, no son totalmente correctas, pero permitieron un gran avance en la conceptualización de la dinámica vegetal. Pocos investigadores siguieron la línea de la hipótesis individualística durante décadas, pero un cambio de enfoque se produjo hacia 1980. En ese momento, los estudios de demografía de poblaciones empezaron a tener preponderancia entre los botánicos, lo que permitió a los ecólogos teóricos observar mejor las dinámicas de cambio dentro de los ecosistemas. Por otro lado, los avances en paleobotánica comenzaron a desbaratar la visión de que los montes son cuasi-organismos al constatarse rutas de migración distintas para especies que ahora forman comunidades (por ejemplo véase Carrión *et al.*, 2000).

Adicionalmente, se han producido grandes aportes en la comprensión de la naturaleza por parte de la ciencia física y de la información durante las últimas décadas. El desarrollo del área de conocimiento del caos y de los sistemas complejos y dinámicos ha significado un salto conceptual enorme que acerca a teorías con la realidad. El traslado de estas visiones a la ecología muestra que el determinismo climácico es un enfoque muy limitado para la comprensión real de la dinámica forestal.

Desde el punto de vista práctico, los avances de los últimos años han supuesto una gran oportunidad para la gestión forestal porque se ha producido un fuerte acercamiento de la teoría a la realidad. Además, se ha llegado a un alineamiento entre las observaciones de los ecólogos teóricos y los forestales (Terradas, 2005), ya que las aproximaciones a los individuos y a las poblaciones usuales en la ciencia forestal han quedado validadas y muchas técnicas de manejo selvícola están avaladas por un empirismo centenario.

Se ha considerado adecuado incluir este tema en el libro con el objeto de mostrar un marco ecológico que incluye al agente fuego y para promocionar las ideas más recientes frente a la fuerte raigambre del concepto de equilibrio en el ideario naturalista español actual.

6.1. DINÁMICA DE LOS MONTES

Un monte es un conjunto abierto y complejo de elementos relacionados entre sí (López, 2005), en grados distintos y con sinergias intrincadas. La dinámica de los montes es compleja y multiescalar, y depende de muchos determinantes que interaccionan de modo sinérgico o contrapuesto según las veces. Los procesos principales que determinan la evolución de los montes encierran una gran complejidad, pero son comprensibles. A continuación, se presenta una visión sucinta de los componentes fundamentales de la dinámica del monte ibérico como referencia del funcionamiento de los ecosistemas. Las ideas expuestas han sido tomadas esencialmente del trabajo de Froilán Sevilla, *Una teoría ecológica para los montes ibéricos* (2008), que está en la línea de los "estados múltiples" y del "desequilibrio" (Westoby *et al.*, 1989; Terradas, 2001; Zavala, 2004). Tratan de explicar la dinámica ecológica de los montes considerándolos sistemas complejos, abiertos y dinámicos, y superando el concepto de "clímax" y de equilibrio de los modelos deterministas simples, que se han mostrado inadecuados; sobre todo, ante el análisis de los procesos relacionados con el fuego (Bond y van Wilgen, 1996).

Algunos procesos y factores que determinan la dinámica de la vegetación se tratan de explicar por grupos o conceptos discretos, pero hay que considerar que todos están íntimamente relacionados entre sí, que actúan a la vez y que unos influyen sobre otros con asociaciones complejas.

6.1.1. EL MEDIO GEOCLIMÁTICO

El medio geoclimático, la estación o biotopo en otros lenguajes, es el complejo de factores abióticos que tienen efecto sobre los ecosistemas. Está compuesto principalmente por la influencia del clima, de los suelos y de la fisiografía; son aspectos muy conocidos y estudiados que condicionan a la vegetación.

6.1.1.1. El clima

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas habituales de una región que se repiten periódicamente dentro de unos límites durante varias décadas. El clima impone parte de las características del suelo en los montes, y eso facilita que haya cierta correspondencia entre el clima y la vegetación en regiones vastas. Existen correlaciones indirectas entre las variables climáticas y la vegetación (Aullé, 1990), ya que el clima interviene sobre los niveles tróficos superiores y en el régimen de incendios (Bond y van Wilgen, 1996), lo que se ha reflejado en distintos modelos de estudio.

Comúnmente se acepta que el clima es el principal determinante, aunque no el único, de la fisonomía, estructura y distribución de las formaciones vegetales a escalas continentales sobre la base del principio de convergencia evolutiva (Terradas, 2001; Zavala, 2004). No obstante, esta idea se ve condicionada por la conciencia de la importancia del caos y la estocasticidad[16] en los procesos biológicos; por ejemplo, en la evolución de las especies, en la dispersión de los propágulos y en el suceso y efecto de las perturbaciones.

La influencia del clima —y de otros factores del medio geoclimático— sobre la dinámica de la vegetación se ha considerado hegemónica durante mucho tiempo. En una visión más actual de la ecología, se asume que existen otros influentes esenciales en la dinámica vegetal y que la significación del clima sobre las forestas, aun siendo un aspecto importante e ineludible, debe ponderarse con el efecto de los otros factores y procesos para poder hacer una aproximación plausible a la realidad; principalmente, a escalas regionales o locales. No hay que olvidar, por otro lado, que el clima del planeta ha variado notablemente a lo largo de la historia (Acot, 2003; Uriarte, 2003), pero las cubiertas vegetales han experimentado pulsaciones de variación heterogéneas e independientes de las fluctuaciones y cambios del clima en muchas ocasiones (Ruiz de la Torre, 1990a). Este hecho ha llevado a los paleobotánicos a dudar de que el clima sea *el determinante primordial de los cambios de la vegetación observados en la escala de milenios* en el medio mediterráneo (Arroyo *et al.*, 2004), y está constatado que el cambio del clima o de otras características geoclimáticas en ocasiones no produce variaciones en la vegetación debido a la inercia biótica (Carrión *et al.*, 2000).

El clima es un sistema complejo que depende de factores astronómicos y telúricos, como la energía emitida por el sol, la órbita e inclinación terrestres, el impacto de otros cuerpos celestes, la dinámica de la atmósfera, la distribución y las características de las tierras emergidas y las masas de agua, y las actividades geológicas y biológicas (Martín, 1999). El clima modifica las relaciones entre los taxones del ecosistema indirectamente a través del cambio en las condiciones ambientales sobre las que influye y de las repercusiones que tiene sobre el régimen de renovaciones por fuego, viento, etc.; se puede considerar homogéneo en el nivel de bioma o región, aunque está modificado principalmente por la orografía y cubierta vegetal a una escala de detalle.

Fotografía 6.1. El clima es un factor que condiciona la dinámica de los montes en parte. La imagen mostrada, una zona atlántica montañosa, contrasta con otros paisajes ibéricos de carácter mediterráneo.

Elizondo (Navarra/Nafarroa).

[16] Los siguientes términos se usan en el sentido explicado por Sevilla (2008). Estocástico: proceso que se interpreta como azaroso. Caótico: proceso impredecible, pero que depende de la situación de partida del ecosistema, hay cierto nivel de susceptibilidad para que ocurra. Predecible: proceso determinista que se puede prever, porque depende de factores conocidos

Fotografía 6.2. Las cavas de nieve, base de una industria heladera desaparecida por el desarrollo tecnológico, se usaban hace menos de un siglo en las sierras del Levante cercanas al mar. Sorprende la ubicación de algunas de estas infraestructuras si no se conoce el contraste climático entre la Pequeña Edad de Hielo, que terminó en el ocaso del siglo XIX, y la actualidad. El clima ha fluctuado mucho, incluso en la historia, y esto ha influido a veces sobre los montes y el régimen de incendios.

Algimia de Almonacid (Castellón/Castelló).

Fotografía 6.3. El clima influye sobre los montes, pero no es la única fuerza que condiciona el estado actual de la vegetación ni su evolución.

Aun así, su impronta es marcada en algunos lugares. En la imagen se observa un cerro en cuyas orientaciones hay un contraste fuerte. Al norte aparece *Fagus sylvatica* bajo la influencia alpina directa de los Pirineos y al sur un rodal de boj (*Buxus sempervirens*) con cierto prebosque de *Pinus sylvestris*, expuesto a la aridez del valle del Ebro.

Yebra de Basa (Huesca).

6.1.1.2. Otros factores geoclimáticos

Los otros factores geoclimáticos principales son la fisiografía y el suelo.

La fisiografía es la conformación del paisaje topográfico. Determina la situación, la arquitectura, la altitud, la orientación y la pendiente del terreno. Estas, a su vez, condicionan la distribución de la radiación solar y la temperatura, en el balance hídrico y en el efecto de los vientos, entre otros aspectos. La fisiografía gradúa detalladamente al clima regional junto con la densidad y estructura de la cubierta vegetal e influye en cómo son los incendios de una región y en los procesos hidrológicos y geomorfológicos, como la erosión y el depósito de materiales, que participan en la formación de los suelos.

Fotografías 6.4. (arriba) y **6.5.** (abajo) Las características del suelo influyen sobre la vegetación y, por tanto, pueden tener efectos en el régimen de incendios. Esta relación es más visible en situaciones extremas de los suelos, tales como perfiles decapados o ricos en materia orgánica.

En la imagen superior se puede ver una zona en la que se extrajeron áridos y que está siendo colonizada por *Pinus nigra* sin más presencia de otra vegetación. La falta de continuidad de combustibles hace que la susceptibilidad al fuego sea realmente baja en el rodal.

Pinilla de Molina (Guadalajara).

La fotografía de abajo muestra unos pinos laricios (*Pinus nigra*) en fila, lo que se debe a que casi todo el suelo del rodal es rocoso. Los árboles han crecido espontáneamente en un pliegue calcáreo decapado donde únicamente en los espacios entre estratos existe la suficiente potencia edáfica para que puedan medrar con tamaños adultos. La dinámica geológica ha condicionado a la edáfica y, por ende, a la estructura de la vegetación.

Vistabella del Maestrat (Castellón/Castelló).

Fotografía 6.6. Frontal de vegetación leñosa en la costa. Aquí las brisas salitrosas son un factor de conformación de la vegetación. *Pinus halepensis* adultos deformados por los vientos que facilitan las necrosis. Por el mismo influjo, el compacto estrato de *Pistacea lentiscus* y *Smilax aspera* aparece en forma de cuña frente a las brisas marinas dominantes.

Devessa de El Saler, Valencia/València (Valencia/València).

Fotografía 6.7. Monte bajo de *Fagus sylvatica*. Los troncos de los árboles están torcidos por el empuje de las gruesas capas de nieve, que tienden a deslizarse ladera abajo.

La habitualidad del meteoro en el lugar y sus dinámicas una vez depositado en el suelo condicionan directamente a la vegetación.

Las Machorras (Burgos).

El suelo es un complejo que sirve como sustrato trófico y anclaje mecánico para las plantas aparte de ser un medio en el que viven otros organismos con los que los vegetales interaccionan íntimamente, como los animales excavadores. Sus características son heterogéneas en función de la naturaleza de la roca madre, estructura, textura, reacción, profundidad, etc.

Las distintas combinaciones de la diversidad fisiográfica y edáfica hacen que la variabilidad del medio geoclimático ibérico sea elevada, ya que hay diferencias en la disponibilidad de los recursos a escala espacial reducida (Zavala, 2004). Según Aullé (1990), la azonalidad es prácticamente general en la península ibérica puesto que los suelos y la topografía conforman una gama extensa de matizaciones ambientales, lo que facilita tener unos paisajes vegetales contrastados.

6.1.2. LOS EVENTOS RENOVADORES: LA MODIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN POR LA ACCIÓN DE PERTURBACIONES

Bajo una concepción cíclica, Terradas (2001) afirma que la dinámica vegetal tiene una fase constructiva de crecimiento y aumento de la biomasa y la complejidad. Además, posee otra fase destructiva de reinicio total o parcial del ciclo, de decadencia, simplificación y descapitalización biológica. Ambas son las caras del mismo ciclo ecológico, y el balance total del flujo de materia, en uno y otro sentido, debe ser equivalente a largo plazo. Sin embargo, la destrucción es temporalmente asimétrica frente a la construcción en muchos ecosistemas y puede ocurrir rápidamente. Las destrucciones casi instantáneas forman parte del funcionamiento de muchos montes.

Las perturbaciones, también llamadas eventos renovadores (Sevilla, 2008), son episodios discretos que alteran a los patrones espaciales y temporales de la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas. Se trata de un desbaratamiento rápido y más o menos profundo de la estructura y dinámica previas del monte de forma que se crean unas condiciones novedosas —de mayor disponibilidad de espacio vegetativo usualmente— que suelen cambiar al ecosistema y a su evolución.

El fuego, los daños causados por viento o nieve, las granizadas fuertes, los corrimientos de tierra, los aludes, las roturas de vegetación por la caída de árboles adultos, etc. son agentes renovadores. Algunas renovaciones pueden llegar a ser catastróficas por su intensidad y extensión, como las causadas por grandes incendios, huracanes, vulcanismo o terremotos. Otras son de origen biológico, como las debidas a la presión de los herbívoros o las mortandades extensas en bosques motivadas por plagas y enfermedades. Finalmente, también las hay antrópicas, como las roturaciones, la ganadería, el cambio de uso del terreno, la explotación forestal, la selvicultura, etc. Todos estos agentes influyen sobre la dinámica de los montes en aspectos, formas e intensidades heterogéneas. En cada caso, dependen de las particularidades del evento renovador y de la situación y características del ecosistema, y se ven asimismo influenciadas por las condiciones ambientales previas y posteriores al suceso.

Las renovaciones son totales o parciales. Las totales terminan completamente, o casi, con la vegetación viva y llevan a un reinicio de los procesos de colonización, desarrollo generacional y sucesión en el lugar. Algunas pueden llegar a cambiar rápida y drásticamente la naturaleza del suelo, tal es el caso de las erupciones volcánicas.

Fotografía 6.8. Otros elementos del monte, ya sean biológicos o abióticos, influyen sobre la vegetación. Estos sucesos forman parte de la dinámica del ecosistema hasta si lo hacen de forma "catastrófica".

Tal realidad ha estado siempre asumida en cierta forma desde el enfoque forestal, como muestra el hecho de que el suceso de renovaciones naturales y otras alteraciones han sido la causa que ha forzado el desarrollo de sistemas de ordenación cada vez más flexibles y realistas desde el siglo XIX. Por el contrario, no se comenzaron a considerar como normales en la corriente principal de la ciencia ecológica hasta hace dos o tres décadas.
Rodal de lenga (*Nothofagus pumilio*) muerto por la elevación de las aguas producida por la construcción de un dique por castores, que son un especie alóctona. Parque Nacional de Tierra del Fuego (Provincia de Tierra del Fuego, Argentina).

En los sucesos parciales permanece un legado biológico de individuos supervivientes, propágulos y restos orgánicos de la comunidad anterior a la renovación más o menos influyente. Las renovaciones parciales son un continuo de situaciones posibles según el espacio vegetativo liberado y las especies e individuos afectados por la perturbación, que pueden ser desde modificaciones fuertes —por ejemplo, una corta a hecho con reserva de árboles semilleros— hasta una granizada que simplemente malogre a parte de los individuos de un regenerado.

Ocasionalmente se dan relaciones complejas entre distintos agentes renovadores en un mismo lugar, ya que el suceso de un evento provoca un cambio en la susceptibilidad del monte a sufrir otro tipo de perturbación. De ese modo, es posible que eventos de distinta naturaleza se concatenen después de que una renovación incremente la susceptibilidad del monte a ser alterado por otro agente. Esto es común en el caso de ataques de plagas o patógenos sobre poblaciones arbóreas débiles por una renovación anterior.

Los episodios de renovación pueden caracterizarse en términos de distribución espacial, intensidad, frecuencia, período de retorno, período de rotación, severidad y sinergismo; en definitiva, ser definidos en forma de regímenes o eventos típicos.

Los eventos renovadores —heterogéneos según su naturaleza y cualidades— tienen un carácter estocástico o caótico en su ocurrencia, excepto los que son de naturaleza antrópica programada; por ejemplo, los ciclos de cortas o el pastoreo planificado.

En la dinámica forestal, las perturbaciones impactan directamente sobre la composición y estructura de las poblaciones del ecosistema. Esto modifica la heterogeneidad ambiental, las condiciones microclimáticas del sitio varían y el espacio disponible aumenta influyendo en las oportunidades de establecimiento, supervivencia y crecimiento de las especies e individuos (Valladares, 2003). En definitiva, son una fuerza sucesora que determina en buena medida la evolución del monte tras su acaecimiento (Tapias, 2006).

Considerar a las renovaciones como parte intrínseca de la dinámica vegetal supone un avance filosófico importante que rompe con paradigmas anteriores. La integración de estos procesos, antes considerados anómalos, en la explicación del funcionamiento de los montes y en la gestión es un acercamiento de alcance de la teoría a la realidad.

Fotografía 6.9. Las grandes mortandades de vegetación son relativamente habituales. La percepción convexa del tiempo del ser humano nos hace tener la perspectiva de que estos sucesos son extraordinarios (Sevilla, 2008).
Derribos intensos causados por nevadas en un bosque dominado por *Pinus halepensis*. Celrá/Celrà (Gerona/Girona).

Fotografías 6.10. (arriba), **6.11.** (abajo-izq.) y **6.12.** (abajo-der.). Las renovaciones extensas son habituales en algunos montes e incluso aparecen ocasionalmente en los ecosistemas que se desarrollan bajo climas estables y benignos para la vida vegetal, como los bosques tropicales húmedos.

Arriba y abajo-izq: Rodal de árboles adultos muertos por asfixia radical al depositarse en el suelo una colada de barro que ha alterado al perfil edáfico. Las lluvias abundantes y los procesos geomorfológicos del lugar han provocado la mortandad en este bosque amazónico.

Parque Nacional Madidi (Departamento de La Paz, Bolivia).

Abajo-der: Un caso similar al anterior. Un rodal arbolado que ha muerto por encharcamiento al cambiar la hidrología del bosque. En estas selvas africanas no se observan renovaciones naturales grupales de arbolado si no es por esta causa.

Punta Mbonda (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

6.1.3. RELACIONES MUTUALISTAS: LA VEGETACIÓN CONVIVIENDO CON ANIMALES Y MICROBIOS

Los montes no son solo vegetación. Las plantas conviven y se relacionan de forma íntima con otros organismos del ecosistema, y tales correspondencias suelen tener gran trascendencia en la dinámica vegetal. Las plantas están en la base de la cadena trófica al ser capaces de sintetizar material biológico a partir de elementos inorgánicos; por tanto, son constantemente depredadas o consumidas en algunas de sus partes por los heterótrofos, que no tienen otra forma de cumplir su ciclo vital.

Como ya se ha mencionado, la fitofagia es un tipo de renovación y una de las relaciones más conspicuas entre animales y plantas. Por ejemplo, los herbívoros influyen constantemente en la dinámica vegetal a modo de filtro disminuyendo o incluso eliminando a los efectivos poblacionales de los vegetales sobre los que tienen mayor preferencia de cuantos están a su alcance. Hay casos de procesos de depredación extensos sobre las cubiertas vegetales, como colapsos de bosques de coníferas por ataques masivos de perforadores floetógafos.

Por otra parte, algunas plantas se han dotado con mecanismos evolutivos para sacar algún partido del hecho de ser consumidas por otros organismos; es decir, han logrado establecer relaciones de mutualismo. En opinión de Terradas (2001), las correspondencias mutualistas son interesadas, no altruistas. En estas, los vegetales pagan con un bien o recurso a otros organismos por un servicio del que también sacan beneficio. De esta forma, algunos fitógafos hacen también una segunda función de filtrado de la vegetación —de forma positiva en este caso—: diseminan a los propágulos de las especies que consumen y poseen los mecanismos adecuados para ello; por tanto, hacen que estas poblaciones vegetales aumenten.

El mutualismo es trascendental, ya que los ecosistemas son una red de interdependencias entre distintos organismos y en diversos niveles. El mutualismo relaciona de manera compleja a la vegetación con otros organismos del monte y ayuda a algunas plantas a realizar funciones como la polinización, la diseminación, la defensa, la obtención de recursos y el reciclado de desechos; por otra parte, provee a los heterótrofos con recursos de modo que puedan vivir. Algunas de estas funciones son importantes en ciertos ecosistemas y otras no tanto, dependiendo de las características del monte en cuestión.

Así, la polinización por zoofilia es esencial en los bosques húmedos tropicales o en los matorrales mediterráneos, pero no para las especies dominantes de los pinares y robledales de regiones templadas, que la hacen mediante anemofilia.

Desde el punto de vista de la óptica forestal, muchos de estos procesos son difíciles de integrar en la gestión debido a su naturaleza caótica —y críptica en muchos casos—; al menos, con el nivel actual de comprensión y capacidad de manejo. Aun así, algunos de los procesos más visibles se han observado y gestionado tradicionalmente, como mediante el manejo de fitófagos silvestres o domésticos, cuando son objeto de aprovechamiento directo o de conservación o por los efectos negativos que puedan tener en zonas en regeneración. También se estudian y se tratan de manejar a otros organismos y sus relaciones con las plantas, como los que pueden producir enfermedades y plagas en los bosques, o los hongos que producen carpóforos de interés comercial. Y en última instancia, se trata asimismo de manejar al mayor depredador, pero también mutualista, de la naturaleza: el ser humano

6.1.4. EL SER HUMANO COMO PARTE ACTIVA EN LA DINÁMICA FORESTAL

En una visión moderna de la ecología coincidente con la tradición forestal europea, se considera al ser humano como parte intrínseca de la dinámica de los montes, ya que el hombre —individual o socialmente— es un agente ineludible en casi todos los ecosistemas terrestres. Considerar, o no, al ser humano como un integrante más de los montes es uno de los principales asuntos que han alejado entre sí a distintas visiones sobre el medio natural históricamente. Margalef (1989, citado por Alcanda, 2007) resolvió el conflicto lúcidamente: *Existe una básica oposición entre sucesión ecológica y explotación si el agente explotador se considera como foráneo al ecosistema estudiado. Tal sería el problema básico de la conservación... Se acepta generalmente que el hombre ha hallado un lugar apropiado dentro de la biología desde los tiempos de Darwin, pero yo temo que tal punto de vista no ha sido completamente asimilado en ecología...*

Según Gastó (2008), el género *Homo* surge como un organismo más de los montes con un comportamiento regulado por su biología e instintos. Con el tiempo, y debido a su peculiaridad cognitiva, el ser humano comenzó a desarrollar tecnología que permite a las sociedades relacionarse con el medio con una capacidad transforma-

Fotografía 6.13. Como entidad biológica, el ser humano apareció en los montes y siempre ha sido un elemento más de los ecosistemas terrestres.
Reunión de fustes con tracción de sangre. Alhama de Murcia (Murcia).

dora elevada. Las primeras herramientas fueron elementos vegetales, animales y líticos sencillos, y, ¿cómo no?, también el fuego.

El uso del fuego ha generado significativos y extensos cambios en los montes ibéricos desde hace medio millón de años al menos (Sevilla, 2008). Después, la agricultura llegó con la revolución neolítica dando lugar a artificializaciones radicales en amplias superficies (véase Carrión *et al*., 2012). Está aceptado que el sedentarismo agrario comenzó hace unos 5.000 años en la península ibérica (Carrión *et al*. 2000; Blanco, 2003), aunque el inicio de este período se va datando en tiempos más remotos a medida que las investigaciones aumentan y podría situarse hace unos 7.000 años en algunas áreas (Ezquerra, 2011). La dinámica de la transformación del territorio ha continuado en función de los avances tecnológicos, las tendencias socioeconómicas y la demografía humana hasta la situación actual. No hay que olvidar que las transformaciones en los ecosistemas siempre se han hecho bajo un enfoque antropocéntrico dependiendo de las necesidades y paradigmas del momento, desde la caza prehistórica para la supervivencia hasta la creación de reservas naturales estrictas en la actualidad (Brown, 2008). Las modificaciones antrópicas de los montes son tan arcaicas y continuadas que llegan a niveles evolutivos y de selección de especies (San Miguel *et al*., 2002; Gil, 2009a).

La influencia del ser humano sobre la naturaleza ha sido polifacética y azarosa, y el régimen de renovaciones es siempre el primer aspecto que se modifica (Sevilla, 1997). Mediante la alteración de dicho régimen, el hombre tiene un efecto dual en los montes:

- Por una parte, es un agente renovador dinámico mediante el uso del fuego, el pastoreo, los desbroces, el labrado de los suelos, etc.
- Por otra, constituye un factor estabilizador que evita o modula la ocurrencia de otros eventos a través de la fragmentación de los montes, la gestión forestal, los servicios de lucha contra el fuego, la caza, etc.; en definitiva, mediante el manejo de los ecosistemas y sus dinámicas.

La importancia de la historia previa del medio natural, o histéresis, en la determinación de la realidad actual de un monte y de su posible evolución no solo incumbe a los fenómenos naturales, sino que depende de los avatares humanos en gran medida; sobre todo, en lugares con una crónica de poblamiento larga y compleja, como es el caso de la península ibérica. Los montes tienen una *historia en la Historia* (Guerra, 2011). Es necesario integrar a ciencias humanísticas como la geografía, la sociología y la historia en el estudio del medio para poder entender las dinámicas ecológicas, porque los montes son sistemas históricos (García y García, 2007)[17]. Por ejemplo, comparar el problema de incendios actual entre las riberas norte y sur del mar Mediterráneo es una muestra clásica de la importancia de los aspectos sociales e históricos sobre las dinámicas de los ecosistemas.

[17] Véase Araque (1999), Araque *et al.* (2000) o Montiel (2013a) en referencia con la influencia y cambios de regímenes de incendios históricos en algunas regiones ibéricas.

Fotografías 6.14. (vista general) y **6.15.** (detalle de cepa de *Q. suber*). El manejo humano del territorio y de la vegetación ha sido y es esencial en la dinámica ecológica y un aspecto que debe estar siempre presente en los análisis.

Arbustedo de quercíneas en la campiña de la meseta norte actualmente dominado por *Quercus ilex*, pero con presencia de *Q. faginea*, *Q. suber* y algún rebrote de *Q. pyrenaica* además de *Pinus pinea*. La evolución del clima ha podido influir en la conformación del monte, pero el empuje de las transformaciones agrícolas del territorio y los regímenes de cortas leñeros en las islas de bosque —es decir, las perturbaciones humanas— han sido los responsables principales de la estructura y composición actuales de este ecosistema.

Donhierro (Segovia).

6.1.5. LA RELACIÓN ENTRE LOS VEGETALES

Las relaciones entre las poblaciones vegetales presentes en el ecosistema, junto con las de otros organismos, determinan la evolución del monte bajo el ambiente impuesto por el medio geoclimático y la influencia de los eventos renovadores.

6.1.5.1. Concurrencia

La concurrencia se refiere al conjunto de relaciones que se establecen entre los vegetales del ecosistema en un sentido amplio. Es un concepto que incluye a la competencia, pero también recoge todo el resto de las correspondencias asociadas a la proximidad entre las plantas, como protección, facilitación, simbiosis, etc. (Sevilla, 2008).

La concurrencia reúne a los procesos en los que las interrelaciones por el espacio, los recursos y la supervivencia en cada nicho ecológico del sistema en los niveles interespecífico e intraespecífico se fundamentan sobre la base del principio de la pugna por la perpetuación física y genética de los individuos y de las especies. Cada vegetal tiene una tolerancia[18] característica a la concurrencia que determina en cada monte las especies e individuos que van a poder desarrollarse en ausencia de eventos renovadores (Sevilla, 2008).

[18] El término "tolerancia" se usa en este libro en el sentido de grado de adaptación a la proximidad de otras plantas según lo considerado por Sevilla (2008). No se emplea en general como las capacidades de resistencia o resiliencia al agente fuego. Se hace referencia explícita cuando se aplique en este sentido: tolerancia al fuego.

Es fundamental comprender que estos procesos operan en los niveles de individuo y especie (Carrión *et al*., 2000; Zavala, 2004), y que en buena medida rigen a la sucesión (Bond y van Wilgen, 1996). La concurrencia actúa entre plantas vecinas y depende en gran parte de la autoecología de las especies, de las características intrínsecas de los individuos en liza y del medio geoclimático.

Fotografía 6.16. La concurrencia trata de definir a un conjunto amplio de relaciones entre las plantas debidas a la interacción por proximidad. Algunas de estas relaciones tienen efectos contrapuestos debido a los distintos atributos de las plantas que entran en liza.

En la imagen se ve una corona de espliego (*Lavandula latifolia*) en el borde inferior de la fronda de un enebro (*Juniperus communis*). Los organismos tienen tallas contrastadas, pertenecen a estratos diferentes. El crecimiento en diámetro de la copa del arbusto irá tapando y dejando sin luz a las sufruticosas, pero esa situación de borde, a pesar del desplazamiento físico, produce unas condiciones de habitación, quizá de mayor humedad por el sombreo, que facilitan la vida al espliego.

Layna (Soria).

Fotografías 6.17. (arriba) y **6.18.** (abajo). Las especies tolerantes son capaces de sobrevivir bajo dosel arbóreo cerrado. Gracias a esta habilidad, el arbolado tolerante puede acabar desplazando por competencia a las especies pioneras en muchas estaciones.

Arriba: Detalle de un estrato de juveniles de *Fagus sylvatica* que ha nacido a la sombra de un pinar de *Pinus sylvestris*.

Bóveda (Álava/Araba).

Abajo: Ladera en la que se observa un cambio en la sucesión, los *P. sylvestris* se van rarificando frente al *F. sylvatica*. De no mediar renovación intensa, el haya desplazará al pino. En el rodal también aparecen algunos *Abies alba*, que por su tolerancia competirán con el haya.

Yebra de Basa (Huesca).

Fotografía 6.19. En algunas estaciones hay cambios ambientales contrastados en espacios cercanos. La imagen muestra rodales entremezclados de *Quercus suber*, *Pinus pinaster* y canchales en un sitio en que la pendiente y los procesos geomorfológicos influyen decisivamente en las dinámicas vegetales.

Almedijar (Castellón/Castelló).

Zavala (2004) señala que si se considera que el resto de las variables son constantes (medio geoclimático y ausencia de renovaciones de importancia), el tipo y bondades de las habilidades ecológicas de concurrencia (facilitación, tolerancia, inhibición, tamaño, vigor, posición, etc.) que tiene cada especie y cada individuo determina las relaciones con las plantas vecinas. De ese modo, el resultado dinámico de la concurrencia se constata con un cambio en la estructura por el desarrollo de los individuos con mejores atributos de tolerancia a la situación y el ocaso de los menos adaptados, así como en la composición florística del rodal tras los sucesivos relevos generacionales debido al mayor o menor vigor demográfico de una u otra especie. Obviando el efecto de las renovaciones, el resultado de estas relaciones son las diferentes situaciones acerca de cómo el rodal puede quedar ocupado en el futuro; es decir, la sucesión vegetal.

En muchas ocasiones existen gradientes de concurrencia vegetal desiguales por la distribución irregular de las plantas y especies, densidades, tamaños, posiciones sociológicas, etc. Esta variabilidad espacial por la concurrencia se suma a la diversidad geoclimática de la estación, común en los medios ibéricos. Son heterogeneidades que se retroalimentan mutuamente y que, en ocasiones, suceden a pequeña escala (microtopografía, diferencias genotípicas o de tamaño entre individuos, etc.), lo que explica en cierta medida —aparte de la influencia de las renovaciones— la amenidad de estructuras y especies de muchos montes ibéricos (Zavala, 2004).

Fotografía 6.20. La regulación de la luz y la competencia entre las plantas son factores que afectan al crecimiento de los individuos y al desarrollo del rodal.

Monte bravo de *Pinus halepensis* regenerado tras un fuego. La densidad de individuos es elevada, los arboles aparecen ahilados y con una relación de copa viva muy baja. La competencia por el espacio y la luz es feroz.

Fuentes de Ayódar (Castellón/Castelló).

6.1.5.2. Estructura y significación de la vegetación dominante

La estructura, la composición y la funcionalidad son atributos básicos de los montes, cuyas dinámica y evolución están regidas por los procesos ecológicos. Si bien la caracterización y la observación del ecosistema pueden hacerse desde distintos enfoques, resalta la importancia de la estructura como propiedad. La forma en que los organismos se distribuyen en el espacio es la estructura del ecosistema, y constituye un atributo fundamental puesto que es, a la vez, consecuencia y regulador del funcionamiento del monte (Spies, 1998; citado en Sevilla, 2008).

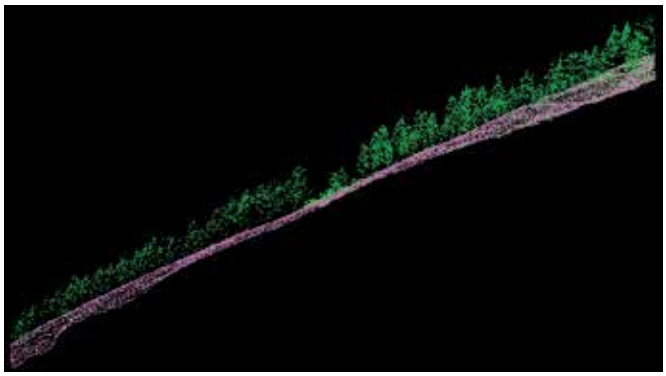


Figura 6.1. El estudio de la estructura vegetal para evaluar el estado del bosque y prever su dinámica es una de las bases clásicas de la ciencia forestal.

Los avances en teledetección están facilitando la obtención y manejo de cantidades ingentes de información detallada de los montes. Los principios de evaluación son los mismos que antes, aunque el estudio ahora puede ser más completo y cómodo.

Alzado LiDAR de un pinar canario (*Pinus canarensis*).
Breña Alta (La Palma).

La estructura de los montes es fácilmente observable, sirve para examinar la situación dinámica y prever hacia dónde se encamina el ecosistema y es una característica muy utilizada por la ciencia forestal. En este análisis, destaca la atención a las especies dominantes entendiendo por tales a los individuos más abundantes y de mayor porte de la unidad vegetal. La dinámica de cada monte se encuentra íntimamente relacionada con las características del tipo de organismo dominante (árboles, arbustos, matas o hierbas) y su situación estructural.

Las plantas dominantes generalmente son, o están en disposición de llegar a ser en un futuro cercano, los vegetales más longevos, de más talla, que acumulan la mayor parte de la biomasa y los que tienen un contacto más directo con el medio geoclimático, así como relaciones funcionales más relevantes con los demás organismos del sistema (Terradas, 2001). Al formar el dosel superior bajo el cual el resto de las plantas medra, imponen directamente unas u otras condiciones de concurrencia o habitación de modo que determinan significativamente el ritmo de los ciclos y procesos principales del conjunto. El efecto de la vegetación dominante se combina, en mayor o menor proporción según los casos, con la influencia de los sistemas superiores —por ejemplo, el régimen de renovaciones y el medio geoclimático— para conformar el ambiente del ecosistema.

Los montes no son solo vegetación dominante ni se pretende hacer un ejercicio de reduccionismo al destacar a estos organismos. Por supuesto, existen otros menos notables que realizan funciones importantes en los ecosistemas, como por ejemplo las bacterias y otros descomponedores, con tareas clave en el ciclo de los nutrientes. La significación de las plantas dominantes se debe a que sus diferentes situaciones permiten caracterizar, a modo de hitos, procesos fundamentales de la dinámica forestal tales como el crecimiento vegetal, el desarrollo generacional y sus relevos, y la sucesión en la dominancia. La ciencia forestal se ha fijado tradicionalmente en ellas porque son fácilmente observables. En efecto, sus formas de crecimiento y reproducción son conocidas con cierta profundidad, por lo que resultan útiles para comprender las dinámicas de los montes.

Fotografía 6.21. Al igual que la diversidad específica, la complejidad estructural es máxima en las pluvisilvas ecuatoriales. Los árboles dominantes llegan a ser enormes y hay multitud de juveniles con distintos grados de desarrollo que permanecen a la espera de que se abra un hueco en el dosel mientras que epifitas y trepadoras copan los nichos vitales en los diferentes estratos en altura. La bonanza extrema del clima y la ausencia de un régimen de renovaciones activo a escala grupal del arbolado, en el que no hay apenas derribos siquiera por viento, facilitan el desarrollo de estas portentosas arquitecturas boscosas.

Akora (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

6.1.5.3. Desarrollo y relevo generacional

Las plantas son organismos sésiles, por lo que no pueden regular la demografía de sus poblaciones mediante la movilidad como los animales. Todo su ciclo vital se desarrolla en el lugar en que germinan, lo que provoca que la competencia entre los vegetales de cada estrato se vaya incrementando según crecen y alcanzan tamaños mayores. Los recursos tróficos y el espacio pueden considerarse constantes en el tiempo y por unidad de terreno, pero las necesidades de cada individuo se incrementan a medida que se desarrollan, de forma que hay una lucha por sobrevivir que solo los mejor adaptados o situados superan y se produce una caída demográfica en las poblaciones vegetales densas con el incremento del tamaño medio de sus integrantes. La concurrencia entre individuos en densidades altas es el principal factor de aclareo de las poblaciones tras la influencia de los agentes renovadores, y está determinada por la capacidad de carga del medio para los individuos adultos (Whelan, 1995).

Las plantas germinan, se instalan con éxito, crecen, sobreviven, o no, a las distintas situaciones de competencia a las que se enfrentan, llegan a la madurez sexual, se reproducen y siguen creciendo, concurriendo y reproduciéndose casi hasta su ocaso a ritmos distintos según cada etapa vital y situación.

Desde la óptica forestal tradicional, los modelos de desarrollo generacional del arbolado dominante han sido las clases naturales de edad. Las categorías de diseminado, regenerado, monte bravo, latizal y fustal, con sus diferentes subdivisiones, sirven para explicar la manera en que la estructura de una generación se va presentando, prever cómo será el bosque en el futuro cercano y estimar la situación dinámica del ecosistema.

Fotografía 6.22. También es posible definir fases de desarrollo para los matorrales. Además, se observa que algunas especies de matorral pirófito tienden a desaparecer del monte al dejar de estar bajo el influjo del fuego.

Restos de un rodal de *Cistus laurifolius* muerto por senescencia. Su regeneración es escasa al haberse abandonado las quemas pastoriles hace tiempo.

Salas de los Infantes (Burgos).

Por su parte, Sevilla (2007 y 2008) propone unas fases de desarrollo generacionales que integran a las dinámicas del matorral y del sotobosque bajo cubierta arbolada en crecimiento más adaptadas a la realidad ibérica que las propuestas por Oliver y Larson (1990) para los bosques de América del Norte. Este autor explica la significación pormenorizada de cada fase, lo que permite una magnífica conceptualización de los procesos dinámicos que ocurren asociados al ciclo vital del arbolado. El desarrollo del rodal queda explicado con hitos como la ocupación del espacio vegetativo, el cierre del dosel arbóreo, la expulsión del sotobosque intolerante por la elevada concurrencia, la recuperación del sotobosque, ya tolerante, la coronación del crecimiento de los árboles del dosel superior, el decaimiento vital, la apertura del dosel y el relevo por otra generación de arbolado dominante. Estos procesos presentan variaciones en función de la situación de partida, como el caso de montes rasos que se arbolan lentamente, bosques que habitualmente presentan espesuras defectivas por diferentes motivos o que sufren renovaciones parciales a pequeña escala de modo que forman estructuras irregulares.

Los procesos generacionales también tienen lugar en los montes dominados por otras formas estructurales —matorrales o herbáceas— y se pueden definir en fases de acuerdo con su crecimiento y ciclo vital. Por ejemplo, Watt (1947) determinó las fases de los callunares (*Calluna vulgaris*) como pionera, crecimiento, madurez y degeneración.

Las fases de desarrollo son parte de la sucesión vegetal. El cambio efectivo de especies en el estrato dominante se suele dar en los momentos de senescencia de la generación anterior o por liberación de espacio gracias a una renovación.

6.1.5.4. Dispersión y colonización: llegada y asentamiento de nuevas especies

Cada monte es diferente según su composición específica y el peso proporcional de cada población en el conjunto. Para que una especie participe en la conformación de un determinado ecosistema, debe haber llegado a él e instalarse con éxito después. Esto puede ocurrir con abundancias variables, desde presencias marginales hasta dominantes con el transcurrir de la sucesión. Una estación puede ser adecuada para un taxón, pero obviamente no participará en la dinámica del ecosistema si no lo ha alcanzado o se extinguió anteriormente en esa localización.

Fotografía 6.23. El hombre es un vector activo en la colonización vegetal a grandes distancias.

El rodal de la imagen es un vigoroso bosque de *Sequoia sempervirens* procedente de repoblación. Si bien los árboles medran bajo unas condiciones geoclimáticas similares a aquellas en que las poblaciones naturales de esta especie habitan en América del Norte, la creación de este ecosistema ha sido fruto de una acción decidida del ser humano.

Monte de Las Navas, Cabezón de la Sal (Cantabria).

Desde la perspectiva del monte receptor, la llegada de nuevos taxones modifica la naturaleza de este. Las variaciones en el ecosistema son proporcionales a la alteración de las relaciones interespecíficas provocadas por la suma de la población recién llegada a las nativas. Los atributos vitales del taxón colonizador, el tamaño de la población que se establezca y el lugar que ocupe en la estructura y en la dinámica vegetal, así como las características iniciales del ecosistema, regularán el alcance del cambio.

La dispersión y la colonización son procesos caóticos por los que los vegetales "se mueven" de unos sitios a otros y logran establecer nuevas poblaciones. Ocurren a diversas escalas espaciales y temporales, y están influidos por los comportamientos de los vectores de propagación y las barreras biogeográficas. Los ejemplos extremos pueden ser:

- Escalas amplias: desde continentes hasta paisajes. Los "movimientos" de los vegetales en este nivel son lentos usualmente incluso llegando a ritmos geológicos como los debidos a la deriva continental. También existen dispersiones que ocurren a ritmos ecológicos largos, como los de algunas plantas que se apoyaron en saltos espaciales parciales realizados desde poblaciones intermedias para alcanzar sus habitaciones actuales y ocasionalmente necesitaron que estas llegaran a la madurez sexual para el siguiente paso. Sin embargo, estos "desplazamientos" han sido rápidos y a largas distancias a veces, como los debidos al transporte por algunos vectores animales. Aún no se tiene un conocimiento detallado de los procesos de viaje de propágulos a largas distancias, pero el hecho es que hay especies con estrategias de dispersión contrastadas distribuidas en zonas extensas y con poblaciones disyuntas alejadas. La antropocoria es un fenómeno significativo a esta escala; sobre todo, durante los últimos siglos y en todo el mundo.
- Escala de detalle: desde paisaje a rodal. Son procesos que ocurren localmente en ocasiones regidos por dinámicas metapoblacionales. La zoocoria, anemocoria e hidrocoria, así como el hombre, rigen la entrada de especies de la región en montes o rodales en los que antes no estaban presentes.

El resultado de la dispersión y la colonización depende de la intensidad, ritmo y momento de la llegada de los propágulos; de la adecuación de la estación para la nueva especie; del éxito de la germinación y el establecimiento, y de las relaciones de concurrencia entre las poblaciones vegetales que sucedan en el rodal desde la llegada de la nueva población y la acción de otros integrantes del eco-

sistema, como los animales que permitan la instalación efectiva de la nueva población. En definitiva, depende de los factores y dinámicas del rodal que faciliten o entorpezcan la llegada y establecimiento de los organismos colonizadores. Salvo en el caso de plantas tolerantes, el establecimiento usualmente efectivo de nuevas especies en escenarios vegetales a escala detallada suele estar relacionado con un proceso de senescencia del dosel superior o, más frecuentemente, es consecuencia de algún evento renovador de mayor o menor intensidad que libere a parte del espacio vegetativo y cree las condiciones adecuadas para que la especie nueva prospere. El proceso de conquista depende en última instancia del éxito del reclutamiento del taxón recién llegado y de sus posibilidades de conseguir mayor o menor presencia en el ecosistema.

Fotografía 6.24. Hay poblaciones disyuntas y reducidas de muchas especies, y algunas aparecen alejadas de sus actuales estaciones óptimas. Los procesos exactos que hicieron llegar a estos taxones a esas habitaciones son una incógnita. Los movimientos de los organismos inducidos por las alteraciones climáticas, como las *recientes* pulsaciones glaciares e interglaciares, la resistencia e inercia biótica de algunas poblaciones a los cambios ambientales posteriores y las fuertes alteraciones antrópicas del territorio en los últimos milenios podrían explicar la existencia de muchas poblaciones relictas.

Un ejemplar de *Pinus sylvestris* en los arenales de la meseta norte. Pertenece a una población actual de 36 individuos, resto de un pinar más extenso ya citado en documentos del siglo XVI (Gil, 2008). Los estudios palinológicos realizados no muy lejos de allí, como el de Almenara de Adaja (a 14 km de distancia del rodal), demuestran cierta presencia de esta especie en la comarca durante los milenios pasados (López, 2012).

Coca (Segovia).

6.1.5.5. La sucesión vegetal

La sucesión vegetal es el proceso por el que una comunidad sustituye a otra en el ecosistema. Generalmente, su estudio se centra más en la vegetación dominante por su mayor visibilidad y repercusión en la dinámica. Depende en gran parte del suceso de renovaciones, de la concurrencia y de la presencia efectiva de unas u otras especies en el lugar, aspectos que se ven influidos por la historia previa y de manejo humano del monte.

Sevilla (2008) señala que la vegetación dominante puede pasar, en uno u otro sentido, por las etapas teóricas de suelo desnudo, herbáceas, matorrales, inicio de la arborización o prebosque, bosque de especies intolerantes a la concurrencia, bosque de especies semitolerantes y bosque de especies tolerantes, aunque los saltos de unos estadios a otros son normales.

De forma simple, se puede aseverar que la sucesión vegetal —en ausencia de eventos renovadores de importancia— avanza de tal modo que las especies de mayor talla y tolerancia a la concurrencia, así como vida más larga, acceden a la dominancia. Esto se debe a la mejora de las condiciones ambientales locales que las poblaciones precedentes llevan a cabo permitiendo el desarrollo de especies cada vez más competitivas y menos pioneras que, a su vez, impiden la regeneración de las especies intolerantes. El avance de la sucesión hacia estadios más tolerantes hace que la dinámica del ecosistema dependa en mayor medida de sus factores internos y que sea cada vez más independiente, hasta cierto punto, de las condiciones geoclimáticas que la envuelven. Por el contrario, la influencia de la estación es intensa en espacios descubiertos.

El medio geoclimático tiene su peso en la velocidad de la sucesión, y esta es más rápida en las estaciones de mayor productividad al igual que ocurre con el crecimiento vegetal. Asimismo, condiciones ambientales adversas imponen un límite a la evolución hacia una mayor tolerancia que no puede ser traspasado por algunos taxones

Fotografía 6.25. La sucesión vegetal avanza regida por la concurrencia en ausencia de renovaciones importantes. En general, especies cada vez más tolerantes de las que aparecen en el elenco de taxones del lugar van convirtiéndose en dominantes.

En la imagen se observa un rodal en el que coexisten y pugnan *Pinus pinaster*, *P. sylvestris*, *Quercus* ilex, *Q. faginea*, *Acer camprestre* y *Fagus sylvatica* sobre un sotobosque espeso de *Buxus sempervirens*. El ambiente actual favorece a las especies más umbrófilas.

Cillaperlata (Burgos).

o, de hacerlo, sería tras períodos dilatados de estabilidad ambiental que superan el tiempo de retorno de una renovación reseñable en esa área (Sevilla, 2008). Las renovaciones de cierta magnitud conducen a estadios más intolerantes al abrir los doseles vegetales y liberar espacio vegetativo, lo que favorece a especies más heliófilas y pioneras.

El efecto del aumento de la dureza geoclimática sobre la sucesión —un cambio climático, por ejemplo— parece tener un patrón de funcionamiento tipo umbral: usualmente se observa que un empeoramiento de las condiciones ambientales para la vida vegetal no logra desplazar a la sucesión hacia una mayor intolerancia por sí solo a no ser que ocurra durante períodos dilatadísimos. Parece que, además, se necesita el efecto sinérgico de las renovaciones para vencer la inercia del ecosistema, que a veces es grande. Los paleobotánicos han constatado que puede haber retardos de varias generaciones arbóreas en la sucesión incluso con cambios ambientales importantes hacia una mayor exigencia ambiental (Carrión *et al*., 2000; Arroyo *et al*., 2004).

Según Zavala (2004), las situaciones básicas que se dan en la sucesión únicamente considerando la concurrencia entre los vegetales son:

- Coexistencia: ocurre cuando dos (o varias) especies cohabitan y un taxón no puede expulsar al otro, pues sus habilidades de concurrencia son semejantes en esas circunstancias. La situación es de invasión recíproca, de un equilibrio dinámico poblacionalmente más o menos desplazado a favor de una u otra, pero que no permite la imposición absoluta a no ser que las condiciones ambientales cambien drásticamente (aporte hídrico, luminosidad, etc.).
- Efecto fundador: esta situación se da cuando el taxón (o taxones) que trata de acceder es, en igualdad de condiciones, más competitiva en esa estación, pero la especie dominante del rodal tiene una posición de privilegio en la ocupación por haber llegado antes al sitio (posición sociológica, inhibición química, etc.). La población dominante dificulta la instalación o desarrollo de juveniles viables de la especie pretendiente; al menos, con demografías abundantes. El resultado es una sucesión "detenida" durante un tiempo hasta que las condiciones cambien y las circunstancias sean otras.
- Exclusión competitiva: sucede cuando uno de los taxones puede desalojar al otro (u otros) porque medra mejor en esas condiciones. Suele ser un proceso lento, pero lleva al desplazamiento o hasta a la extinción de la población inicialmente dominante en el rodal.

Fuerzas de concurrencia encontradas que conduzcan a la sucesión en uno u otro sentido pueden estar actuando en un mismo rodal. El resultado final de la sucesión será determinado por la ponderación de dichas fuerzas sobre las poblaciones presentes en el monte, aparte de la influencia de las renovaciones y los cambios ambientales contrastados que pueden forzar caminos sucesionales distintos. Como ya se ha indicado, la senescencia y la decrepitud de la generación dominante dan generalmente oportunidades a las especies que pretenden acceder a la dominancia aprovechando el cambio generacional.

El concepto sucesión ha cambiado. La vegetación se sucede siguiendo una estructura compleja y no necesariamente repetitiva ni predeterminada, ya que las alteraciones ambientales, las renovaciones y la desaparición o la llegada de especies nuevas son parte intrínseca del sistema. La sucesión no avanza linealmente por una sola vía a modo de las series de vegetación, que son grandes simplificaciones (Ruiz de la Torre, 1990a), sino más bien en esquemas complejos tipo malla en los que varias vías entrelazadas y situaciones estacionarias son posibles en función de numerosos y heterogéneos factores y agentes que determinan la dinámica vegetal. Sevilla (2008) expone que raramente los caminos de "ida" en la sucesión son los mismos que los de "vuelta". Así, pare-

ce que *todo puede suceder a todo* (Carrión *et al.*, 2000), aunque hay situaciones prácticamente improbables sobre la base de principios de imposibilidad (Sevilla, 2013). Mientras, los saltos entre las etapas teóricas son normales (Ruiz de la Torre, 1990a). La idea de "desequilibrio" en la sucesión expresa que el monte está persistentemente "desajustado", pues se encuentra bajo determinantes diferenciales que se manifiestan con el paso del tiempo como el crecimiento, la concurrencia, las colonizaciones o las extinciones, la decrepitud o las renovaciones, que le empujan permanentemente a cambiar de una situación a otra. El equilibrio de la visión clementsiana es un mero espejismo momentáneo. Los montes son entes vivos, no se detienen y el cambio en ellos es la norma. La clímax como paradigma desaparece, aunque siempre se había observado como una simple ilusión desde el enfoque forestal (Ruiz de la Torre, 1990a).

Fotografías 6.26. (arriba) y **6.27.** (abajo). Las sucesiones posibles en un rodal son múltiples en función de la presencia o llegada de propágulos de diferentes taxones, de las relaciones que se den entre los individuos y especies, del suceso de renovaciones y del manejo humano, entre otros factores. Dos regenerados diferentes se están desarrollando en rodales vecinos del monte Llano de San Marugán bajo el dosel de *Pinus pinea*. En un caso, de *Quercus faginea* (arriba); en el otro, de *Juniperus thurifera* (abajo).

Antes de su declaración como Monte de Utilidad Pública, el lugar debía de estar formado por un mosaico de rodales de arbolado con cultivos, como atestiguan los vestigios de ribazos presentes en algunas zonas. La gestión condujo al dominio del bosque en forma de pinar regular. El manejo forestal se enfoca ahora hacia una formación estructural y florísticamente más diversa. No obstante, el pino seguirá siendo fundamental porque produce piñones, producto estratégico en la socioeconomía del bosque y de la comarca.

Portillo (Valladolid).

6.2. UN CAMBIO DE PARADIGMAS

6.2.1. EL MONTE COMO SISTEMA COMPLEJO Y ABIERTO CON UNA DINÁMICA CAÓTICA

Siguiendo el pensamiento de Prigogine (1997), la ciencia ha desarrollado tres formas de aproximarse a la realidad: la determinista, que es válida para aproximarse a sistemas y procesos sencillos; la relativa o probabilística, que sirve para parametrizar a sistemas compuestos por elementos homogéneos pero no interrelacionados o relacionados linealmente; y la de los sistemas complejos y el caos, que permite conceptualizar casi toda la realidad, la de los sistemas formados por muchos elementos heterogéneos interrelacionados con comportamientos no lineales que tienen características emergentes propias de "máquinas no triviales" según la terminología de Morin (2006).

El cuerpo de conocimiento de los sistemas complejos y de las dinámicas caóticas se basa en la comprensión y asentamiento de determinadas ideas; entre otras, estas son:

- Los sistemas están compuestos por multitud de elementos distintos que interaccionan entre sí mediante procesos muy variados.
- Los sistemas tienen una organización multiescalar. Hay interacciones en los distintos niveles de organización, y características o procesos emergentes se generan debidos a la complejidad.
- Los límites de los sistemas reales son borrosos o indefinidos.
- Los sistemas reales son abiertos: están expuestos a la influencia de otros sistemas con los que se relacionan.
- Los sistemas reales son dinámicos; es decir, evolucionan y cambian. Son sensibles a los cambios de sus influyentes y responden a estos en función de su flexibilidad, siendo normales las fluctuaciones y la inestabilidad.
- La dinámica caótica se caracteriza por la existencia de procesos de retroalimentación a escalas temporales y espaciales diversas que inducen estabilidad o desequilibrio según sus características y el momento en que ocurren sobre los sistemas complejos.
- Muchos de los sistemas reales tienden al desequilibrio, pero también suelen tener capacidad de adaptarse y reajustarse a la nueva situación. Algunos, incluso, pueden reorganizarse notablemente tras un cambio profundo.
- Casi todos los sistemas reales son históricos. Muchos de los procesos son irreversibles y ocurren siguiendo la dirección de la "flecha del tiempo".
- Los sistemas complejos son sensibles a las condiciones de partida: pequeñas variaciones iniciales pueden inducir cambios coherentes de gran alcance en el futuro.
- Debido a su sensibilidad, situación de partida y cambios de sus influyentes, los sistemas complejos pueden alcanzar, desde un momento dado, situaciones distintas en el futuro (estados múltiples).
- La dinámica caótica incluye el suceso de perturbaciones sobre los sistemas complejos, siendo algunas radicalmente trascendentales en la evolución de los sistemas.
- Predecir el comportamiento de un sistema complejo es difícil, porque está bajo la concurrencia de muchos factores que siguen relaciones no lineales. Los procesos que los rigen se pueden clasificar en deterministas, caóticos o estocásticos en función de la información disponible y la capacidad para interpretarla y manejarla. Los pronósticos sobre estos sistemas tienen un margen de incertidumbre más o menos amplio en no pocas ocasiones.

Fotografía 6.28. El fluir de la realidad es complejo. La evolución de los sucesos y actuaciones sobre el medio sigue una dinámica caótica que es lógica, pero muchas veces inesperada.

En la imagen se observa una cantera de arena abandonada y con el tiempo convertida en un interesante ecosistema lagunar habitado por avifauna e ictiofauna que no estaba presente en el lugar antes de la explotación de los áridos.

Las Vesgas (Burgos).

Sevilla (2008 y 2013) afirma que el funcionamiento de los montes encaja bien con la teoría de los sistemas complejos y del caos, ya que:

- Son sistemas compuestos por gran cantidad de elementos heterogéneos.
- Son sistemas abiertos con intercambio con otros medios y que dependen de otros sistemas considerados caóticos, como el clima o las sociedades humanas.
- Poseen interrelaciones variadas entre sus componentes, las cuales cambian en el tiempo y en el espacio.
- Son medios heterogéneos en todas las escalas.
- Son sistemas históricos están sujetos a que una pequeña alteración en un momento determinado pueda producir cambios irreversibles y trascendentales algún tiempo después.
- Tienen propiedades que solo son perceptibles a determinadas escalas.
- Poseen relaciones temporales no lineales.
- Cuentan con mecanismos de retroalimentación.
- Tienen propiedades fractales.
- Etcétera.

Si bien la forma compleja de interpretar la realidad lleva desarrollándose por parte de científicos de distintas disciplinas desde hace más de medio siglo, su utilización práctica no está extendida. Los estudiosos del tema achacan esto a ciertas limitaciones del pensamiento occidental y a que la mayoría de los sistemas naturales aún no se pueden parametrizar matemáticamente de forma satisfactoria, lo que resta credibilidad a este enfoque novedoso en determinados ámbitos que se resisten a desbordar el pensamiento determinista. Actualmente solo es posible hacer proyecciones computacionales de algunos sistemas con una validez limitada (Sancho, 2013a) , aunque es esperable un fuerte avance en su modelización a través del uso de la tecnología de "datos masivos". El pensamiento complejo supone un salto conceptual muy significativo y empieza a ser objeto de consideración en ámbitos forestales internacionales (véase Puettmann *et al*., 2008 y 2013). Este enfoque tiene que emplearse para el estudio de la ecología y de la dinámica forestal porque, de momento, es el único que nos permite aproximarnos a una realidad tan compleja como es la naturaleza. En este sentido, no se debe perder de vista la advertencia de Morin (2006): *Un conocimiento que es capaz de conceptualizar los hechos es más importante que un saber sofisticado incapaz de hacer la contextualización.*

Fotografía 6.29. La naturaleza es flexible y adaptable. La visión expuesta de la dinámica forestal explica no pocas variaciones reales de los montes y muestra la capacidad de cambio y reorganización de los ecosistemas.
Muchos montes holárticos se desarrollaron sobre terrenos desnudos y erosionados tras la retirada de los hielos glaciares, proceso que se ha repetido varias veces en extensiones enormes. La última glaciación terminó hace 12.500 años, poco tiempo desde el punto de vista geológico. Aun así, los bosques se extendieron en períodos relativamente cortos en función de la productividad del medio, la disponibilidad de fuentes de propágulos y la ausencia de renovaciones de alcance durante un tiempo. El avance y sofisticación estructural y florística del bosque ha ocurrido en muchos lugares en pocas décadas. Así sucede en muchos montes ibéricos desde hace cinco o seis decenios, desde el fin del sistema agrario tradicional, que provocó el abandono de pastaderos y tierras de cultivo marginales en la cornisa cantábrica y en sierras interiores.
Esta dinámica también ha ocurrido en otros lugares y épocas. Por ejemplo, bastantes selvas del sur de México se han asimilado a *bosques primarios* por algunos autores (por ejemplo véase Liendo, 2011), pero ocupan terrenos que fueron deforestados, probablemente transformados en campos de cultivo, en la época de esplendor de la civilización maya (Oglesby *et al*., 2010).
Imagen: Una profusa selva cubre buena parte de las ruinas de una ciudad maya abandonada hacia el año 800 d.C. El bosque recuperó todos los terrenos disponibles, inclusive el centro urbano, ante el abandono de las actividades humanas y ayudado por un benigno clima tropical. Palenque (Estado de Chiapas, México).

Fotografía 6.30. Algunos cambios dinámicos pasan fácilmente desapercibidos. En la imagen se ve un rodal de *Quercus pyrenaica* con un subpiso de *Q. petraea*. Al regenerado de roble se le observa ya brotado y aprovechando el retraso en la germinación de los rebollos para sacar ventaja en el ritmo de crecimiento durante unas semanas. El cambio del régimen de renovaciones con una disminución de los fuegos y unas cortas menos intensas, no motivadas ahora por una acuciante necesidad de leñas o carbón, está facilitando un posible cambio en la dominancia. Es de esperar que el roble termine desplazando al rebollo en esta estación.

Espinosa de los Monteros (Burgos).

6.2.2. UN ENFOQUE NUEVO PARA LA DINÁMICA FORESTAL

Las ideas mostradas en los epígrafes anteriores explican muchos de los procesos de cambio y evolución de los montes; fundamentalmente, en medios inestables como los ibéricos. Actualmente se acepta que los montes son sistemas dinámicos cuya estructura y composición están determinadas por la interacción de diversos influyentes, como la concurrencia, el crecimiento vegetal, las fluctuaciones geoclimáticas, el efecto de las renovaciones, la relaciones de las plantas con otros organismos del ecosistema, las colonizaciones, la historia previa, los relevos generacionales y la sucesión.

La vegetación se encuentra en un "desequilibrio" constante y dinámico que conduce a los diferentes "estados múltiples" en que los montes se pueden presentar. Los procesos más significativos de la dinámica ecológica son caóticos y estocásticos, no predecibles; al menos, en el nivel de comprensión y manejo actual. Parece que la dinámica vegetal puede ser conceptualizada como un sistema complejo debido a lo enmarañado de las relaciones de sus componentes y su realidad multiescalar. La interacción de la heterogeneidad del medio, las fluctuaciones ambientales, los eventos renovadores y otros procesos aumentan exponencialmente las posibles evoluciones de los montes, y las actividades humanas, irreversibles, ineludibles y sostenidas durante milenios en buena parte de las tierras emergidas contribuyen a un

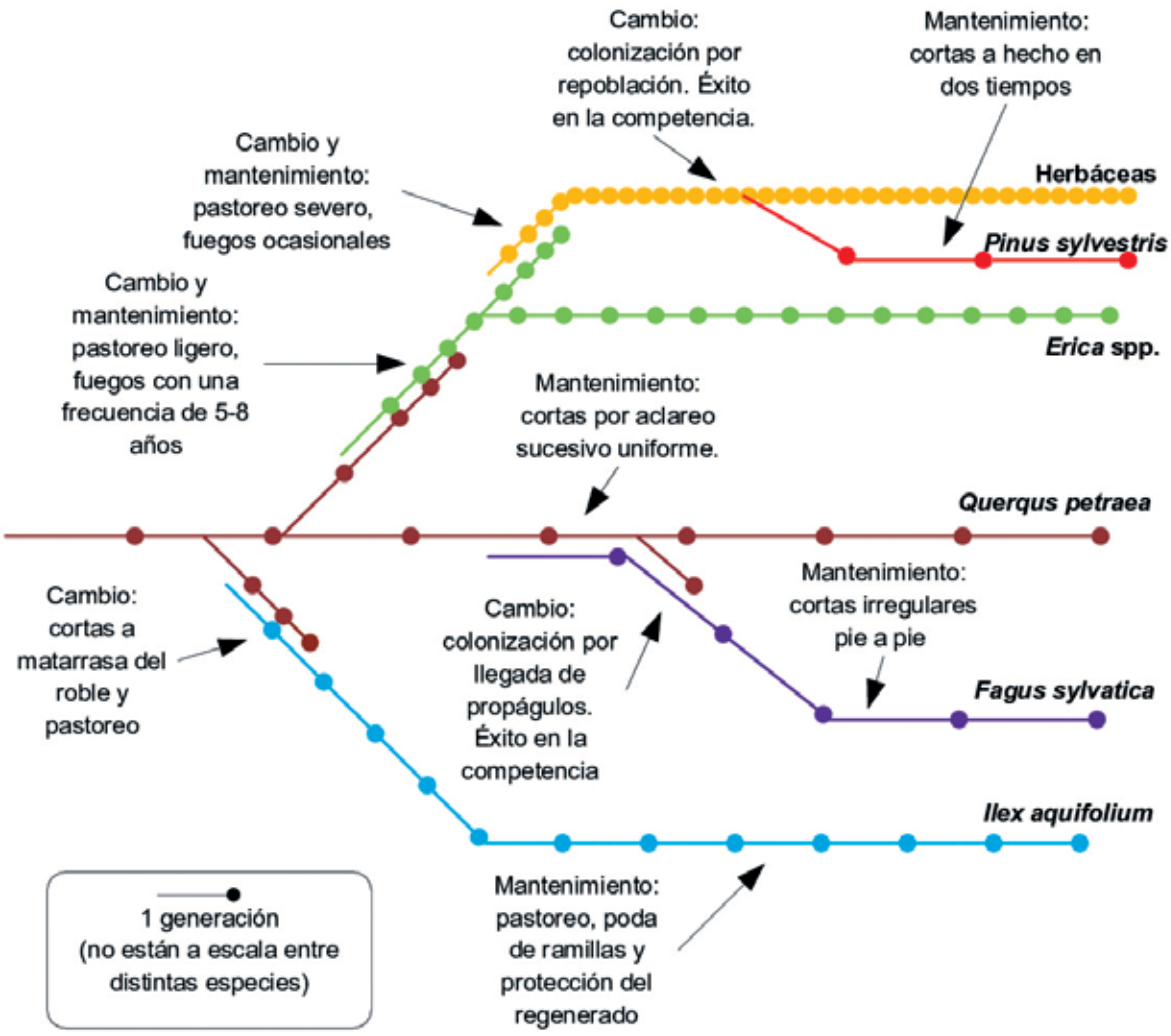


Figura 6.2. Croquis ilustrativo de algunos de los posibles estados múltiples que un monte cantábrico puede tener durante el transcurso del tiempo desde un momento dado. Se señalan eventos renovadores y otros sucesos (colonizaciones, concurrencia, etc.) que producen los cambios en la sucesión de la vegetación dominante poniendo énfasis en el manejo humano.

"desorden" aún mayor. Todo esto ayuda a conformar un tapiz vegetal a veces complejo y cambiante. Las dinámicas de colonización, la germinación y el establecimiento efectivo de las plántulas, la concurrencia y la tolerancia diferencial a las condiciones ambientales y renovaciones son, entre otros, los procesos que explican la dominancia, sustitución o alternancia de unas especies vegetales por otras (Zavala, 2004).

Los procesos que rigen la sucesión a escala de rodal ocurren a nivel de individuo y especie, fenómeno que se aprecia bien desde el estudio demográfico de cada población. La dinámica del rodal o monte puede determinarse observando las interacciones de las poblaciones que lo componen, pero considerando también los atributos de la comunidad, como la estructura, dominancia, diversidad, etc. No hay que plantear una dicotomía entre especies y ecosistemas en una adecuada aproximación a los montes, ya que los enfoques holistas y reduccionistas son vías complementarias (Whelan, 1995; Sevilla, 2008) y es necesario mantener observaciones en distintos niveles para captar las propiedades emergentes en sistemas multiescalares (Terradas, 2001).

Desde el punto de vista presentado, las predicciones sobre la evolución de los ecosistemas están sujetas a cierto nivel de incertidumbre debido a la interacción de procesos estocásticos, caóticos y deterministas, pero las modelizaciones reduccionistas permiten concebir distintos escenarios hipotéticos válidos para ser usados en el manejo (Terradas, 2005). Bajo principios de imposibilidad, estas proyecciones ayudan a desechar aquellas rutas por las que el monte no evolucionará, lo cual es determinante para tomar decisiones de gestión.

Tabla 6.1. Avances recientes en el estudio de las comunidades vegetales (modificado de Zavala, 2004).

Planteamientos botánicos tradicionales	Planteamientos ecológicos actuales
Dinámica	
Clímax / Vegetación potencial	Estados múltiples / Desequilibrio
Series de regresión / Determinismo	Determinismo / Caos / Estocasticidad
Ambiente homogéneo / Ausencia de eventos renovadores	Heterogeneidad ambiental / Eventos renovadores en el sistema
Procesos no espaciales	Interacciones espaciales
Evolución biológica	
Adaptación / Convergencia evolutiva	Adaptación / Contingencias históricas

Fotografía 6.31. La vegetación es esencialmente dinámica. Esto se observa bien en las modificaciones que se están produciendo en los bosques cantábricos, donde el cambio del régimen de renovaciones tras el fin del sistema agrario tradicional está facilitando en algunos lugares una progresión de la vegetación atlántica frente a la mediterránea.

Fotografía de un canchal en el que destaca una vieja encina (*Quercus ilex*) que se instaló allí cuando la zona estaba más despejada. Ahora hay fresnos (*Fraxinus excelsior*), arces (*Acer campestre*) y avellanos (*Corylus avellana*); también medran robles (*Q. petraea*), quejigos (*Q. faginea*), mostajos (*Sorbus aria*), hayas (*Fagus sylvatica*) y acebos (*Ilex acuifolium*). Las frondosas caducifolias dominan en el rodal y, de no cambiar la dinámica, acabarán excluyendo a la vegetación de carácter mediterráneo.

Cadagua, Valle de Mena (Burgos).

Fotografía 6.32. Los cambios en el régimen de renovaciones conllevan modificaciones específicas y estructurales. Tales cambios pueden ser muy rápidos si hay fuentes de semilla cercanas que aporten propágulos. En la imagen se observa a un par de *Quercus faginea* con portes irregulares y más viejos que las hayas (*Fagus sylvatica*), que ahora los rodean. Los quejigos se desarrollaron en una época anterior, cuando el uso agropecuario y leñero del monte era intenso y la densidad arbórea claramente defectiva. La vegetación de carácter más mediterráneo acabará siendo excluida si la dinámica no varía.

Vivanco de Mena (Burgos).

Fotografía 6.33. Considerar el tiempo y los cambios que conlleva en la dinámica vegetal es complejo. Desde la óptica especializada en la conservación, no se ha reflexionado lo suficiente en la significación de los cambios en la naturaleza y los factores que los controlan. La visión estática sigue prevaleciendo en la mayoría de las ocasiones. El simple término *conservación* chirría a veces en los oídos forestales por sus connotaciones inermes y museísticas, por lo que muchas veces se prefiere *persistencia*, *mantenimiento* u otros, con el sentido de gestionar algo dinámico, cambiante, funcional… vivo en definitiva.

En la imagen se observa un xilópalo, resto fósil de una conífera del Cretácico Inferior que vegetó hace 130 millones de años, cuando el Sistema Ibérico gozaba de un clima subtropical (Fueyo y De la Madrid, 2010). Los indicadores de que el tiempo pasa y que la evolución natural sigue su curso son numerosos. Se debe superar el estatismo generado por la perspectiva temporal de la vida humana para integrar al paso del tiempo dentro de la gestión en la medida de lo posible.

Hacinas (Burgos).

Hay que mantener una actitud favorable a volver a examinar una y otra vez los mismos datos desde puntos de vista diferentes, pues indudablemente existen construcciones teóricas posibles y no sospechadas que resultaran más coherentes, más satisfactorias intelectualmente, que las que ahora poseemos.

Ramón Margalef. Ecología (1974).

7 EL RÉGIMEN DE INCENDIOS

Las perturbaciones o renovaciones son episodios discretos que, en un breve período de tiempo, producen alteraciones en la estructura vegetal, liberación de espacio vegetativo y, ocasionalmente, cambios bruscos en la composición de los montes. Son fuerzas de sucesión vegetal. Los incendios son un tipo de perturbación singular y se caracterizan por un proceso de oxidación violenta de parte de la materia orgánica, lo que conlleva una enorme liberación de calor que influye en distinto grado, entre otros, sobre los elementos biológicos vivos que no se consumen y el suelo, así como por una rápida reducción de la biomasa y mineralización de los elementos fertilizantes.

La combustión define en buena medida la evolución vegetal que se produce en el lugar tras su aparición en función del alcance de la modificación que genera. Normalmente, provoca unos efectos heterogéneos de reducción total o parcial de las poblaciones que medran en el lugar o, al menos, de la parte aérea en el caso de algunas especies con capacidad de rebrote. Por otra parte, desencadena toda una serie de procesos que normalmente llevan a la revegetación del quemado, dinámica que puede transcurrir de distintas formas y en plazos variables según el resultado de la renovación y los influyentes que actúen posteriormente. El fuego es un suceso discreto que puede cambiar en mayor o menor medida la evolución del ecosistema, y generalmente constituye un punto de inflexión en el devenir del monte.

Los incendios suelen tener como escala espacial de referencia a la de paisaje —sobre todo, si no hay influencia humana—, y son renovaciones que se repiten con distribuciones temporales irregulares. Dentro de unos límites, lo habitual es que posean unas características similares en cada región y época. Pueden clasificarse en regímenes o en incendios típicos dado que se trata de eventos recurrentes.

Fotografía 7.1. Los incendios provocan una alteración en la dinámica del monte. Matan a buen número de los vegetales presentes o, al menos, a parte de su estructura aérea en el caso de las especies con regeneración vegetativa y precipitan procesos de regeneración sexual o de rebrote, entre otros.

En la imagen se observan *Quercus ilex* y *Pinus pinaster* soflamados casi en su totalidad. Los pinos han dehiscido ya su semilla y probablemente se produzca un rebrote de la encina en la primavera. El fuego ha cambiado la situación demográfica de las poblaciones, la estructura y las relaciones de concurrencia entre las plantas: es una alteración brusca del ecosistema, pero no implica que la vegetación vaya a desaparecer definitivamente.

Quemado en un bosque. Labajos (Segovia).

El régimen de incendios es simplemente un componente más del régimen de renovaciones global que actúa sobre los montes de una región. Este puede ser más o menos complejo en cuanto a los agentes que lo integran y según la distinta proporción relativa que la influencia de sus componentes tiene en los cambios generacionales y sucesionales de las poblaciones, lo cual condiciona a los paisajes y a su patrón de cambio. El régimen de renovaciones de los paisajes forestales se ve por su parte influenciado por el estado socioeconómico, la naturaleza de los montes, la historia previa y el medio geoclimático, y cambia con el tiempo en función de las variaciones de estos factores (Sevilla, 2008). Existe una retroalimentación entre los paisajes y el régimen de renovaciones, y el hombre incide sobre esta realidad. Igualmente, hay relaciones complejas y sinérgicas entre los distintos agentes perturbadores que influyen unos sobre otros variando la susceptibilidad al suceso e importancia en el conjunto de cada uno de ellos.

El régimen de incendios[19] es un sistema complejo que se puede definir como el patrón espacial y temporal —y el conjunto de características y efectos— del fuego típico de un paisaje en una determinada época (Whelan, 1995; Leblic y Núñez, 2005).

La idea del régimen de incendios es importante porque tipifica, dentro de un rango y para un período determinado, a los incendios de un área teniendo en cuenta sus características habituales. A pesar de ser una generali-

[19] Estrictamente, se podría usar el término régimen de fuego. Este concepto puede dividirse en régimen de fuego autorizado o controlado, que son las quemas y los incendios tutorados o permitidos dentro de un manejo integrado, y en régimen de fuego incontrolado, no autorizado o simplemente incendios. Sin embargo, régimen de incendios *sensu lato* se emplea normalmente en el texto como sinónimo de régimen de fuego.

zación con limitaciones (Whelan, 1995), es un concepto que ayuda a tomar decisiones para la gestión forestal y la lucha contra incendios (ver Castellnou *et al*., 2009; o Lázaro, 2009). Desde el punto de vista de la dinámica ecológica, la idea de régimen permite comprender que la ocurrencia de fuego no es un evento aislado, sino un paso lógico en una consecución de hechos. Los escenarios tras la renovación por fuego pueden ser múltiples debido a las relaciones complejas entre los factores que definen al régimen, así como a la gran variabilidad de estos y a las sinergias que establecen con otros agentes y procesos de los montes.

El enfoque de régimen hace perceptible que las características de los incendios están íntimamente relacionadas con la configuración y el manejo del territorio donde se desarrolla. Se percibe que los cambios en la cubierta vegetal modifican al régimen de incendios debido a que la susceptibilidad a arder de los montes varía, y viceversa, que las alteraciones en el régimen de renovaciones provocan variaciones en la conformación de los paisajes y en los ecosistemas (Chang, 1996; Vázquez y Rodríguez, 2008). No obstante la relación incendios-territorio está enmarañada dado que otros tipos de renovaciones y factores intervienen en un marco multiescalar en el que las retroalimentaciones son frecuentes. El análisis de los regímenes de incendios necesita una aproximación regional o comarcal basada en la ecología del paisaje.

Fotografía 7.2. La influencia del fuego sobre algunos montes es imponderable. El régimen de incendios ha sido extraordinariamente vivo en los ecosistemas ibéricos debido a las características del medio y a la dilatada e intensa actividad humana.

Por ejemplo, según Urios (2004), los montes de Portaceli (en la imagen) han sufrido incendios documentados desde el siglo XVI. En el siglo XX, en unas 10.650 ha de predio, hubo 236 incendios: 189 de menos de 10 ha y dos grandes que quemaron del orden de 1.000 y 2.000 ha de dicha área. La idea de régimen facilita la aceptación del fuego como un agente periódico y habitual, no extraordinario, en muchos ecosistemas.

Serra (Valencia/València).

7.1. REGULADORES DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS

El régimen de incendios parece estar regulado principalmente por un sistema complejo formado por el medio geoclimático, la población humana, la susceptibilidad de la vegetación forestal al incendio, la influencia del régimen global de renovaciones y el patrón de igniciones. Algunos procesos y factores que determinan la dinámica de la vegetación se tratan de explicar por grupos o conceptos discretos, pero hay que considerar que todos están íntimamente relacionados entre sí, que actúan a la vez y que unos influyen sobre otros con asociaciones complejas.

7.1.1. EL MEDIO GEOCLIMÁTICO

Los factores geoclimáticos participan en la conformación del régimen de incendios de un modo importante. Por ejemplo, la topografía condiciona a los patrones de propagación del fuego en una comarca e influye en los tamaños de los quemados. Por su parte, la naturaleza de los suelos condiciona a la vegetación natural y al uso que las poblaciones humanas hacen del territorio.

El clima y las condiciones meteorológicas destacan como los influyentes geoclimáticos con mayor peso sobre el régimen de incendios. La importancia de dichas condiciones atmosféricas radica en que:

- Determinan en cierto grado la distribución de la vegetación.
- Condicionan el crecimiento vegetal y la descomposición, que determinan a su vez la acumulación de combustible si no median extracciones.
- Supeditan la estación, o estaciones, del año en que los fuegos pueden progresar. Además, establecen las condiciones meteorológicas y ambientales adecuadas para el incendio; fundamentalmente, mediante la regulación del calor, la humedad y el viento. Unas situaciones climáticas adversas sostenidas durante meses o años —como sequías pertinaces— y las condiciones meteorológicas extremas (olas de calor, vientos terrales fuertes, etc.) facilitan un comportamiento más agresivo del fuego.
- Son el principal "incendiario" natural mediante los rayos.

Las fluctuaciones del clima condicionan la probabilidad de ocurrencia de incendios e influyen en el régimen de estos indirectamente mediante:

1) La modificación de los ciclos de humectación y descomposición de los combustibles.
2) La variación de los patrones de encendido.
3) Sobre el complejo vegetal en conjunto; por ejemplo, al alterar las relaciones de concurrencia entre las plantas y la productividad de la estación.

Han sido constatados cambios sustanciales del régimen de incendios en el mismo lugar, pero en distintos períodos y en escalas temporales largas de acuerdo con las variaciones del clima (Carrión *et al.*, 2000).

Cabe señalar que la realidad del territorio constriñe en buena medida el tipo de actividades que se desarrollan en él, aunque las capacidades técnicas y económicas de las sociedades modernas permiten usos del suelo cada vez más intensivos, lo cual puede aumentar sustancialmente las tierras que pueden dejar de ser silvestres.

Fotografía 7.3. La La topografía y las condiciones meteorológicas, junto con la continuidad de los combustibles y el punto de ignición, determinan los patrones de propagación del fuego. Estos son bastante complejos en ocasiones.

La imagen muestra quemados separados de un mismo gran incendio de invierno originado a más de 4 km del lugar, en la provincia de Cantabria. La conformación del terreno y los vientos fuertes y racheados originaron formas complejas en esta ladera.

Las Machorras (Burgos).

Fotografía 7.4. La tecnología permite usos o mejoras de las estaciones impensables hace unas décadas. Las nuevas capacidades humanas inciden en las dinámicas de utilización del territorio y la vegetación; por ende, en el régimen de incendios.

La imagen es parte de una antigua parcela agrícola abandonada por improductiva debido a que tiene un litosuelo limitante para su laboreo. Se está haciendo un tratamiento mecánico con un tractor fresador para moler la piedra de los horizontes superiores y permitir, en este caso, un cultivo agroforestal de *Tuber malenosporum* micorrizada en encina y quejigo.

Layna (Soria).

7.1.2. LA POBLACIÓN HUMANA

Las poblaciones humanas influyen significativamente sobre la dinámica de los montes; cada una, en función de su demografía, distribución de la población y relación socioeconómica que la misma tenga con el territorio. Probablemente, es el factor ecológico actual más importante en el nivel mundial y ha sido muy significativo en la cuenca mediterránea desde el Neolítico. Así, la relación entre las sociedades y el territorio en que habitan suele ser motivo de curiosas paradojas: existen áreas con medios geoclimáticos benignos para el desarrollo de los bosques donde estos no existen porque se haya decidido cultivar la tierra o porque interese más tener montes de matorral o herbáceas; al mismo tiempo, otras regiones áridas limitantes para el desarrollo arbóreo sostienen magníficos bosques porque hubo quien se propuso fomentarlos y cuidarlos.

Las actividades humanas influyen de forma ubicua y variada sobre los montes; a veces, de modo directo y marcado, y otras de forma indirecta y sutil.

La influencia humana sobre el régimen de incendios es importante debido a que:

- Determina el uso del territorio dentro de las posibilidades que este ofrece: el medio natural está fragmentado e influido por cultivos, infraestructuras y áreas urbanas en distinto grado según la población y uso del territorio en cada lugar. El patrón espacial de los incendios, así como el de otros procesos ecológicos, se ve afectado por la conformación del paisaje forestal.
- Participa en conformar el régimen de renovación global de los montes: el estado natural de estos se encuentra modificado por la gestión selvícola, ganadera y de la fauna silvestre.
- La historia de la relación hombre-naturaleza en el territorio es importante porque condiciona las realidades de los montes, que son determinantes durante mucho tiempo y algunas irreversibles. El peso de la histéresis con influencia humana en los ecosistemas es grande; por ejemplo, muchas formaciones vegetales ibéricas tienen un elevado grado de pirofronismo[20] inducido culturalmente. En realidad, las quemas y el pastoreo han influido hasta niveles evolutivos y de selección de especies (ICONA, 1981a; Picardo, 2007).
- La mayoría de las igniciones en la península ibérica, como en casi todo el mundo, son provocadas por el ser humano.
- Los servicios de lucha contra el fuego extinguen a la mayoría de los incendios que se producen en muchas regiones. Aquellos que escapan del control son modificados por las operaciones de extinción y los accidentes del paisaje, artificiales en muchos casos.

Fotografía 7.5. El riesgo de que se produzcan incendios antrópicos crece cuanto mayor es la presencia de población humana.

Incendio fortuito de vehículo. Quintana de Valdivieso (Burgos).

La humanidad altera, y ha alterado consuetudinariamente, los regímenes de incendios en función del conjunto de actividades desarrollado en cada región. La presión ejercida por las sociedades sobre los montes está relacionada con el tamaño de la población humana: a densidades demográficas mayores, más grande es la influencia sobre el territorio en todos los sentidos. Respecto al número de sucesos de incendio forestal, algunos estudios han constatado una fuerte correlación con áreas muy pobladas (Whelan, 1995; Keeley *et al*., 1999 y 2001; Catry *et al*., 2010). Es lógico que la frecuencia de incendios sea mayor en las zonas más pobladas o con intensa actividad humana, ya que las igniciones intencionadas, negligentes o accidentales aparecen más por mera probabilidad.

Fotografía 7.6. La relación entre el fuego y el ser humano en el medio natural es ancestral e indispensable en muchas ocasiones.

Hogar en una prospección minera.

Aguas Calientes (Departamento de Santa Cruz, Bolivia).

[20] Vegetación piroprona: la que arde y propaga al fuego con facilidad. Se trata de comunidades vegetales que tienen tendencia a quemarse.

Es necesario hacer algunas matizaciones importantes a lo anterior, ya que no solo la demografía es trascendental para la conformación del régimen de incendios. La relación entre las personas y los montes de cada lugar también tiene una significación capital en la dinámica ecológica (Sevilla, 2008; véase Santiago-Freijanes *et al.*, 2009). De ese modo, diferentes formas de comportamiento social, de referentes culturales, de capacidad técnica u orientación en el uso de esta y de actividad económica y utilización del territorio —incluso con estructuras poblacionales similares— dan como resultado regímenes de incendios o de renovación distintos. Por ejemplo, Martínez (2001) comenta el disparejo uso del territorio y del fuego por las culturas musulmana y cristiana en la España medieval. Los musulmanes realizaron una utilización del territorio relativamente concentrada e intensiva con sus avanzados métodos agrícolas, basados en la intensificación del riego, la horticultura y la arboricultura, y tuvieron unos rebaños esencialmente estantes, lo cual trasformaba radicalmente unas superficies y dejaba parte del territorio poco intervenido; sobre todo, en las comarcas con menor carga demográfica (García y García, 2007). Los cristianos, por su parte, realizaron una estrategia más extensiva, destacando una agricultura cerealística en la que los rastrojos se eliminaban por quema y una ganadería también extensiva transtermitente primero y trashumante después con el avance de la Reconquista que necesitó recurrir más frecuentemente al fuego para la gestión de los pastaderos, ubicados en amplios montes alejados entre sí y de uso intermitente. Parece que la necesidad de uso del fuego fue distinta para cada cultura por los diferentes enfoques que cada economía tenía. Estas diferencias en el manejo del territorio crearon probablemente paisajes vecinos contrastados debido a que tenían distintos regímenes de renovación. Actualmente es posible observar ejemplos similares en algunas partes del globo, como las notables diferencias paisajísticas y de dinámica de incendios entre la Alta y la Baja California, separadas únicamente por un régimen de renovaciones distinto a cada lado de una frontera política (Minnich, 1983; Minnich y Chou, 1997; Minnich, 2001).

Conviene por último señalar que el régimen de incendios se ve influido por las convulsiones sociales, entre las que destacan los conflictos bélicos. Las quemas y los incendios han sido tácticas de guerra desde los albores de la humanidad (Carracedo *et al.*, 2009).

Fotografías 7.7. (arriba) y **7.8.** (abajo). El manejo del fuego suele estar relacionado con el cambio de uso del suelo o con su mantenimiento en un determinado estado. Las dinámicas de cambio de cubierta normalmente tienen un trasfondo económico. Hay otras formas de eliminar a la vegetación forestal, como la corta o el desbroce, pero la quema suele ser la más barata si se utiliza de forma descontrolada.

Arriba: En la imagen se observa el resultado de una corta a hecho de una pimpollada de *Pinus pinea*. No se hizo para su regeneración, sino para su roturación. La parcela había sido una tierra agrícola de secano durante décadas y probablemente se forestó al amparo de las primeras ayudas para el abandono de tierras agrícolas de la Política Agraria Común. Ahora, la opción forestal ha dejado a ser interesante al ponerse en servicio infraestructuras de riego que permiten explotar cultivos económicamente interesantes, como el maíz de la parcela vecina.

Zuares del Páramo (León).

Abajo: Una mata de castaño cortada a matarrasa para usar el predio como prado de diente. Este es un cambio en contra de la pauta normal de los montes cantábricos en la actualidad. La escasa rentabilidad del minifundio y de la explotación ganadera extensiva está facilitando que muchas parcelas de uso pecuario sean abandonadas y que el bosque esté colonizando esos terrenos.

Doñajuandi, Riosa (Asturias).

Fotografías 7.9. (arriba) y **7.10.** (abajo). Aparte de la presión demográfica, la relación de la población humana con la vegetación y el fuego es determinante para la dinámica de incendios y el estado de los montes. La vinculación económica y cultural de la población con el territorio conforma los regímenes de renovaciones en buena medida y, por ende, el de los incendios. Este principio lleva por extensión a que el régimen pueda variarse si los modos de uso del territorio cambian. No obstante, las modificaciones son difíciles de lograr debido a que la economía es un aspecto preponderante en muchas decisiones y la cultura está asociada con el modo de vida, y hay inercias que pueden durar incluso algunas generaciones aunque este cambie.

Arriba: La economía y la cultura determinan lo que arderá y lo que no dentro de unos límites. Un ejemplo claro son las campiñas cerealistas españolas.

En estas, quedan retazos de la cultura campesina tradicional: la vegetación silvestre puede molestar hasta en sus más humildes representaciones. Quemado de herbáceas ruderales junto a casco urbano realizada en un mes de mayo seco, en una comarca donde las poblaciones de árboles y de personas son muy escasas.

Morales de Campos (Valladolid).

Abajo: Las amplias campiñas cerealistas son paisajes piropronos. Están conformadas por cultivos herbáceos densos y continuos, en los que fuegos rápidos e intensos se pueden propagar fácilmente en verano llegando a alcanzar extensiones considerables; sin embargo, raramente sufren incendios. La respuesta popular es decidida en caso de fuego —al menos, antes de la cosecha—, y los lugareños acuden con la maquinaria y herramientas que tengan a mano, ya que el bienestar propio o del vecino está en juego.

Conato de incendio agrícola provocado por una avería de una cosechadora. El fuego fue rápidamente atajado.

Martín Miguel (Segovia).

Fotografía 7.11. La vinculación económica y cultural entre la ganadería y el fuego es notable. En la tradición ganadera, el fuego es una herramienta que sirve para eliminar al arbolado buscando tener doseles vegetales no lignificados, de matorral o mejor de herbáceas, al alcance de la boca del ganado. Los bosques son un estorbo, ya que limitan el potencial productivo de las cabañas en las que la economía de los ganaderos se basa. Casi todos los habitantes de este lugar durante el sistema tradicional eran pastores de subsistencia. Ahora hay muchos menos y son "profesionales", pero la visión de parte de los lugareños todavía es la pecuaria por tradición. Esto genera una solidaridad o permisividad social subyacente con los incendiarios, aunque aquí también se producen cambios sociales y de paradigmas que van de la mano de la desagrarización de la economía, de la crisis demográfica de amplias zonas rurales y del cambio en la forma de vida de los vecinos.

La mayor parte de los bosques cantábricos históricamente ha cedido terreno a los matorrales a base de quemas reiteradas para aumentar los montes rasos para el pastoreo. Esto ha ocurrido a pesar de estar formados por especies tolerantes, como el rodal que se observa en la imagen dominado por *Quercus petraea* y *Fagus sylvatica*. El bosque muestra los estragos de vigorosos frentes de llamas ascendentes en su forma y en los esqueletos de los árboles que puntean en las vaguadas. La ciencia forestal ofrece el silvopastoralismo como alternativa racional, que permite buscar una simbiosis entre ganado y bosque, y es una de las acciones que se están implementando en el lugar para tratar de cambiar este orden de cosas (Muñoz, 2011).

Las Machorras (Burgos).

Fotografía 7.12. El régimen de renovaciones cambia en los medios en que se ha logrado crear cierta economía forestal. En algunos lugares, se da la paradoja de que bosques con estructuras selvícolas de gran susceptibilidad al fuego raramente sufren incendios (Sevilla y Torre, 2013). El enfoque en una economía que valoriza a los árboles desincentiva el uso del fuego y sus riesgos.

Rodal de *Pinus sylvestris* en monte bravo regenerado tras una corta a hecho. La estructura es de gran peligrosidad frente a los incendios, un modelo de combustible 4 de Rothermel. La selvicultura aquí rige el régimen de renovaciones desplazando a los fuegos. El interés económico por la madera, la caza, los hongos y el turismo hacen que quemar o dejar que el bosque arda sea muy inconveniente.

Covaleda (Soria)

Fotografía 7.13. Los incendios son más probables en los bosques mediterráneos sin intervenciones selvícolas que en los manejados. Los primeros no cuentan con intereses directos de la población para reducir el uso del fuego y no hay otro gran agente perturbador que modifique las dinámicas de renovación del arbolado.

No obstante, las condiciones demográficas, de vegetación, de orografía y de clima son notablemente diferentes al ejemplo de los pinares del Urbión (**foto 7.12.**). El manejo y la explotación ayudarían a cambiar en cierto grado el patrón de renovación del bosque en un medio donde el período de retorno de los incendios es corto y el arbolado raramente termina sus días por mera senescencia.

Pinares de *Pinus halepensis*.
Serra (Valencia/València)

Fotografía 7.14. Desde la perspectiva del problema de los incendios forestales, el abandono rural no se refiere estrictamente a la ausencia de población humana respecto a escenarios anteriores, sino a la falta de gestión de los montes. Esta podría articularse ahora desde las cabezas de comarca aun con bajas densidades de población. Si bien la progresión vegetal es un aspecto positivo para la naturaleza, la acumulación desregulada de combustibles y el desinterés de los propietarios por manejar a los montes en algún sentido debido a su escasa rentabilidad en muchos casos hace que los montes sean muy susceptibles de renovación por fuego.

En la imagen se pueden ver pequeñas fincas abandonadas antes gestionadas para fin pecuario. La isla tiene una demografía vigorosa, pero la socioeconomía se ha centrado en sectores desvinculados de la vegetación silvestre actualmente. La falta de interés económico que permita desarrollar un régimen de renovaciones de los montes dirigido por los humanos facilita que los incendios sean los verdaderos gestores de los paisajes vegetales.

Biniancolla (Menorca).

Fotografía 7.15. Si bien las fotografías anteriores muestran parte de la realidad ibérica, no hay que olvidar que la situación socioeconómica/uso del fuego en otras partes del mundo es distinta. En muchos lugares resulta económicamente rentable realizar la colonización agropecuaria del territorio, y el fuego suele tener un papel preponderante en esta labor.

La imagen ilustra el resultado de la transformación mediante la quema del bosque en herbazales para uso ganadero.

Santa Ana de Velasco
(Departamento de Santa Cruz, Bolivia).

7.1.3. LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN

La vegetación, o combustible, es un complejo cuya susceptibilidad ante el fuego queda determinada por las especies que la componen, la situación demográfica y estructural de sus poblaciones y sus restos, así como por la influencia de las condiciones meteorológicas sobre ellos, lo que se comenta en el epígrafe sobre combustibles del **capítulo 2** (*2.1. Consideraciones respecto del combustible*).

Fotografía 7.16. Cada tipo de vegetación tiene una susceptibilidad distinta al fuego.

En la imagen se observa un quemado. En primer término, hay esqueletos de unos ejemplares de *Cistus laurifolius* y, detrás, un arbustedo de *Quercus pyrenaica*. El incendio se debió de comportar de forma contrastada en cada golpe de vegetación: el fuego coronó la estructura de las jaras y alcanzó bastante intensidad, y se produjo fuego de hojarasca y herbáceas, de menos potencia, bajo los rebollos. Las jaras eran más susceptibles al incendio que los rebollos por su estructura y esencias.

La reacción a la afección probablemente también fue distinta: las jaras se regenerarían por germinación y los rebollos, en su gran mayoría, brotarían con relativa normalidad en la primavera siguiente a pesar de ciertos daños y la pérdida de algunos individuos y tallos por necrosis.

Mambrillas de Lara (Burgos).

7.1.4. EL RÉGIMEN GLOBAL DE RENOVACIONES

El uso del suelo por parte de la población humana determina qué superficies tienen un uso artificial y cuáles permanecen como naturales, aunque en todas hay diferentes grados de influencia antrópica por la ubicuidad de las actividades del hombre. El uso del territorio determina el reparto espacial de los montes, de los cultivos y de las zonas urbanas o de infraestructuras, lo que a su vez influye sobre el régimen de incendios y otros procesos ecológicos.

Fotografía 7.17. La ordenación del territorio influye en el régimen de incendios. Este varía si las tierras tienen condición de forestal, agrícola o urbana y como se distribuyen las distintas teselas.

Incendio de herbáceas en interfaz urbano-forestal.

Majadahonda (Madrid).

El régimen global de renovaciones destaca como influyente sobre el régimen de incendios en las áreas naturales. Dicho régimen es un sistema dinámico en el cual la modificación de la vegetación por un tipo u otro de renovación provoca un cambio en la susceptibilidad de esta a sufrir un nuevo evento perturbador, como los incendios.

Las alteraciones que la vegetación suele sufrir por el efecto de una renovación son harto variables según el tipo de agente perturbador, el peso de la renovación y el tipo y estado del ecosistema receptor. Hay un elevado sinergismo entre distintas clases de agentes renovadores, pero siempre bajo un patrón de "silla de montar" respecto a la susceptibilidad ante cada tipo de renovación (Sevilla, 2008): algunos agentes renovadores son probables tras una perturbación determinada, o un estado del monte determinado, y otros francamente improbables.

Los cambios provocados por otros agentes renovadores sobre el monte varían de forma distinta a la susceptibilidad al fuego, pero todos alteran el régimen de incendios mediante la modificación del combustible. Las direcciones de cambio son:

- **Disminución de la susceptibilidad**: es el efecto general de agentes que consumen o eliminan a la vegetación. Por ejemplo, los corrimientos de tierras o aludes de nieve que barren porciones de terreno disminuyen la susceptibilidad al fuego del rodal afectado y de los adyacentes. La acción de los herbívoros limita o retarda la acumulación de herbáceas y sotobosque en algunos montes, con lo que el combustible fino del estrato superficial disminuye. Las intervenciones humanas de selvicultura o mera explotación de los bosques modifican la carga, la estructura y la composición alterando también la susceptibilidad al fuego, aunque de modos variables en función del tipo, peso y extensión de la intervención.
- **Aumento de la susceptibilidad**: todas las renovaciones que aumentan la carga de combustible disponible —mortandades de arbolado por ataques de plagas, derribos por viento o nevadas, etc.— facilitan en cierta manera que un incendio pueda prosperar.

Dentro del régimen global de renovaciones, se encuentran las actividades humanas en los montes que modifican a la vegetación: caza, recolección, ganadería y selvicultura. La extinción de incendios también varía el patrón de las renovaciones, ya que limita o aplaza en muchos casos la influencia del fuego dejando disponible a la vegetación para otros eventos o procesos posteriores.

No hay que olvidar que la vegetación es dinámica, y que su estructura y composición cambian con el tiempo; por tanto, los efectos de una renovación sobre un rodal también evolucionan.

7.1.5. PATRÓN DE IGNICIONES

El origen habitual de los incendios es un aspecto importante para el régimen. El modo y momento en que el fuego aparece en el monte determinan en parte las características de los incendios y de sus efectos ecológicos (Bond y van Wilgen, 1996). El patrón de igniciones condiciona significativamente al régimen de incendios: quién, cómo, cuándo, cada cuánto, dónde y por qué origina los incendios hace que el efecto del fuego en la dinámica ecológica pueda ser distinto según cada caso.

La separación conceptual entre las condiciones estructurales y ambientales propicias para la propagación del fuego de las igniciones muestra que el suceso de incendio es caótico, imposible de prever. Puede haber acumulación de combustible disponible suficiente y unas condiciones ambientales adecuadas para la propagación, pero el incendio no sucederá si no hay un prendido que prospere. Las igniciones son un regulador clave del régimen de incendios.

Los patrones de igniciones están compuestos por los encendidos humanos y los naturales, los cuales tienen pautas heterogéneas según el lugar y el momento. Este es un aspecto muy estudiado en la estadística de incendios. La frecuencia de prendidos es siempre mayor a la de incendios: existe una eficiencia de prendido de incendios (Jardel, 2010), ya que algunas igniciones en los montes no prosperan por la situación atmosférica, de los combustibles o por la extinción antrópica.

Como ya se ha comentado, las características de los prendidos humanos dependen de las actividades e intereses de la población que habita en un territorio dentro del marco que el clima impone para que la propagación sea factible. El ser humano es la principal fuente de incendio en casi todos los lugares del mundo, aunque hay patrones contrastados en función del comportamiento de cada población humana.

Fotografía 7.18. Las causas de los incendios antrópicos están relativamente bien definidas en las estadísticas para cada región, pero cierto porcentaje siempre se debe a las motivaciones o accidentes más insospechados.

Lugar de inicio de un conato provocado por negligencia en la celebración de un ritual vudú.

Monte de El Pardo, Madrid (Madrid).

A pesar de lo anterior, parte del régimen de incendios se encuentra regulado por las igniciones naturales; fundamentalmente, por rayos. El hecho de que hubiera incendios forestales antes que humanos ha tenido una importancia esencial en la conformación de la vegetación evolutivamente hablando.

Por ejemplo, se suele argumentar que, en España, solo el 4 % de los incendios son naturales. Sin embargo, ese porcentaje esconde que los incendios (o conatos) por rayo superan los 700 de media cada año (ADCIF, 2012), que es una cifra respetable y demuestra la preponderancia natural del agente fuego en la dinámica forestal ibérica. La importancia de las igniciones por rayo es heterogénea en el territorio dependiendo de los lugares donde este meteoro es más frecuente. Hay regiones en que los incendios naturales son muy habituales, como el Sistema Ibérico. La mayor frecuencia de incendios naturales en determinadas áreas es un patrón mundial y se llega a extremos como el de los pinares de *Pinus palustris* con *Andropogon* del sureste estadounidense, que llegan a arder con una periodicidad trianual (Chandler *et al*., 1983).

Fotografía 7.19. La actividad volcánica es otro factor natural de ignición. Es importante en el archipiélago Canario. En la isla de Tenerife, por ejemplo, ha habido erupciones registradas en 1393 o 1399, 1430, 1484, 1492, 1704, 1705, 1706 y 1909 (Fernández, 1919, citado en Ceballos y Ortuño, 1949; Anguita *et al*., 2002). Pimpollo de *Pinus canariensis* frente al Teide.

Parque Nacional del Teide, La Orotava (Tenerife).

Existen otras fuentes de ignición en la naturaleza cual es la actividad volcánica. El vulcanismo y otros procesos geofísicos, como los terremotos, conforman un régimen de renovaciones superior a los incendios en su alcance y capacidad transformadora, y dicho régimen está regido por la mecánica geológica (véase, por ejemplo, Lowenstern *et al*., 2005). La actividad volcánica es un agente ecológico de primer orden en las islas Canarias (Ceballos y Ortuño, 1949) y también aparece de forma marginal en unas pocas comarcas peninsulares. Las adaptaciones de parte de la flora macaronésica atestiguan la larga influencia del fuego de origen geológico en los montes insulares.

7.1.6. LOS REGÍMENES DE INCENDIOS ACTUALES: MEZCLA DE REGÍMENES NATURALES Y ANTRÓPICOS

Los regímenes de incendios actuales de la mayor parte de las regiones del mundo son una mezcla de tendencias naturales e influencias humanas.

Hay cierta creencia popular de que los efectos de los incendios naturales son menos severos que los de origen humano, aunque las consecuencias de cualquier tipo de incendio o quema son ciertamente similares (Pyne *et al*., 1996) si se desarrollan en condiciones ambientales parecidas y la ignición comienza en el mismo lugar (Sevilla, 2011).

Una aproximación a un régimen de incendios absolutamente natural debe considerar que se desarrollaría sobre paisajes sin barreras ni heterogeneidades de origen humano y sin dispositivos de extinción. En tales condiciones, algunos incendios podrían permanecer activos de forma irregular durante semanas y recorrer superficies muy extensas, tal y como ahora ocurre en algunas regiones boreales en las que aplican en ocasiones estrategias de manejo pasivo de los incendios. Existen estimaciones para la península ibérica de que la superficie quemada anual por un régimen natural en el presente sería unas 2 veces mayor y el número de incendios unas 12 veces menor (Picardo, 2011). Así, Torre (2011) comenta que, concretamente para la provincia de León, se calcula que el régimen natural actual impondría situaciones de incendios simultáneos por tormentas cada tres años o menos, y que podrían llegar a quemar extensiones equivalentes a media provincia.

Por otro lado, los humanos formamos parte esencial del actual régimen de incendios, aunque nuestras actuaciones tienen un efecto contradictorio: somos una fuente de prendidos activa y, al mismo tiempo, limitamos las posibles superficies quemadas. En definitiva, modificamos las tendencias naturales en distinta medida según el lugar y la época, y dependiendo de la intensidad y el sentido de la influencia.

Keeley *et al.* (2009) identifican para América del Norte al pastoreo, el madereo, las políticas de supresión del fuego, las igniciones antrópicas, la aparición de vegetación foránea y la fragmentación de los montes como los principales modificadores de los regímenes de incendios naturales causados por el hombre. En la península ibérica, los regímenes de renovación han sido mucho más diversos y heterogéneos (Sevilla, 2008), y los montes tienen una histéresis humana dilatada e intensa, lo que hace que las relaciones entre distintos agentes o procesos de renovación sean más complejas y que muchos montes tengan un fuerte componente cultural.

Los regímenes naturales han sido alterados según la tipología e intensidad de las actividades realizadas: caza, recolección, agricultura, ganadería, selvicultura, presencia de infraestructuras, urbanismo, etc. La mayor parte de los prendidos actualmente son de origen humano en la península ibérica.

El régimen de incendios natural de la península ibérica, como en buena parte del globo, se ve modificado por las interacciones actuales e históricas de la población humana en el medio. Los patrones de los fuegos hoy en día son un híbrido entre la dinámica natural y la antrópica. La discusión de cuál sería el régimen de incendios en ausencia del ser humano es un ejercicio baldío (Lloret, 2004). Tratar de discernir entre los efectos en la vegetación debidos a cada fuente de ignición tras centenares de miles de años de uso del fuego como herramienta y la influencia del resto de las actividades humanas sobre los montes es simplemente especular. Realmente, tomando la idea de Myers (2006), la pregunta esencial es cuál debe ser el régimen de incendios —enmarcado en el contexto de renovación global de los montes— útil para la sociedad actual y la del futuro desde las perspectivas ecológicas y socioeconómicas.

Fotografía 7.20. Únicamente en los montes en que la vegetación falta o es muy escasa no se producen fuegos. Inclusive en ciertas condiciones de sequía y actividad humana, también aparecen en las pluvisilvas (UNESCO/UNEP/FAO, 1978).

En la imagen se observan unos montes en una región montañosa y extremadamente árida, en la que apenas destacan algunos ejemplares de una singular cactácea, *Browningia candelaris*. Bajo estas condiciones el fuego no es un agente que tenga significación en la dinámica ecológica.

Putre (XV Región de Arica y Parinacota, Chile).

Fotografía 7.21. El rayo es la principal causa de ignición natural y probablemente el agente más importante evolutivamente hablando que ha contribuido al desarrollo de adaptaciones pirofíticas de la vegetación.

Tarapaya (Departamento de Potosí, Bolivia).

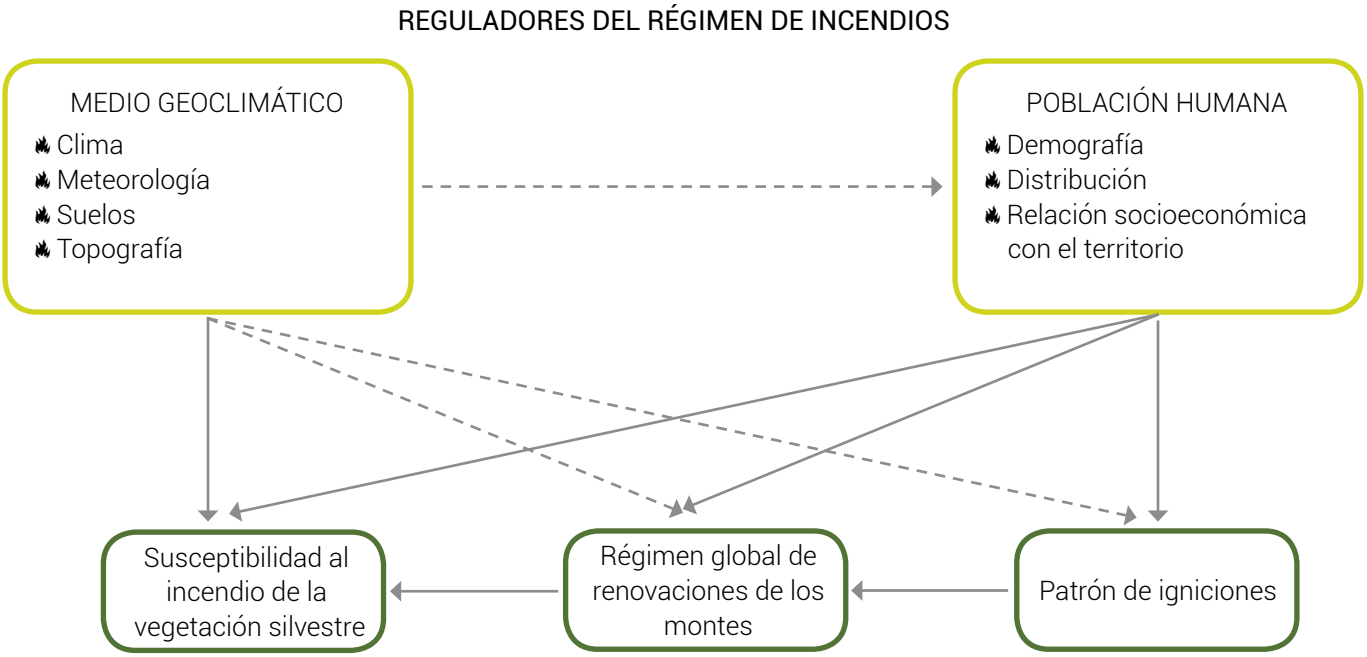


Figura 7.1. Red conceptual entre los distintos reguladores del régimen de incendios en la España actual. Las líneas continuas tratan de expresar una relación fuerte y las discontinuas una más laxa.

Tabla 7.1. Algunos patrones de los reguladores más influyentes del régimen de incendios. (1/2)

REGULADORES DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS	COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS REGULADORES	OPCIONES QUE MODIFICAN EL RÉGIMEN DE INCENDIOS
Medio geoclimático	Clima	a) Climas con al menos una estación seca marcada, pero lo suficientemente benignos para tener una productividad vegetal que permita la acumulación de combustible: tendencia a que los incendios sean habituales. b) Climas húmedos templados o fríos con episodios esporádicos de calor/sequía: tendencia a incendios cada cierto tiempo. c) Climas áridos en los que aparecen algunas épocas benignas que permiten cierta acumulación de combustible: tendencia a incendios cada cierto tiempo.
	Meteorología	Climas tendentes a episodios meteorológicos severos en los que el calor y la sequedad aumentan temporalmente: mayor facilidad para tener incendios más grandes y/o simultáneos.
	Topografía y suelos	a) Orografías suaves, tendidas o llanas facilitan incendios más grandes, ya que los accidentes naturales son generalmente menores; sobre todo, bajo condiciones de vientos fuertes. b) Orografías montañosas o abruptas: las conjunciones de valles y dorsales suelen limitar el tamaño de los incendios, aunque a veces facilitan incendios con formas particulares y extensiones considerables.

Tabla 7.1. Algunos patrones de los reguladores más influyentes del régimen de incendios. (2/2)

REGULADORES DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS	COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS REGULADORES	OPCIONES QUE MODIFICAN EL RÉGIMEN DE INCENDIOS
Población humana	Demografía	La tendencia a tener más incendios aumenta con la densidad demográfica.
	Distribución de la población	a) Distribuciones habitacionales más difusas en montes: tendencia a más y mayores incendios. El límite urbano/forestal también es mayor, lo que favorece el aumento de igniciones y, en caso de fuego, los servicios de extinción deben proteger bienes dispersos perdiendo eficacia. b) Población residiendo en núcleos urbanos densos y bien definidos: menos incendios y menor impacto de estos sobre los bienes.
	Relación socioeconómica y cultural con el territorio	a) Alta vinculación socioeconómica y cultural con los bosques: tendencia a que los incendios sean escasos. b) Baja vinculación con los bosques en paisajes forestales extensos con intereses centrados en montes de herbáceas o matorral (ej. ganadería tradicional): tendencia a incendios habituales para mantener ecosistemas estructuralmente simples. c) Baja vinculación con los bosques en paisajes forestales extensos donde el fuego es un agente ecológico sin otros intereses socioeconómicos: tendencia a incendios esporádicos, aunque algunos pueden ser muy grandes.
Susceptibilidad de la vegetación al fuego	Composición específica	a) Especies piropronas y/o pirófitas: mayor facilidad para el progreso del fuego. b) Especies sucesoras: tendencia a que los incendios progresen con más dificultad y a que sean más pequeños.
	Características estructurales	a) Dominancia de herbazales y matorrales: facilidad para el progreso del fuego, aunque su impacto en la dinámica vegetal es normalmente bajo porque los incendios suelen ser un mecanismo de autosucesión. b) Bosques jóvenes (montes bravos o latizales) continuos y trabados: facilidad para el progreso del fuego. El impacto en la dinámica depende de los atributos de las especies dominantes. c) Bosques adultos (fustales) con rodales en regeneración o sin ellos: dificultad para el progreso del fuego por ambientes más umbrófilos y, en algunos casos, con poca carga de combustible superficial; arbolado dominante más resistente al efecto del fuego por efecto de su gran tamaño medio. Pueden aparecer incendios de copas.
	Humedad	Depende del clima, meteorología, topografía, suelo, tipo y estructura de la vegetación: valores bajos se asocian a mayor facilidad de propagación del fuego.
Régimen global de renovaciones	Aumento de la susceptibilidad de la vegetación al fuego	Asociado a simplificaciones estructurales de la vegetación y al aumento de combustible disponible. Más facilidad para la propagación del fuego (presencia de restos por mortandad vegetal por plagas, derribos por viento, etc.)
	Disminución de la susceptibilidad de la vegetación al fuego	Asociado a mayor complejidad estructural como el dominio de los montes por bosques adultos. Más dificultad para la propagación del fuego (presencia de pastoreo ordenado, selvicultura, etc.)
Patrón de igniciones	Dónde	Variación de las igniciones: cambio del número de incendios y del peso del fuego en la dinámica ecológica.
	Cuándo	
	Cada cuánto	
	Quién	Variaciones en la efectividad de las igniciones.
	Cómo	
	Por qué	

7.2. ATRIBUTOS DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS

Los regímenes de incendios son diferentes en función de los atributos específicos de cada uno: características del paisaje y de los ecosistemas donde se desarrolla, tipo y estacionalidad del clima, otras variables del medio geoclimático y peso de otros agentes renovadores de los montes en la dinámica vegetal. Es posible describirlos de varias formas, siendo el más común un enfoque por tipo de monte (véase, por ejemplo, Wright y Bailey, 1982; Edmonds *et al.*, 1999; Keeley *et al.*, 2009); sin embargo, también se pueden usar distintas escalas espaciales y temporales según la necesidad.

El régimen de incendios de una región se puede caracterizar, además de mediante la descripción del medio, con los atributos típicos de sus eventos, que son, entre otros: intensidad, tipo de incendio, época, extensión y forma, frecuencia, severidad y sinergismo. A continuación, se describe la significación ecológica de cada uno de ellos.

7.2.1. INTENSIDAD

La intensidad del fuego está determinada por los factores del momento de la combustión, como la situación meteorológica, la topografía y la naturaleza y estado de la vegetación. Expresa la cantidad de energía por unidad de tiempo y espacio que se libera en la combustión, lo que da idea del potencial renovador del evento y la dificultad de controlar a los frentes de llamas.

La relación entre la intensidad y la severidad —esto es, el alcance del cambio que ocurre en el ecosistema debido al fuego— es íntima en muchos aspectos. Generalmente, mayores liberaciones de energía conllevan más destrucción de las estructuras vegetales, consumo de biomasa y pérdida de suelo, aunque con ciertas matizaciones como las debidas a la velocidad de paso del frente de llamas, la humedad edáfica o las adaptaciones de cada especie e individuo.

El término intensidad de los fuegos tiene acepciones relacionadas pero no totalmente iguales (véase Ramos, 2010). La intensidad de Byram (1959)[21] suele emplearse desde el enfoque de control de las llamas, y usualmente está referido a la arquitectura y progresión del frente de incendio. Se estima mediante la longitud de llama y la velocidad de avance. Estos datos son indicadores de la energía desprendida instantáneamente y resultan fáciles de medir, lo que sirve, por ejemplo, para decidir la forma de abordar la extinción. No obstante, es un dato limitado para comprender el alcance de las modificaciones del ecosistema motivadas por la renovación.

[21] Se suele expresar en unidades de kcal/m/s.

Fotografía 7.22. Los incendios pueden ser muy destructores en función de la cantidad y potencia de la energía liberada.

En la imagen se muestra una señal de separación de cotos de caza deformada por el fuego que da idea de la intensidad de los incendios que han afectado a este monte.

Azuébar (Castellón/Castelló).

Desde la perspectiva biológica, la intensidad debe considerar la energía total liberada por unidad de área y como se ha liberado; es decir, los tiempos de combustión en llama viva y en ascuas, así como la cantidad, energía y distribución del combustible consumido. Esta interpretación de la intensidad, o del calor total liberado, determina la severidad en buen grado junto con la estructura de los estratos quemados o con necrosis por calor, la profundidad de los cambios edáficos y las características de la comunidad vegetal. Se puede estimar en función de la reducción de la carga de combustible. Técnicamente este parámetro es la intensidad total (kcal/m^2/h). También se puede tratar de conceptualizar con el calor total liberado (kcal/m^2).

La intensidad también está relacionada con la frecuencia mediante el tiempo necesario para alcanzar unos niveles de acumulación de combustible. Un lugar que ha sido quemado recientemente tardará un tiempo mínimo en acopiar una carga suficiente de combustible para volver a arder con determinada intensidad.

7.2.2. TIPO

Los tipos de fuego que pueden suceder varían en función de los determinantes principales del comportamiento del mismo; es decir, de los combustibles, de la situación meteorológica y de la topografía. Existen distintos sistemas para clasificar a los fuegos, como por el modo de avance de la combustión o por los factores que rigen la propagación, aunque el tipo de fuego se refiere comúnmente al estrato de vegetación por la que la combustión se propaga.

Los eventos clasificados según el estrato de propagación pueden ser de subsuelo, que consumen a la materia orgánica edáfica; superficiales de mantillo, herbáceas, hojarasca, matas o de sotobosque, o de copas, como los que se desarrollan en matorrales, arbustedos o bosques. De estos últimos, Keeley *et al*. (2009) consideran varios subtipos de fuegos de copas: los pasivos, en los que la propagación es principalmente superficial pero se producen coronaciones o entorchamientos puntuales; *acti-*

Fotografía 7.23. La intensidad y la frecuencia de los fuegos están relacionadas entre sí. Incendios intensos como el de la imagen tienen períodos de retorno largos; como mínimo, los 40 o 50 años que el arbolado tarda en recuperarse.
Incendio en pinar de *Pinus pinaster*.

A Gudiña (Orense/Ourense).

Fotografía 7.24. El tipo de fuego se refiere normalmente al estrato por el que la combustión se propaga.

En la imagen se observa un frente de llamas a favor por un monte en fase de prebosque. El fuego es conducido por el estrato superficial de herbáceas y matas, aunque corona la estructura de los árboles que va encontrando a su paso.

Obejo (Córdoba).

Fotografía 7.25. La conformación del paisaje determina, en cierta medida, la extensión y forma de los incendios. En esta panorámica de parte de un quemado agrícola, se observa cómo el camino limitó el avance de las llamas y destaca el distinto comportamiento de los combustibles: los rastrojos de cereal ardieron en su totalidad; el girasol aún verde no se vio afectado por la combustión, y el fuego en los eriales intercalados estuvo condicionado por las pendientes, las orientaciones ante el avance del fuego, la escasez de vegetación debida al pastoreo y la distribución de las acumulaciones de piedras que dificultaron su penetración y avance a pesar de la sequedad y altas temperaturas de un día de verano.

Espinosa de Cerrato (Palencia).

vos, en los que el fuego consume tanto al estrato superficial como a la cubierta elevada, e *independientes*, en los que el fuego se propaga solamente por el dosel sin que haya fuego superficial. Este último tipo de propagación está asociado a cubiertas muy densas bajo situaciones de vientos fuertes o pendientes acusadas.

La tipificación anterior da información sobre cuáles son las estructuras vegetales impactadas directamente por las llamas y de la posible intensidad de la combustión, lo que a su vez da idea de la posible dificultad de extinción y una aproximación simple a la severidad esperable del evento.

Los tipos de incendios están influidos por la intensidad y velocidad de propagación del fuego. Los herbazales solo pueden tener fuegos de suelo y arden con una intensidad viva usualmente debido a la gran cantidad de combustible fino que poseen. Los matorrales arden generalmente con gran intensidad quemándose toda su estructura, aunque también pueden sufrir fuegos de hojarasca o de mantillo de baja intensidad en determinadas situaciones de elevada humedad ambiental. Esta dualidad también se da de forma más marcada en pinares y otros bosques con cierto piropronismo. Usualmente, tienen incendios de hojarasca o sotobosque de baja o mediana intensidad, pero también de copas que conllevan la renovación de todos los estratos de vegetación en condiciones ambientales de calor y sequedad. En bosques de especies tolerantes, los fuegos suelen ser de hojarasca o sotobosque con intensidades más moderadas hasta cierto umbral por la mayor presencia de humedad. No obstante, como ya se ha señalado, pueden también llegar a arder completamente bajo unas condiciones de gran sequedad ambiental.

7.2.3. ÉPOCA

Los factores principales que determinan la época o estación de incendios son el clima y la actividad humana. El clima define los períodos en que la vegetación está dispuesta para arder en función de la mayor o menor sequedad del material vegetal y determina la época típica de aparición de los rayos.

Los incendios se producen en una o a lo sumo dos estaciones del año en aquellos lugares en que el agente fuego tiene significación (Edmonds *et al.*, 1999). Los incendios acostumbran a ser más comunes en regiones con una estación seca marcada, en las que la vegetación está en condiciones de arder y donde, además, haya otras épocas del año benignas para el crecimiento y desarrollo vegetal que permitan la acumulación del com-

bustible (Jardel, 2010). Según Pausas (2012), este efecto se ve magnificado en los lugares donde la estación de crecimiento vegetal se produce antes de la época seca, como en la península ibérica, de modo que el acopio de combustible fino disponible —de origen herbáceo fundamentalmente— es mayor. Asimismo, climas con poca estacionalidad pero con fuertes contrastes interanuales pueden inducir susceptibilidad para la ocurrencia de fuegos.

Por su parte, los humanos también elegimos épocas para llevar a cabo las quemas en función de diversos objetivos. El final del invierno acostumbra a ser un momento en que la vegetación ibérica presenta condiciones para arder por el paro vegetativo y la sequedad producida por las heladas. Tradicionalmente, esta época se ha utilizado para ejecutar quemas en los montes, ya que el comportamiento del fuego no suele ser muy agresivo y los suelos atesoran cierta humedad que les protege mejor de los efectos indeseables de la combustión. En otras zonas se hacen quemas de verano, como en el sureste de EE.UU. (Wade y Lunsford, 1989). En este caso, se persigue el objetivo selvícola de eliminar el regenerado de frondosas que compiten con los pinos en algunos bosques aprovechando que están en actividad vegetativa y, por tanto, son más susceptibles al daño. Las temperaturas del aire son más altas en verano, y resulta más fácil llegar a calores que dañen a los tejidos vegetales de estas angiospermas.

La estación de quema tiene significación en la dinámica ecológica. En distintos momentos, el fuego produce cambios dispares en un mismo ecosistema aunque el intervalo de frecuencia del suceso sea el mismo (Bond y van Wilgen, 1996). Esto se debe a que la combustión llega en momentos ambientales, vegetativos, reproductivos y del ciclo vital de las plantas diferentes y produce itinerarios divergentes en las posibles dinámicas del monte.

7.2.4. EXTENSIÓN Y FORMA

Una vez que un prendido se ha producido, el tamaño y forma de los quemados se ven influenciados por el comportamiento del fuego, si bien el marco de propagación está constreñido por las características del paisaje: los accidentes de los montes (cursos de agua, roquedos, caminos, límites con terrenos agrícolas, etc.) pueden actuar como cortafuegos; la heterogeneidad de la vegetación y de la topografía varían el patrón de propagación o, inclusive, detienen a algunos frentes de llama. Los incendios pueden llegar a desarrollarse a escalas de paisaje, aunque la gran mayoría de ellos se atajan antes por las discontinuidades de la vegetación y la acción de los medios de extinción en la península ibérica.

La época y las condiciones meteorológicas en que el fuego ocurre también acotan las características geográficas de los quemados. Los incendios originados fuera de la estación típica, bajo condiciones de frío y humedad, suelen tener una intensidad baja y ser pequeños e irregulares. Asimismo, los cambios en la dirección e intensidad del viento, junto con las igniciones por vuelos de pavesas, ayudan a generar formas más o menos complejas.

El tamaño y forma de un incendio están también determinados por los patrones espaciales de las renovaciones anteriores, ya que estas condicionan la combustibilidad del lugar durante un tiempo. Ahora bien, esto depende del tipo de renovación anterior, ya que no es lo mismo una remoción de la vegetación por un corrimiento en masa en una ladera —que expone al terreno descarnado— que el derribo grupal de arbolado por viento —que deja disponible una gran cantidad de combustible pesado—.

Fotografía 7.26. La forma y tamaño de las renovaciones influyen en las dinámicas de la vegetación a escalas amplias. A su vez, estas condicionan en parte el régimen de renovaciones. En la imagen se observa el borde de un quemado ya revegetado de *Pinus pinaster* y, en menor medida, de *Quercus faginea*. Hay un contraste claro entre rodales, uno en fase de cierre y el otro en la de coronación. Desde el fustal, es probable que haya habido flujo de propágulos al quemado, así como de herbívoros en el momento de la germinación. La susceptibilidad al fuego es ahora distinta en cada zona, y eso podría influir en el desarrollo de un hipotético incendio.

Oña (Burgos).

Tras un incendio importante, un posible fuego algo ulterior tiende usualmente a ser más pequeño y con formas irregulares debido a la reducción del combustible y a su disposición menos uniforme en escalas amplias. En general, los incendios rebajan por un tiempo el riesgo posterior de renovación por fuego en las zonas aledañas o limítrofes por su efecto cortafuego (Sevilla, 2008). La distribución de los fuegos superficiales, de copas y las zonas no quemadas en un tiempo definen que el paisaje sea de un modo u otro (Keeley *et al*., 2009).

Los medios de extinción, en los incendios en que intervienen, también ayudan a determinar el perímetro y área de los quemados.

El tamaño tiene que ver con la frecuencia de incendios si no hay un manejo del combustible. Se observa que los incendios tienden a ser más grandes de forma media para una misma área cuanto menos frecuentes son (Minnich, 2001; Piñol *et al*., 2005). La conformación del paisaje y sus ciclos de renovación determinan las características, el nivel de heterogeneidad y el tamaño medio de las teselas que integran el territorio natural, lo que a su vez retroalimenta al régimen de incendios haciendo que las frecuencias de los incendios y de sus patrones espaciales sean de una u otra forma. Por ejemplo, los grandes incendios actuales en la península ibérica son posibles por un aumento de la conectividad de los montes. Se viene produciendo un proceso de disminución de la fragmentación en muchos macizos forestales durante las últimas décadas.

Desde otro enfoque, el tamaño y forma de los quemados condicionan los procesos de colonización de las especies cuyos individuos y propágulos hayan sido extinguidos o faltasen en el área perturbada. También determinan las posibilidades de habitación en cada tesela renovada en función de las necesidades de espacio que cada taxón animal tiene para establecer poblaciones viables (Myers, 2006).

Fotografía 7.27. *Pinus pinaster* alcanzado recientemente por un rayo. La imagen fue tomada en el mes de abril, en época de lluvias. Este suceso habría generado un incendio con mayor facilidad de haber ocurrido durante el estío. Se observa que la fenda hecha por la exhalación sigue una espiral dextrógira desde el ápice del árbol siguiendo la orientación de la fibra de la madera en el tronco.
Alcudia de Veo (Castellón/Castelló).

7.2.5. FRECUENCIA

La frecuencia es la distribución temporal de la ocurrencia de fuego en los montes durante un período determinado. Este concepto se puede aplicar a un paraje concreto o a territorios más amplios, como los de paisaje o región. Usualmente, la frecuencia de los fuegos marca, a grandes rasgos, las características de todo un régimen de incendios, ya que influye en cierta manera sobre la acumulación de combustible, sobre la intensidad, el tamaño y la severidad, y sobre el resto de los atributos y factores en mayor o menor medida. Este atributo del régimen de incendios depende de la acumulación de combustible, de la estructura del monte, de las especies dominantes y del patrón de igniciones del lugar.

Se observa normalmente una distribución de los incendios decreciente según su frecuencia y tamaño. Los eventos muy extensos acontecen con menor frecuencia (Terradas, 2001), siendo la mayor parte de ellos sucesos de menor importancia. Esto es debido a que deben darse unas condiciones extraordinarias, cuya aparición está restringida, para que un gran evento ocurra.

La frecuencia está compuesta por dos conceptos temporales: el intervalo y el período de incendios (Whelan, 1995). El intervalo es el tiempo que transcurre entre un fuego y el anterior, es único entre dos incendios y se usa generalmente para un determinado paraje. El período, por su parte, es el lapso medio entre dos fuegos, el mismo para toda una área o región.

Fotografía 7.28. El incendio de Riba de Saelices, acaecido en 2005, ha sido el más traumático para la sociedad española en lo que va de siglo y tuvo unas causas estructurales claras aparte de la situación del momento.

Un extenso macizo forestal poblado por especies relativamente pirófitas seleccionadas por un régimen de incendios regulado por los rayos en el nivel evolutivo bajo un clima con sequía estival severa y gran acumulación de combustible. La tensión energética del sistema aumentó gracias a una política estricta de exclusión del fuego y al abandono de los aprovechamientos tradicionales de leña, madera, resina y pasto.

A lo anterior se añadió una ignición desafortunada en un año árido que facilitó un comportamiento agresivo del fuego desembocando todo ello en el desarrollo de un incendio catastrófico.

Cuevas Labradas y Zaorejas (Guadalajara).

Resulta conveniente utilizar los dos conceptos que componen la frecuencia cuando sea posible, ya que ayudan a reflejar mejor las variaciones de ocurrencia de incendios, que pueden ser significativas desde el punto de vista de la dinámica ecológica. Zedler *et al.* (1983) ilustran fuertes cambios en un chaparral californiano, donde el período de incendios es de unos 20 años, por la ocurrencia de fuegos en dos años consecutivos. Muestran que el fuego del segundo año fue de una intensidad muy baja dada la escasez de combustible disponible, pero la modificación del ecosistema tuvo un gran alcance al estar el monte aún "convaleciente" del incendio anterior. La frecuencia puede ser determinante en la dinámica de los montes independientemente de la intensidad del fuego. Es interesante conocer el intervalo entre fuegos, porque es un parámetro más significativo ecológicamente hablando que el mero período.

El efecto de la frecuencia está modulado por la productividad del lugar, aparte del elenco de especies presentes. El impacto de una misma frecuencia de fuego es usualmente menor en las estaciones donde el crecimiento vegetal es más rápido que en medios con mayores limitaciones geoclimáticas. Se observa que la acumulación acostumbra a ser un factor limitante de la frecuencia de incendios en medios áridos y poco productivos; en cambio, la inflamabilidad y la combustibilidad suelen tener más peso respecto a la facilidad de propagación del fuego en lugares con crecimiento vegetal vigoroso (Westerling, 2007).

Las reiteraciones de los incendios se pueden tipificar del siguiente modo:

- **Muy frecuentes:** la renovación acontece casi cada año, como es el caso de algunos herbazales que pueden ser

quemados anualmente. Los rastrojos de los cereales que se quemaban cada final de campaña agrícola en España son un ejemplo.

- **Frecuencia alta:** las renovaciones ocurren cada pocos años. Amplias zonas con uso preferente de pastaderos extensivos en la cordillera cantábrica, dominadas por *Ulex* y *Erica*, eran renovadas tradicionalmente mediante quemas cada 3-5 años cuando se embastecían.
- **Frecuencia media:** el período es de unas décadas. Muchos bosques de *Pinus halepensis* o de quercineas esclerófilas del levante ibérico sufren incendios con este patrón.
- **Frecuencia baja:** los incendios son raros, tanto que su aparición puede retrasarse un siglo o más. Son ejemplos de esta frecuencia los hayedos y robledales atlánticos bajo regímenes de renovaciones en las que el fuego no tiene preponderancia.

7.2.6. SEVERIDAD

La influencia de los fuegos es polifacética y afecta a casi todos los elementos del ecosistema en diverso grado y forma, pero no siempre de igual manera.

La severidad, o afección, es el alcance de la modificación que el ecosistema sufre por el fuego (Whelan, 1995). Se trata de un atributo derivado de los otros componentes del régimen, entre los que destacan la intensidad, el tipo, la época y la frecuencia. La severidad depende de:

- El comportamiento del fuego.
- Las condiciones del monte entendiendo esto como la situación y naturaleza de las poblaciones que lo forman.
- Las condiciones ambientales antes, durante y tras la combustión; especialmente, de la meteorología.

Fotografía 7.29. Los incendios intensos en bosques coronan toda la estructura y suelen ser de gran severidad. El reinicio de la ocupación vegetal tiene lugar en condiciones de terreno despejado. La cantidad de necromasa que queda en el lugar es significativa si no media intervención humana.
Bosque de *Pinus ponderosa* quemado en el Parque Nacional del Cañón Bryce (Estado de Utah, Estados Unidos).

Fotografía 7.30. Gran parte del suelo vegetal llega a arder en condiciones de sequedad. Una medida simple y usual para establecer la severidad del fuego se hace determinando el consumo de mantillo.

Incendio en Mazaricos (La Coruña/A Coruña).

Los efectos de la renovación suelen ser dispares y contrapuestos para las distintas poblaciones que integran el sistema y sus propágulos. Fernandes *et al.* (2002) clasifican los daños causados por fuego en directos e indirectos, asunto que se desarrolla en el **capítulo 8**.

El legado biológico es el conjunto de material orgánico, vivo o muerto, que permanece en el ecosistema después de una perturbación. La severidad y el legado son conceptos complementarios, ya que el resultado de una baja o alta severidad es, respectivamente, un legado mayor o menor.

El grado de afección del fuego en el nivel de detalle se asocia a algunas características del frente de llama, como la intensidad, la velocidad de propagación y el tiempo de residencia de la combustión. La heterogeneidad espacial de los daños es habitual. También influyen en lo anterior aspectos relacionados con el momento del evento: la situación fenológica, la fase del ciclo vital de la vegetación, la meteorología y el combustible disponible (Larrañaga *et al.*, 2007). Los atributos intrínsecos del ecosistema y su entorno condicionan igualmente el grado de la severidad. La resistencia que las poblaciones del monte muestren a ser alteradas por el fuego determina en parte la profundidad del cambio. Asimismo, la resiliencia conforma la capacidad con que el ecosistema puede volver a un estado similar previo al fuego.

Es conveniente hacer notar que resulta necesario un determinado nivel de severidad en el caso de las formaciones o especies pirófitas para garantizar su mantenimiento o regeneración. Así, algunos taxones necesitan severidades altas para poder perpetuarse (Bond y van Wilgen, 1996). Muchos de estos organismos se asocian a incendios de verano de intensidades fuertes, que son los que más han influenciado evolutivamente en algunos ecosistemas. Por ejemplo, la mayoría de los montes de matorral ibérico tiene una gran dependencia del fuego hasta el punto de que su existencia se corresponde con unas determinadas características del presente régimen de incendios (Tárrega y Luis, 1990; Tapias, 2006). Por tanto, se intuye que la severidad es relativa dependiendo de las distintas especies y comunidades. Hay taxones claramente beneficiados y otros perjudicados para un mismo fuego o régimen de este.

La severidad puede clasificarse de formas diversas según el enfoque que se pretenda dar. Bajo la perspectiva forestal, puede ir desde valorar las posibles pérdidas madereras hasta evaluar la afección al hábitat de un determinado taxón (Jain y Graham, 2004). Usualmente, se estima el alcance del cambio de la estructura vegetal, la reducción de la biomasa, el grado de disminución de las poblaciones presentes y la modificación de las opciones de persistencia, regeneración y reproducción de estas.

Sevilla (2008) aporta una escala sencilla y útil para valorar la severidad por fuego en los montes:

- **Muy alta**: cuando las estructuras aéreas de la vegetación resultan prácticamente eliminadas y el daño a los sistemas radicales es notable. El mantillo superficial queda reducido a cenizas.
- **Alta**: cuando casi todas las estructuras aéreas mueren, pero el sistema radical sufre pocos daños constatables.
- **Media**: los sistemas radicales no sufren prácticamente daños, y la parte aérea de algunos individuos o grupos de plantas sobreviven.
- **Baja**: sobrevive buena parte de la vegetación dominante anterior al fuego.
- **Muy baja**: la combustión solo mata a la vegetación de menor talla, la dominante tiene parte de los tallos chamuscada y algún individuo recibe daños letales ocasionalmente.

Obviamente, es necesario modificar esta graduación con los infrecuentes incendios que solo son de subsuelo, ya que los signos tomados para las valoraciones han sido pensados exclusivamente para los incendios en superficie.

La severidad se puede valorar de formas simples, como haciendo una estimación de la fracción de la materia orgánica del suelo consumida o, más complejamente, con apreciaciones cuantitativas de las mortandades en las poblaciones dominantes según la clasificación de Sevilla, por el grado de soflamado de copas o chamuscados en troncos en fuegos bajo cubierta o por la fracción de arbolado muerto y su distribución espacial en el mosaico del bosque (Weatherspoon, 1996). En este sentido, Jain y Graham (2004) desarrollaron una metodología con la cual analizar las afecciones en todos los estratos del bosque como base para un estudio que trata de arrojar luz acerca de la significación de la estructura del mismo sobre los efectos de los incendios.

La severidad puede ser evaluada de una manera aún más amplia considerando incluso indicadores que reflejen aspectos socioeconómicos (López y Vélez, 2005; Gimeno *et al*., 2009).

7.2.7. SINERGISMO

El sinergismo se refiere a la alteración de la susceptibilidad al incendio del monte por la acción de otros agentes perturbadores o viceversa (Bond y van Wilgen, 1996). La acción de un incendio puede variar el riesgo de un bosque a sufrir otras renovaciones, como ayudando a que se produzcan ataques masivos de escolítidos en pinares, y también ocurre en sentido contrario: por ejemplo, un "barrido" grupal de arbolado por un alud que modifica la cantidad de combustible disponible de un rodal y su susceptibilidad a tener un incendio.

Son procesos concatenados que crean una retroalimentación en que cada agente facilita la acción del otro sobre el monte; a veces, en varias ocasiones seguidas a medio plazo.

Este asunto se desarrolla con más profundidad en el **capítulo 8** (*8.1.3.2. Otros agentes del régimen de renovaciones: la concatenación sinérgica de eventos*).

Fotografía 7.31. El barrenillo *Dendroctonus ponderosae* se ha convertido en un problema que está afectando profundamente a los bosques de la Columbia Británica. El floetófago es natural y endémico de las coníferas del lugar, aunque tiene preferencia por *Pinus contorta*. Según Konkin y Hopkins (2009), el comportamiento epidémico de las poblaciones de la plaga ha aumentado enormemente en las últimas décadas por dos motivos: por una parte, la mayor suavidad de los inviernos debida al cambio climático permite supervivencias invernales de las poblaciones del insecto bastante altas; por otra, la estructura homogénea y coetánea de amplias superficies de bosques generada por el seguimiento de las normas contraincendios y de explotación maderera vigentes durante décadas facilita que los ataques sean uniformes al haber poca amenidad de clases de edad en espacios amplios.

La acción de la plaga está aumentado ingentemente la cantidad de combustible disponible de muchos bosques de la región, lo que va a influir sobre el régimen de incendios; probablemente, haciendo que sean más intensos y severos.

Tumber Ridge (Provincia de la Columbia Británica, Canadá).

7.3. TIPOS DE REGÍMENES DE INCENDIOS

Los regímenes de incendios se pueden categorizar a partir de sus atributos más significativos: frecuencia, intensidad/tipo de fuego y severidad. Las clasificaciones deben usarse con cautela, porque son fuertes simplificaciones de un continuo que se da en la realidad. Las clases se encuentran separadas por límites borrosos y pueden apreciarse de forma diferente según la escala espacial o temporal que se tome como referencia. Hay que tener en cuenta que existe una gran variabilidad dentro de cada categoría, y que los diferentes tipos se superponen entre sí en cierta medida.

Los siguientes son dos modelos de tipos de regímenes: el de Chang (1996) y el de Schmidt *et al.* (2002; modificado por Keeley *et al.,* 2009). Deben considerarse como meras propuestas generalistas, ya que la validación de un modelo para un área determinada tiene que hacerse particularizando sobre la base de observaciones y datos suficientes. Por ejemplo, Jardel (2010) realizó una propuesta específica para los montes mexicanos, aunque reconoce que su validación final todavía depende de más investigaciones.

La clasificación de Chang (1996) considera siete clases básicas de regímenes:

1. Incendios de intervalo corto que provocan una sustitución de la vegetación o, al menos, de la parte aérea de las plantas: el fuego es muy frecuente y relativamente intenso, lo que beneficia el dominio de especies pirófitas. Se da en montes de matorral o herbáceas usualmente, como el régimen impuesto en algunas landas de brezo o tojales del norte peninsular, que son renovadas cada pocos años por motivos pastoriles.
2. Incendios de intervalo corto, de superficie y escasa intensidad bajo arbolado: los fuegos suelen ser regulares y frecuentes, de forma que generalmente no permiten acumulaciones que faciliten el desarrollo de ulteriores fuegos de alta intensidad bajo cubiertas arboladas. Este tipo de regímenes producen diversos efectos en los bosques:
   - Las combustiones favorecen a las especies intolerantes a la sombra frente a las tolerantes, así como a los taxones dependientes y/o resistentes al fuego frente a los que no lo son.
   - El fuego renueva a la vegetación del sotobosque sin apenas daños a la cubierta arbolada.
   - Los fuegos de copas son raros y están asociados a condiciones meteorológicas adversas.
   - Hay lugares puntuales y situados de modo heterogéneo en los que el fuego se desarrolla con más intensidad, lo que produce pequeñas aberturas en la cubierta; es decir, renovaciones en el dosel arbóreo a escala detallada.

   Un ejemplo de este régimen es el que se está tratando de implementar bajo algunos fustales de *Pinus canariensis* en la isla de Gran Canaria mediante quemas prescritas (Fababú *et al.*, 2007).
3. Incendios de superficie con intervalos e intensidades variables: son fuegos con frecuencias irregulares, de propagación lenta y que raramente llegan a desarrollarse en las copas. Es un tipo de régimen usual bajo cubiertas de bosques sitos en paisajes donde las frecuencias de incendios son relativamente altas, como zonas húmedas cantábricas y del noroeste. El patrón normalmente es de incendios de matorral que alcanzan a pinares, robledales o castañares. Los frentes de llama bajo esas cubiertas suelen avanzar lentamente y a veces de modo fragmentado, quemando hojarasca o sotobosque por lo general.
4. Incendios de superficie de baja intensidad e intervalos largos: son fuegos de propagación habitualmente lenta que raramente se desarrollan en copas o producen la muerte masiva del arbolado. Los efectos de estas renovaciones dependen de las especies implicadas, de su fase de desarrollo y de la intensidad de la combustión. Estos incendios son los que podrían acontecer en bosques de tendencia eurosiberiana, en áreas donde no hay problema social en cuanto al uso del fuego, como en pinares, robledales y hayedos de la montaña palentina, de la sierra de La Demanda o del macizo del Urbión.
5. Incendios de superficie de alta intensidad e intervalos largos: suceden en lugares donde los incendios son escasos, pero pueden llegar a ser de alta intensidad cuando se producen, incluso de copas, y realizar la renovación de toda la vegetación. Ejemplo de este ré-

Fotografía 7.32. Los bosques de caducifolias de tendencia atlántica en latizal o fustal producen un sombreo intenso que limita la presencia de sotobosque y facilita unas condiciones microclimáticas más húmedas. Los incendios aquí suelen ser de hojarasca y de propagación lenta. Además, estas especies son intolerantes al fuego, por lo que la frecuencia ha debido ser baja para que lleguen a dominar; al menos, a escala de rodal, porque el fuego se usó mucho en la comarca por la actividad pastoril. Es un monte con un régimen de incendios nº 4 en la clasificación de Chang, o un III en la de Schmidt *et al.*

Bosque de Irati, Orbaitzeta (Navarra/Nafarroa).

gimen son bosques bajo climas mediterráneos continentales en áreas con baja frecuencia de incendios, pero que arden fácilmente y con intensidad variable en verano, como pinares, encinares, sabinares o rebollares en el centro peninsular y tan comunes en las provincias de Guadalajara, Soria, Teruel o Segovia.

6. Incendios con intervalos muy dilatados que producen la renovación de todos los estratos de la vegetación: son fuegos de gran intensidad cuyo período de retorno es secular, hasta de dos o tres siglos. No existen regímenes ibéricos ni macaronésicos con estas características en la actualidad. Quizá localmente se podría afirmar que algunos bosques de coníferas en Pirineos o en el Sistema Ibérico norte puedan tener cierta similitud con este patrón.
7. Régimen variable: tanto incendios de intervalo breve y baja intensidad como de período largo y renovación de toda la vegetación que se suceden en el territorio. Este régimen aparece por una coincidencia de variables compleja que produce resultados diversos en los montes. Los pinares del Levante peninsular y del Ibérico sur, donde las igniciones por rayo son habituales y producen pequeños incendios, pudieran ser un ejemplo de este régimen. Tales incendios usualmente se encuentran limitados por la acción de los medios de extinción, pero se convierten en extensos y severos cada 20-50 años coincidiendo con situaciones meteorológicas de riesgo.

En la tabla 7.2. se muestra la clasificación considerada por Keeley *et al.* (2009), más sintética y con menos divisiones.

Tabla 7.2. Clases de regímenes de incendios, según Schmidt *et al.* (2002), modificado por Keeley *et al.* (2009).

Clases	Intervalo (años)	Estrato de propagación	Intensidad	Efectos
I	1-35	Superficiales y sotobosque	Destrucción del sotobosque y reducción del combustible superficial	Afección de baja a moderada en el estrato arbóreo y con mortalidad del sotobosque.
II	1-35	Superficial mayoritariamente	De baja a moderada	La mayoría de los órganos aéreos del estrato muere y la práctica totalidad de los combustibles superficiales se consume.
III	35-100	Superficial y de copas	Mixta con posibilidad de intensidades bajas y altas	Alta mortalidad del sotobosque y reducción del combustible, aclaramiento de la cubierta arbórea.
IV	35-100	De copas mayoritariamente	Alta	La mayoría de los órganos aéreos muere, alto consumo de combustibles.
V	> 200	De copas mayoritariamente	Alta	La mayoría de los órganos aéreos muere, alto consumo de los combustibles.

Fotografía 7.33. Los montes del Sistema Central occidental han estado expuestos al fuego por los rayos y a la actividad humana desde tiempos inmemoriales. La propagación aquí se ve favorecida por la orografía y la sequedad del verano sobre unos sustratos con baja capacidad para retener agua.

En la imagen se observa un rodal quemado once años atrás en un incendio por rayo que afectó a la zona en 1995. Este dejó en algunas zonas un estrato de fustal abierto, y la propagación probablemente se vio entorpecida por el berrocal. El monte está evolucionando hacia un pinar semi-irregular laxo según la regeneración se va afianzando. Es un régimen de incendios nº 5 de la clasificación de Chang o un IV en la de Schmidt *et al.*

Valle de Iruelas, El Barraco (Ávila).

..., podemos asegurar que la ecología es la ciencia de lo infinitamente complejo.

José Manuel Gandullo. Edafología, ecología y reforestación (1990).

8 RUDIMENTOS DEL FUEGO EN LA NATURALEZA

La ciencia forestal versa sobre la conducción racional de los ecosistemas bajo el principio fundamental e irrenunciable de que se asegure el mantenimiento dinámico de estos para satisfacer las demandas y necesidades de la sociedad de modo sostenible y sostenido. La comprensión y conducción de los cambios generacionales, estructurales y de la composición de la vegetación sobre la base de procesos naturales o antrópicos son los objetivos principales del conocimiento forestal. Por ello, es necesario atisbar, aunque sea de modo grosero, cuáles son los factores y reglas que condicionan las repercusiones que el fuego tiene sobre los montes.

Desde el punto de vista del gestor forestal, el interés sobre la influencia del fuego se centra sobre todo en saber qué efectos va a producir en los montes y cómo van a evolucionar estos tras el evento renovador, ya sea incendio o quema. Si bien las predicciones sobre la dinámica y estado futuro de los montes son estrictamente imposibles (Terradas, 2005) debido a la preeminencia de los procesos caóticos y estocásticos, el conocimiento de los mecanismos que determinan la evolución de los ecosistemas ayuda a vislumbrar los escenarios más probables (Sevilla, 2008).

A continuación se desgranan los principios que relacionan a las biocenosis forestales y al fuego, que determinan el resultado de los incendios y las quemas. El encaje ecológico entre monte y fuego es el conocimiento esencial de esta parte de la ciencia forestal y permite concebir los resultados de los incendios o la posibilidad de emplear al fuego como herramienta.

La redacción de este capítulo se ha realizado teniendo de referencia principalmente los siguientes textos: Bond y van Wilgen (1996), Sevilla (2008), Whelan (1995) y Wright y Bailey (1982).

8.1. LA VEGETACIÓN Y EL FUEGO

El fuego forestal consiste en la combustión de material vegetal silvestre vivo o muerto, una renovación que puede llegar a transformar a todo el ecosistema. Es una modificación del monte conspicua y rápida desde la percepción humana.

Determinar previamente los resultados del fuego sobre un monte resulta complejo porque los efectos de la renovación en el ecosistema no son una alternativa binaria que dependa de que haya combustión o no, sino que obedecen a numerosas variables interrelacionadas, lo que hace que los resultados del fuego puedan ser múltiples (Bond y van Wilgen, 1996). La dificultad de llevar a cabo una estimación real es exponencial si se considera toda la influencia del régimen de renovaciones global y el enfoque de paisaje del agente renovador fuego.

Los resultados de fuegos con comportamientos similares pueden ser bastante diferentes en un mismo monte y una determinada formación vegetal puede arder de diversas formas, por lo que el elenco de posibles modificaciones inducidas por el fuego en un mismo ecosistema es variado y amplio. Algunos efectos de este tipo de renovación se relacionan sólidamente con el comportamiento del fuego (Fernandes *et al*., 2002), pero otras consecuencias significativas se deben a la situación del monte, al momento del evento, al contexto ambiental y territorial o a sucesos posteriores al fuego.

El efecto del fuego sobre el monte es el resultado de una conjunción de variables complejas que se pueden dividir de la siguiente forma:

a) La situación del ecosistema antes de la renovación: cómo es y cómo está el monte antes de arder condicionan las características del fuego y los efectos de la renovación. La estructura, la composición y el momento vital del ecosistema influyen en el vigor y capacidades que la vegetación posee para superar de una u otra forma a la posible renovación y participan en determinar qué sucederá después de la combustión.

b) Las características del evento renovador: el comportamiento del fuego provoca efectos directos a escala de detalle con contrastes en espacios cercanos, y las particularidades del episodio como conjunto determinan la severidad del evento en el nivel de ecosistema. Tal comportamiento está relacionado íntimamente con la vegetación, ya que esta forma el complejo combustible y es la parte del ecosistema que recibe las alteraciones más visibles.

c) La evolución tras el paso del fuego: las condiciones ambientales después de la combustión condicionan enormemente la reacción de la vegetación superviviente, así como el contexto territorial del quemado, que a su vez influye, por ejemplo, en la dispersión y la colonización.

Conocer la situación del ecosistema previa a la renovación, los rudimentos de cómo la vegetación es modificada por el evento y los mecanismos de respuesta habituales de las plantas al fuego sirve para tratar de estimar las tasas de supervivencia, reclutamiento y desarrollo de los organismos; es decir, cómo será la sucesión tras la perturbación. En general, el comportamiento de la vegetación después de un fuego obedece en buena medida al grado de afección que haya sufrido o, lo que es lo mismo, a la conformación del legado resultante. La influencia del ambiente y otros procesos posteriores determinarán el ritmo del reclutamiento de nuevos individuos viables y el crecimiento vegetal tras la renovación (Whelan, 1995).

8.1.1. EL MONTE QUE RECIBE AL FUEGO

Los ecosistemas están en constante cambio y evolución, y los eventos renovadores son puntos de inflexión o cuellos de botella en la dinámica vegetal.

Las perturbaciones pueden constituir puntos de inflexión si cambian el devenir de la dinámica forestal y el monte es, o tiende a ser, algo distinto de lo que fue anteriormente a partir de ese momento; por ejemplo, un incendio que acaba con un pinar y cuyo predio pasa a ser un jaral.

Por otra parte, las renovaciones son un cuello de botella cuando limitan las oportunidades del ecosistema para ser otra cosa. En tal caso, ayudan a que este permanezca esencialmente como lo que es. Volviendo al jaral del

caso anterior, un incendio posterior podría malograr su colonización arbórea incipiente y su paso a diseminado o monte bravo facilitando así el dominio de otra generación de matorral.

El fuego induce cambios en el monte, pero las variaciones posibles del ecosistema están circunscritas a la realidad biológica de la formación vegetal, al efecto de otros factores naturales del medio (fitofagia, erosión, topografía, etc.) y a las condiciones ambientales posteriores salvo decidida acción humana.

A continuación se explica cómo son los vegetales frente al fuego; primero, de forma individual, y luego gregaria.

8.1.1.1. Atributos vitales de las plantas frente al fuego

La diversidad de estrategias de supervivencia de las plantas es amplia y eso se refleja frente al agente ecológico fuego. La adopción de todo mecanismo biológico de protección, supervivencia o regeneración se basa en un principio de coste/oportunidad. Adoptar una estrategia o adaptación da, tanto a la especie como al individuo, una ventaja relativa respecto a sus competidores en determinadas circunstancias. No obstante, también incluye un riesgo: comprometer recursos en opciones que pueden no ser las más adecuadas frente a las hipotéticas situaciones que el organismo deba afrontar en el futuro. En general, esto influye en la composición y situación de los montes a través de los procesos de sucesión de las poblaciones a corto plazo, así como en la selección y evolución de las especies durante tiempos dilatados.

Ciertos atributos vitales de las plantas tienen sentido para oportunidades de supervivencia o establecimiento puntuales, fugaces y que aparecen irregularmente, pero que pueden condicionar la sucesión y el estado del monte durante generaciones (Sevilla, 2008), como a veces es el suceso de un incendio y las condiciones inmediatamente subsiguientes.

Algunos de los atributos vitales tienen utilidad en distintas situaciones, de modo que resulta difícil distinguir la necesidad evolutiva que las ha generado (Tárrega y Luis, 1990). Este efecto se refleja en que no hay una relación unívoca entre las renovaciones y los atributos que aumentan la supervivencia de los organismos, sino tendencias (Sevilla, 2008).

Por su parte, el fuego ejerce una presión selectiva diferencial en función de cada régimen de incendios en un lugar. En las poblaciones de una especie históricamente más expuestas a los incendios, se observa usualmente mayor desarrollo y preeminencia de aparición de estructuras resistentes al fuego (Tapias y Gil, 2000). La progresiva mejora del conocimiento sobre el pasado remoto confirma que adaptaciones como la serotinia o los lignotubérculos fueron seleccionados en periodos de incendios frecuentes (Pausas, 2012).

La heterogeneidad de la composición específica de muchos montes —en ocasiones, con contrastes fuertes— parece confirmar que diferentes tendencias de adaptación son válidas para un mismo régimen de renovaciones o, mejor dicho, para diferenciales espaciales de este y la influencia combinada de las condiciones ambientales, que siempre tienen fluctuaciones aun siendo similares en espacios próximos. En definitiva, los rasgos de cada taxón acaban definiendo en buen grado su futuro en el monte. Por ejemplo, el pino negral (*Pinus pinaster*) está cediendo espacio al pino carrasco *(P. halepensis*) en el Levante ibérico debido al cambio del régimen de incendios durante el último siglo (Gil *et al.*, 1990; Gordo y Gil, 1990).

Fotografía 8.1. El pino canario (*Pinus canariensis*) forma bosques bastante adaptados a los incendios debido a su facultad de rebrotar tras ser afectado por el fuego.
Obviamente, el significado del fuego en estos pinares es diferente al que tiene en otros bosques debido a las peculiaridades biológicas de la población dominante.
En primer término de la imagen unos pinos soflamados en una quema, que se recuperaran del impacto del fuego.
La Victoria de Acentejo (Tenerife).

8.1.1.1.1. Estrategias perpetuadoras y mecanismos de ocupación

Una forma básica de clasificar a los vegetales frente a las renovaciones atiende a sus estrategias reproductoras. La preponderancia de la regeneración sexual o asexual —así como si esta resulta estimulada por efecto del fuego— influye en la reacción del ecosistema tras la renovación. Es posible obtener una información bastante completa sobre cómo evolucionará cada especie bajo un determinado régimen de renovaciones si, además, se observan los diferentes mecanismos de ocupación (Sevilla, 2008). Con estos factores, se puede valorar de un modo sencillo la posibilidad de que haya una perpetuación de las especies iniciales o tendencia al cambio en la composición y dominancia en caso de producirse una perturbación.

8.1.1.1.1.1. Estrategias rebrotadoras

La capacidad de regeneración vegetativa —es decir, de que el propio individuo se rehaga después de haber sido parcialmente destruido— constituye una ventaja biológica de ciertas especies que las hace más independientes frente a las condiciones abióticas tras un evento renovador en comparación con las que solo tienen reproducción sexual (Luis *et al*., 2005). Esto explica su mayor resiliencia al suceso de fuego, lo cual además les ayuda a desarrollarse inicialmente con mayor rapidez que los brinzales y a alcanzar la dominancia en el rodal si se dan las circunstancias adecuadas. El rebrote es una alternativa que tiene muchas virtudes ante todas las renovaciones que produzcan amputaciones o daños tisulares parciales, pero que respeten al menos parte del sistema radical. La posibilidad de rehacerse tiene obviamente un coste, que es una mayor necesidad de invertir recursos en estructuras para el acopio de carbohidratos. Muchas especies leñosas realizan el almacenaje en los radios parenquimáticos del xilema secundario de las raíces (Costa, 2006), aunque otras presentan estructuras específicas de acumulación. Esta adaptación de provisión energética permite a las rebrotadoras poseer un mayor remanente metabólico con que restañar sus heridas y producir un crecimiento vigoroso después del fuego cuando sea posible.

El rebrote es una facultad relativa: no todas las especies la tienen y existen variaciones individuales de acuerdo con el acervo genético de cada población y organismo. La capacidad vegetativa se ve modulada por la edad —plantas muy jóvenes o senescentes la tienen minorada usualmente—, por el estado fisiológico de la planta al suceder el daño y por el momento del ciclo vegetativo anual. Además, también depende del agente que produzca el daño, pues no todas las especies con facultad de rebrote reaccionan de igual manera frente a cada tipo e intensidad de agresión. Muchas plantas rebrotadoras no son estimuladas por el fuego, su efecto es un revulsivo notable dentro de unos límites para las más adaptadas y produce depresiones marcadas en sus poblaciones en el caso de otras.

Por otra parte, las características de la combustión y las condiciones ambientales posteriores al fuego inciden en el vigor de la respuesta por rebrote. Normalmente, el aumento de la exposición solar del suelo y de espacio tras la combustión facilita la actividad vegetativa.

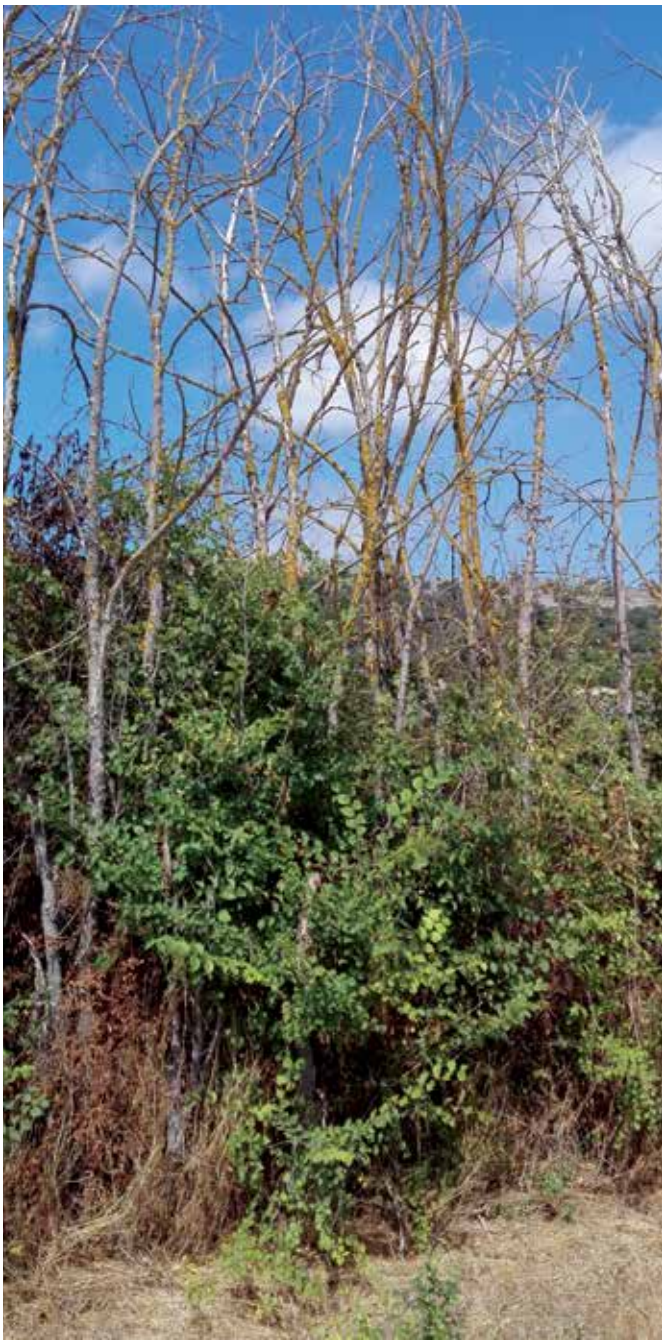
Fotografía 8.2. La capacidad de rebrote es una enorme ventaja fisiológica que facilita la supervivencia, aunque no es gratuita, ya que conlleva la movilización de ciertos recursos en la planta. Brotes de cepa en un castaño (*Castenea sativa*) senescente y quemado. La parte aérea original está agotada, pero no así la totalidad de su sistema radical, que emite tallos para mantener la actividad vital.

La Ará, Riosa (Asturias).

Las yemas son los órganos meristemáticos encargados de producir el rebrote en las plantas y pueden tener un origen distinto en los taxones leñosos: proventicias —existentes antes de la renovación— o adventicias —generadas tras el fuego—, lo que condiciona la viabilidad futura del chirpial (Bravo *et al.*, 2008).

Las proventicias pueden aparecer por encima y/o por debajo del cuello de la raíz según especies y suelen estar relativamente protegidas del calor gracias a cortezas gruesas o al suelo (Lloret, 2004). Las adventicias pueden generarse en cualquier parte verde de la planta si tiene la vitalidad suficiente. El fuego daña a estas estructuras de regeneración de modo similar al resto de los tejidos de la planta; por tanto, la posibilidad de rebrote queda limitada por la severidad de la renovación.

Fotografía 8.3. Existen especies en cuya evolución el agente fuego ha tenido una influencia importante y han desarrollado estructuras y mecanismos para sobrevivir a su efecto o lo aprovechan ventajosamente frente a otras especies.
En la imagen se observa un lignotubérculo de *Erica*: un órgano subterráneo para el acopio de carbohidratos y reserva de yemas dormidas. Facilita al individuo sobrevivir al fuego y rebrotar vigorosamente para ocupar rápidamente el espacio liberado en la renovación.
Cantabrana (Burgos).



Fotografía 8.4. El rebrote sirve a los vegetales para reponerse de todo tipo de agresiones que dañen a los órganos vegetativos. La capacidad de rebrote está limitada por el vigor que el sistema radical tenga, pero el número de rebrotes que una planta puede hacer es finito.
La imagen muestra una orla de *Ulmus minor* de un campo de cultivo. Los tallos adultos han muerto por efecto de la grafiosis (*Ophiostoma* spp.). Los barrenillos portadores del hongo (*Scolytus* spp.) atacan a los tallos cuando alcanzan un determinado diámetro. El efecto del hongo es devastador en la mayor parte del árbol, salvo en algunas raíces menores. Desde las más vigorosas de estas, el individuo puede rehacerse, aunque el agotamiento vegetativo de los olmos después de tres décadas de acción de la enfermedad resulta patente. Pese a su resiliencia, estos organismos terminarán por sucumbir.
Torme (Burgos).

8.1.1.1.1.1.1.1. Tipos de regeneración vegetativa

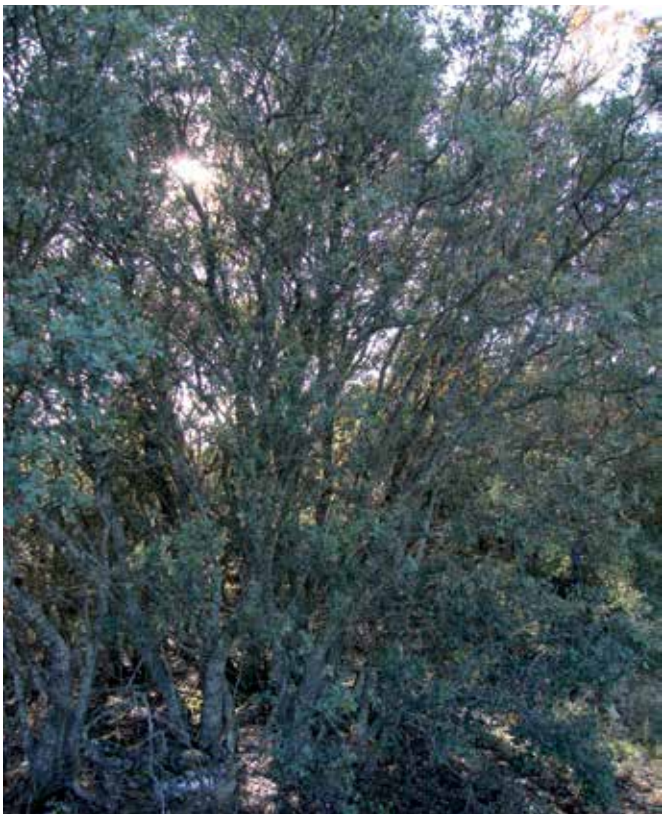
Existen diferencias notables en la forma de rebrotar entre las distintas especies leñosas que tienen esa capacidad en función de su tipo vital, estructura, tamaño y daños que el fuego les cause.

La capacidad de regeneración vegetativa se presenta en distintas formas de ocupación del espacio liberado tras una renovación, cada una de las cuales tiene unas ventajas e inconvenientes. Para ejemplarizar esto, se pueden hacer algunos apuntes pensando en las especies arbóreas o de matorral más comunes:

- El rebrote de tronco o copa solo es posible si la renovación ha sido poco severa y ha respetado a parte de la estructura aérea. Tiene la ventaja de poner a los brotes a mayor altura, más cerca del sol y más lejos de predadores y competidores. Además, facilita reiniciar la fotosíntesis rápidamente, lo que disminuye el gasto de reservas.
- Los chirpiales de cepa logran un efecto de protección mutua en la germinación y primer crecimiento junto con el apoyo de un sistema radical centralizado. Sin embargo, sufren un estancamiento marcado más adelante por efecto de la competencia aérea mutua, lo que puede ser una limitación significativa si el organismo en cuestión tiene capacidad para alcanzar porte arbóreo.
- Los brotes de raíz dan flexibilidad espacial a la aparición de las nuevas estructuras aéreas y minimizan los problemas de competencia entre tallos próximos. No obstante, el efecto positivo de la centralización de las raíces en torno a las estructuras aéreas se reduce al tener aquellos una localización más ubicua en el complejo radical. Esto puede ser importante en situaciones desfavorables o cuando el agotamiento vegetativo del individuo resulta considerable.

Los incendios medianamente severos suelen inducir rebrotes de cepa o de raíz. El rebrote epicórmico desde el tallo o las ramas es más raro dadas las características de la renovación para casi todas las especies si esta tiene una intensidad suficiente. Los rebrotes epicórmicos habitualmente aparecen asociados a árboles con raigales, tallos y ramas bien protegidos, como *Quercus suber* o *Pinus canariensis*, que únicamente sufren daños foliares en estos casos.

Fotografía 8.5. Las especies pirófitas con capacidad de rebrote suelen tener una reacción rápida tras el fuego si sobreviven. Esto les permite ocupar rápidamente el espacio y posicionarse con ventaja en la lucha por la dominancia en su derredor.
Chirpial de *Arbutus unedo* creciendo tras un intenso incendio en un pinar. Hay un buen número de plántulas de *Pinus pinaster* de una savia a su lado, pero el madroño ha crecido mucho más que los brinzales posicionándose mejor en el espacio por el momento.
Valencia de Alcántara (Cáceres).



Fotografía 8.6. Los recepes reiterativos llevan a determinados árboles con regeneración vegetativa a convertirse en matas, mientras que los bosques se convierten en arbustedos.
Cuando las matas se desarrollan, tienen el problema del estancamiento en el desarrollo por la competencia entre los brotes. Eso limita su crecimiento si no se interviene y produce estructuras de monte bastante susceptibles de ser otra vez impactadas por fuego.
Carrasca (*Quercus ilex*) en Castilmimbre (Guadalajara).

Usualmente, las plantas rebrotadoras se han clasificado como "obligadas" o como "facultativas". Las obligadas son vegetales cuya parte aérea normalmente es destruida por el fuego y siempre tienen que rebrotar para sobrevivir. Las rebrotadoras facultativas, por su parte, son aquellas cuya estructura aérea suele sobrevivir al fuego al menos parcialmente; por tanto, acostumbran a rebrotar de copa o tronco. Esta es una clasificación útil, pero con límites difusos. Los daños habituales a una especie dependen tanto de la agresividad del fuego como del tamaño o madurez de las estructuras de protección del organismo. Por ejemplo, en la exposición de un alcornoque de dos savias a un frente de llamas, el resultado dependerá más de su pertenencia al estrato superficial, junto a hierbas y matas, que a su clasificación taxonómica.

Hay otras adaptaciones vegetativas más específicas, como los lignótuber —comunes en el género *Erica*— o los rizomas de helechos —como los de *Pteridium aquilinum*— que están íntimamente relacionadas con la superación de los efectos causados por el fuego. Otras especies poseen bulbos o tubérculos con una función similar. Estas estructuras permiten un rebrote similar al de cepa, pero con la ventaja de que los tallos se generan sobre un órgano central de acumulación de recursos tróficos, de forma que la respuesta vegetativa es más fuerte y rápida al haber un remanente central de energía.

La regeneración por acodados o estolones aéreos —como en el género *Rubus*— permite crear estructuras separadas y relativamente autónomas, pero aún conectadas y dispuestas como una malla en el terreno. Esto permite a un mismo organismo colonizar e invadir espacios y tener una ubicuidad a su escala que le facilita las opciones de permanecer después de un fuego.

Otro mecanismo de ocupación del espacio liberado consiste en la expansión de las plantas supervivientes al fuego. Si las estructuras exteriores del vegetal sobreviven a la renovación en cantidad considerable —a pesar de algunos daños—, la capacidad fotosintética no desaparece con el consiguiente ahorro de reservas de energía (Costa, 2006), por lo que el individuo probablemente tenderá a crecer más deprisa. Este fenómeno se asocia con combustiones poco severas que respetan a parte de la vegetación.

Fotografías 8.7. (izq.) y **8.8.** (der). El rebrote tras el fuego en los árboles es, si el alcance de los daños lo permite, preferentemente de copa. Esta reacción pone en valor la estructura anterior del individuo, en la medida de lo posible, alejando a las hojas de la competencia superficial y protegiéndolas de muchos herbívoros.
El rebrote se producirá desde el cuello del tallo o desde raíces más superficiales si la necrosis es general en la estructura aérea pero el sistema radicular sigue funcionando.
Izquierda: inicio del rebrote en las copas en un soto de castaños (*Castanea sativa*) tras un incendio.
Derecha: un rebollo (*Quercus pyrenaica*) rebrotando de cepa.
Quemado en recuperación. Asturianos (Zamora).

Algunas de las frondosas ibéricas con mayor capacidad de regeneración vegetativa ante el fuego son *Erica*, *Genista tridentata* y *Arbutus unedo*, así como las especies esclerófilas del género *Quercus* (Tapias y Gil, 2000), si bien el comportamiento de estas fagáceas es dispar. Por ejemplo, *Q. ilex* presenta un vigoroso rebrote de raíz, cepa o tronco, mientras que *Q. pyrenaica* genera más chirpiales por raíces estoloníferas que de cepa (Ruiz de la Torre, 1979; Vega *et al*., 2005). De entre las coníferas, destacan *Juniperus oxicedrus* y *Tetraclinis articulata* (Tapias y Gil, 2000). Los pinos ibéricos no son rebrotadores, aunque se han descrito observaciones sobre algunos juveniles de *Pinus halepensis* que pueden rebrotar de la base del tallo (Gil *et al*., 1996).

Las herbáceas son el grupo de rebrotadoras más recalcitrante y en ocasiones tienen una relación directa con el suceso fuego al ser el combustible disponible principal (Bond y van Wilgen, 1996), pero también hay matorral ibérico que se comporta de forma parecida.

Por último, cabe señalar que las especies rebrotadoras tienen asimismo capacidad sexual si llegan a la madurez suficiente, si bien preferentemente utilizan el rebrote ante renovaciones severas. En algunos casos y a medio plazo, esto les permite estructurar dinámicas poblacionales complejas y heterogéneas por la supervivencia combinada de chirpiales y brinzales de distintas edades.

Fotografía 8.9. Las zarzas (*Rubus*) son plantas bastante recalcitrantes frente al fuego. Suelen sobrevivir a los incendios o quemas porque alguno de sus acodos está lo suficientemente protegido del calor para no sufrir daños letales de frentes de llama homogéneos o porque recibe menos energía de forma diferencial. A partir de un solo rebrote, el organismo se puede rehacer y recolonizar su nicho anterior.
Rebrotes de unas zarzas de un quemado de primavera.
Villacidayo (León).

8.1.1.1.1.2. Germinadoras obligadas

Se da la paradoja de que especies sin capacidad de regeneración vegetativa y que sufren incendios destructivos ocasionales dominan en formaciones vegetales piropronas (Bond y van Wilgen, 1996). Esto se debe a que el fuego beneficia la germinación de semillas de ciertas especies pirófitas que producen brinzales con adaptaciones que les permiten tener un desarrollo viable en los quemados. El éxito del reclutamiento de nuevos individuos por germinación tras el fuego depende de un ciclo complejo: de la disponibilidad de semillas y de la naturaleza de su almacenaje, de su supervivencia a la renovación, de las condiciones del lecho de germinación, del ambiente tras el fuego y de la influencia de otros componentes del ecosistema, como la fauna, la competencia de rebrotadoras, etc. Además, la continuidad efectiva de la población para regímenes de fuego recurrentes se ve condicionada a que el siguiente incendio importante se produzca después de que los individuos hayan alcanzado la madurez sexual.

La aparición de nuevos individuos de una población después del fuego está regulada por (modificado de Whelan, 1995):

a) El tamaño del banco de semillas previo, que puede ser considerable en el caso de especies con semillas latentes acumuladas desde el último fuego.
b) La mortalidad de las semillas durante el evento renovador.
c) La proporción de semillas de los bancos que logre germinar y generar una plántula prospera tras el fuego. Este suceso tiene generalmente un efecto temporal corto, ya que los acopios desaparecen pasado un tiempo después del evento si no existen fuentes suficientes que mantengan las existencias.
d) La producción de semillas después del fuego por parte de las plantas maduras supervivientes y aledañas, así como el éxito de la instalación de los brinzales de este origen.

Las semillas de las especies colonizadoras encuentran generalmente un mejor lecho de desarrollo sobre suelos descubiertos o con cenizas que sobre mantillos y hojarascas espesas. Esto obedece a que el suelo quemado tiene mejores condiciones hídricas para su germinación y habitualmente atesora más nutrientes disponibles si no han mediado arrastres o lixiviaciones; asimismo, hay mayor cantidad de luz y calor, y menos competencia vegetativa. A pesar de lo anterior, la conservación de cierta cantidad de mantillo es beneficiosa en las estaciones más xéricas (Wade y Lunsford, 1989).

Fotografías 8.10. (izq.) y **8.11**. (der.). Un rasgo genérico de las especies de árboles colonizadores es que germinan bien en ambientes despejados y suelos desnudos como los que se originan después de renovaciones intensas. Esto ocurre tanto en zonas despejadas por el fuego o debido a otro evento renovador.

Izquierda: Profuso regenerado en una cuneta de un camino renovada hasta suelo mineral por la acción de la maquinaria.

Peralejos de las Truchas (Guadalajara).

Derecha: Juveniles de *Pinus sylvestris* instalados sobre arenas desnudas renovadas periódicamente por las avenidas del río Duero junto a *Salix*, que es un género bien adaptado a estas condiciones de habitación.

Duruelo (Soria).

La estrategia germinadora también se ve beneficiada por otros aspectos:

- En los quemados extensos suele haber una menor presión relativa de los animales que se alimentan de semillas en los primeros momentos tras el fuego, con lo que la cantidad de simiente disponible para la recolonización es relativamente mayor. Esto se debe por una parte a que las estrategias de dehiscencia y germinación masiva de muchas especies pirófitas provocan la saciedad temporal de los granívoros; por otra, a que el fuego transforma de modo negativo a los hábitats de muchos animales de pequeño tamaño reduciendo temporalmente sus densidades en los quemados (Bond y van Wilgen, 1996).
- El fuego desnaturaliza las sustancias alelopáticas acopiadas en el mantillo y el suelo que inhiben la germinación de ciertas semillas. Por el contrario, la puesta en luz del suelo, el calor de la combustión o incluso la acción química de compuestos presentes en el humo, carbones o cenizas, como se ha comprobado para algunos taxones (Whelan, 1995; Bond y van Wilgen, 1996; Pausas, 2010 y 2012), estimulan la activación de la simiente.

La germinación como estrategia de perpetuación presenta la ventaja de que un individuo nuevo se establece con todo su potencial genético y de desarrollo intacto. Si el organismo ha sido seleccionado de modo venturoso, puede tener más probabilidades de sobrevivir a las condiciones y renovaciones típicas de su área o a las situaciones novedosas del futuro y de llegar a desarrollar un fenotipo acorde con sus posibilidades.

Comúnmente, los nuevos brinzales en masas mixtas con rebrotadoras después de un fuego se ven relegados a los huecos no ocupados por la regeneración vegetativa. Si bien su crecimiento es más lento que el de los chirpiales durante los primeros años tras el evento renovador, los que logran instalarse suelen acabar dominando el espacio a su derredor con mayor facilidad a largo plazo. Esto es así puesto que alcanzan usualmente tallas más elevadas que los chirpiales, los cuales tienen un fenotipo más degradado, y ello se refleja en la existencia de estructuras en varios tallos que compiten entre sí, en el desgaste vegetativo debido a los sucesivos recepes y a situaciones senescentes en poblaciones por la falta de reclutamiento sexual en el caso de árboles rebrotadores.

En muchos casos, los chirpiales alcanzan la madurez sexual bastante antes que los brinzales (Bravo *et al.,* 2008), aunque estos últimos son normalmente más prolíficos en la generación de semillas dado su mayor vigor en edades adultas. También usualmente los propágulos de los brinzales terminan siendo dispersados desde mayor altura, lo cual es una ventaja si se hace por anemocoria, por lo que pueden llegar e instalarse más fácilmente en los huecos disponibles que se van poniendo a su alcance a medio plazo. En general, las especies rebrotadoras se ven beneficiadas por fuegos relativamente frecuentes, mientras que las germinadoras progresan más con períodos de retorno de la renovación medianos o largos (Bond y van Wilgen, 1996).

Fotografías 8.12. (arriba) y **8.13.** (abajo). Algunos pinos ibéricos se regeneran relativamente bien después de un incendio y bajo determinadas circunstancias.
Arriba: Abundantes brinzales de *Pinus pinaster* de una savia en el quemado del incendio de Sierra Fría de 2003, donde se hizo la saca de madera muerta rápidamente para facilitar el desarrollo adecuado del profuso regenerado nacido tras el fuego.
Valencia de Alcántara (Cáceres).
Abajo: Rodal de *Pinus halepensis* autorregenerado tras uno de los grandes incendios que asolaron al oriente peninsular en 1994.
Chera (Valencia/València).

8.1.1.1.1.2.1. Estrategias de diseminación y conservación de semillas

Las estrategias de dehiscencia y conservación de las semillas tienen una fuerte relación con el régimen de renovaciones para el que el taxón se encuentra mejor adaptado. Dos indicadores simples facilitan la clasificación de las plantas respecto a estos atributos: la longevidad de las semillas y las longitudes de dispersión usuales. La dispersión de las semillas suele producirse alrededor de las plantas madre, aunque la diseminación secundaria por viento, agua, rodadura o fauna puede hacer llegar más lejos a los propágulos y a veces provoca concentraciones de semillas en ciertos lugares.

La cantidad habitual de propágulos disponibles es también un indicador de la dinámica ecológica frente a las combustiones. En general, hay mayores probabilidades de que parte de las semillas válidas lleguen a generar brinzales viables tras el fuego cuanto más abundantes sean sus acumulaciones (Villalba *et al.,* 2007). A veces, no obstante, los acopios de simiente son diezmados por predadores o parásitos (Alía *et al*., 2005; Alonso *et al*., 2008).

En la cantidad de semilla disponible ante el fuego también influye el fenómeno de la vecería, que puede estar determinada por varios factores, entre los que destaca la ascendencia del ambiente en muchas ocasiones. Por ejemplo, la vecería del pino piñonero (*Pinus pinea*) ha sido largamente estudiada para los bosques de la meseta norte, en los que se observa una correlación significativa entre las cosechas y las precipitaciones (Gordo *et al*., 2012).

La mayor o menor preferencia por la estabilidad ambiental y el nivel de tolerancia de las especies se refleja de alguna forma en la longevidad de las semillas. Las plantas germinadoras más adaptadas a renovaciones frecuentes tienden a tener semillas más longevas.

La simiente logra una vida más larga con valores de humedad bajos y protegiéndose del exterior. Bajo estas condiciones, la viabilidad de las semillas de muchas especies ha sido constatada mucho tiempo después de su gestación. Las protecciones típicas suelen ser dentro de alguna estructura aislante propia del propágulo, como las cutículas impermeables, o abrigos resistentes de la planta madre, como las infrutescencias serótinas.

Comúnmente, las semillas impermeables se almacenan en bancos edáficos que suelen tener una potencia de unos 5 cm de espesor desde la superficie del suelo (Terradas, 2001). Especies de matorral ibérico como *Ulex, Cistus, Citysus, Genista*, etc. usan este método. La com-

binación de cubiertas impermeables y cobertura edáfica es eficaz porque la cutícula aísla de la humedad y de la oxidación al embrión y a sus reservas durante tiempos dilatados alargando su vida útil, y el suelo hace de almacén que protege a la semilla de los extremos atmosféricos y de otros agentes. La rotura de la latencia de la simiente del suelo por fuego se desarrolla en el epígrafe "**8.1.2.1.1.2. La activación de semillas pirófitas**".

Fotografía 8.14. La madurez sexual temprana en una población vegetal es otro indicativo de la importancia de las renovaciones frecuentes en la dinámica ecológica de unos montes a escala evolutiva.
En la imagen, un pimpollo de *Pinus pinaster* de una década de edad aproximadamente que ya presenta piñas. Buena parte de los estróbilos en la procedencia de la Sierra del Teleno son serótinos. Estos pinares son las poblaciones ibéricas de la especie en que la serotinia es más frecuente (Tapias y Gil, 2000).
Nogarejas (León).

Las semillas guardadas en bancos aéreos —como los piñones recogidos en estróbilos serótinos— quedan protegidas relativamente del fuego directo gracias a la altura a que están situadas y a la infrutescencia que las acoge. La longevidad de los embriones de los pinos, que no tienen cutículas impermeables, queda garantizada por esas mismas adaptaciones: la simple cobertura que las piñas proporcionan frente a las precipitaciones y su posición oreada, que facilita el secado.

Según Bond y van Wilgen (1996), la serotinia es una facultad de algunas especies adaptadas a un régimen de incendio que se caracteriza por los fuegos de copa y unos períodos de retorno de suceso de más de una década, pero, a su vez, lo suficientemente cortos para que no haya regeneración de individuos en los períodos entre fuegos de manera habitual. Cabe objetar, sin embargo, que los bancos aéreos tienen este comportamiento en distintos grados en el caso de los pinos españoles con serotinia, siendo normal que solo parte de las cosechas se comporten de modo serótino y que el resto tenga un ciclo habitual (Tapias y Gil, 2000; Vega, 2000). Por ello, esta adaptación puede presentar ventajas en distintos regímenes de incendios con frecuencias irregulares, como así ocurre. La serotinia también está asociada a incendios extensos, en los que la entrada de semillas procedentes de fuera del quemado resulta más difícil. De los pinos españoles, *Pinus halepensis* tiene claramente estróbilos serótinos, mientras que *P. pinaster* y *P. canariensis* pueden tenerlos, o no, según procedencias (Tapias y Gil, 2000; Río *et al*., 2008; Rodríguez *et al*., 2008; López *et al*., 2008). En ocasiones, se observa que los conos serótinos continúan dehisciendo semilla meses después de un incendio (Moreira y Vallejo, 2009), lo que constituye una estrategia de dispersión temporal de la simiente.

Por el contrario, hay semillas de vida efímera —las recalcitrantes— cuyo embrión muere ante un descenso moderado de la humedad y pasan a ser vanas. Estos propágulos se relacionan comúnmente con una tolerancia a la concurrencia elevada y con los ambientes estables asociados.

Las quercíneas de carácter mediterráneo tienen semillas de este tipo, pero suplen la falta de adecuación de su reproducción sexual a los regímenes de renovaciones frecuentes mediante su fortaleza vegetativa frente al fuego. Al fin y al cabo, la ecología se basa en la economía de recursos y cada organismo debe elegir sus tácticas en función de ellos, no pudiendo alcanzar la excelencia ante todas las situaciones posibles.

Los mecanismos de ocupación de las plantas germinadoras presentan cierta correlación con la longevidad de las semillas, con el régimen de renovaciones al que las especies están preferentemente adaptadas y con la tolerancia de los organismos. Las semillas enterradas son generalmente las mejor amoldadas al suceso de eventos severos.

Por su parte, las semillas ligeras facilitan la instalación relativamente apartada y masiva de nuevos individuos desde la planta madre por anemocoria. Este sistema es una forma típica de dispersión de especies heliófilas y pioneras, que les permite acceder a la colonización desde fuera de un quemado hasta cierta distancia. También se da esta táctica en especies umbrófilas que no toleran regímenes de perturbación demasiado activos y que aparecen de forma salteada en los bosques —como los géneros *Acer*, *Tilia* o *Ulmus*, por ejemplo—, lo que confirma que un mismo mecanismo sirve para situaciones diferentes.

Fotografía 8.15. La liberación masiva de simiente por efecto del fuego es un buen mecanismo para tratar de posicionar a la descendencia. Estas especies suelen tener características colonizadoras, ya que los organismos que germinen se enfrentan generalmente a condiciones de espacio descubierto.
En la imagen se observa el éxito de esta estrategia en un rodal de *Pinus halepensis* que ardió cuatro años antes. La regeneración es profusa en parte debido al retraso general en la dispersión de las semillas de al menos un año y a la serotinia de algunos estróbilos (Gil *et al.*, 1996). Esta última facultad hace que el banco aéreo de semillas se capitalice poco a poco según el árbol es más maduro y la cantidad de simiente liberada en caso de fuego sea mayor.
Quemado en Segorbe (Castellón/Castelló).

Fotografía 8.16. Los acebos (*Ilex aquifolium*) han llegado al rodal en el tracto digestivo de las bandadas de tordos y otras aves que usan los pinares como refugio. El acebo forma un vigoroso sotobosque que, si el pinar desaparece, es capaz de pasar a la dominancia. En la imagen, los pinos (*Pinus sylvestris*) han desaparecido en primer término por una renovación mecánica. El acebo ha debido de sufrir daños, pero su capacidad vegetativa le conduce al éxito en la sucesión.
Tarazona, sierra del Moncayo (Zaragoza).

Por otro lado, hay que destacar que no todos los individuos de las poblaciones vegetales sucumben usualmente al fuego. El comportamiento heterogéneo de los incendios, los atributos de resistencia y posición de cada individuo, así como la existencia de refugios, gradúan la supervivencia. Lógicamente, esta es mucho mayor con intensidades de fuego menores. De ese modo, resulta habitual que resten plantas vivas —generalmente, árboles dominantes— como parte del legado del monte anterior a la renovación. Estas continúan en el lugar produciendo y dispersando semillas que pueden generar nuevos descendientes y, por tanto, influyendo en la dinámica vegetal desde una situación privilegiada gracias al nuevo espacio disponible.

Las semillas pesadas son a veces funcionales ante la renovación por fuego en este tipo de contextos, dado que reaccionan con relativa eficacia tras el fuego si la afección es limitada en extensión y severidad (Sevilla, 2008).

Fotografías 8.17. (der.) y **8.18.** (izq.). Las diferencias de los tipos de semillas influyen en las capacidades de colonización de cada taxón. Las semillas pesadas están obligadas a germinar en las proximidades del individuo que las ha dehiscido, salvo zoocoria. Las semillas ligeras dispuestas para aprovechar la densidad y el empuje del aire pueden colonizar lugares relativamente distantes con mayor facilidad.

Izquierda: En la imágen se observan brinzales de *Pinus pinea* medrando bajo la copa de la que probablemente cayeron las semillas que los generaron. El piñón del pino piñonero es pesado y cae en las cercanías del árbol madre.

Derecha: Imágen del mismo lugar: un quemado de unos años en un bosque dominado por *Pinus pinea* con *P. pinaster* como acompañante. En el lugar hay un gran raso generado por el incendio en el que apenas hay árboles juveniles provenientes de colonización natural, y los que aparecen solo son de pino negral debido a que su piñón tiene adaptaciones anemócoras funcionales que le dan ventaja frente al del piñonero en estas situaciones.

Aldeamayor de San Martín (Valladolid).

Bajo ese supuesto, hay oportunidades cabales para que una semilla pesada llegue al hueco generado y tenga el suficiente abrigo —además de que otro evento similar no se produzca— durante el tiempo necesario para desarrollarse con unas garantías mínimas. Las semillas pesadas pueden ser transportadas por zoocoria, lo que les permite alcanzar a veces grandes distancias de dispersión, aunque no de forma masiva por lo general, salvo en zonas con fuerte querencia para rebaños o bandadas.

Para finalizar, cabe comentar que las tácticas de protección de la simiente son adaptaciones resistentes que facilitan la resiliencia en el nivel de población en última instancia. Además, conducen a un avance en la adaptación genética por la recombinación sexual, lo que suele tener un valor mayor para la supervivencia de la población o especie que la mera permanencia de unos individuos. Sin embargo, se pueden dar procesos de deriva genética en la regeneración sexual si hay efectivos poblacionales exiguos tras un fuego extenso (Alía *et al*., 2005). El caos también conforma la evolución.

8.1.1.2. Las tácticas resistentes: estructuras y formas de protección

Las tácticas resistentes en el nivel individual se basan en el desarrollo de estructuras de protección y de reserva en los individuos que limitan los daños directos del fuego a los organismos y/o mejoran la reacción de estos a la agresión. El presente apartado se centra principalmente en la protección física de las plantas instaladas que tienen que enfrentarse al suceso de fuego.

8.1.1.2.1. El manto edáfico y la columna de aire como protectores

Las tácticas de protección son variadas en este sentido. Destaca el uso de la capacidad aislante del suelo, que es altamente eficiente y ha proporcionado un éxito notable a algunas especies. Buscar la protección edáfica es co-

mún a distintas formas de vida (Ruiz del Castillo, 2000), como en el caso de las herbáceas terófitas —que pasan gran parte del año en el suelo en forma de semillas—, los geófitos —con sus órganos perennes enterrados— o los caméfitos y fanerófitos, con capacidad de regeneración vegetativa a pesar de que sufran fuertes modificaciones en su estructura exterior.

El principio de aislamiento de la simiente como estrategia de resistencia también se aplica en los órganos aéreos de las plantas. En este caso, el medio aislante es el aire. Resulta un método útil para el arbolado adulto, pues sus copas quedan relativamente alejadas del estrato superficial, que suele ser el conductor del fuego.

8.1.1.2.2. Estructuras vegetales aislantes propias

Las plantas son la base de la cadena trófica y también el combustible de los incendios. Ningún ente biológico tiene entre sus objetivos vitales ser devorado por otro organismo o consumido por las llamas, aunque habitualmente es normal que se trate de buscar alguna adaptación que facilite la supervivencia propia o de la progenie si eso sucede (Bond y van Wilgen, 1996). Muchos vegetales han desarrollado estructuras físicas de protección individual para arder con más dificultad y aislar a sus tejidos de los calores mortales con el objeto de tratar de sobrevivir a las agresiones por fuego.

Como ya se ha introducido, los vegetales leñosos rebrotadores suelen invertir más recursos en estructuras de protección de sus tejidos que las especies germinadoras. Las cortezas gruesas y el acopio de carbohidratos aparecen más comúnmente en rebrotadoras. Empero, estas tácticas de protección tienen un coste metabólico. Así, el esfuerzo de algunas especies de rebrotadoras para protegerse conlleva una floración y fructificación menor por unidad de biomasa, así como una también menor tasa de supervivencia inicial de sus brinzales (Costa, 2006), y sus sistemas aéreos y radicales crecen más lentamente (Pausas, 2012). Sin embargo, estos usualmente llegan a ser más extensos a largo plazo que los de las germinadoras para, de ese modo, dotar al organismo con una mayor resistencia.

Entre las protecciones típicas propias de las plantas para resistir al fuego, destacan las cortezas gruesas que aíslan térmicamente al sistema vascular y al cámbium. Es un carácter que está asociado con la supervivencia a fuegos de superficie (Pausas, 2012). *Quercus suber* es la referencia obligada entre los árboles ibéricos debido a que su ritidoma es grueso y de gran efectividad aislante. También los pinos adultos tienen habitualmente unos espesores de corteza bastante considerables; especialmente, *P. pinaster* o *P. canariensis*.

El tipo y tamaño de las hojas, y la situación y estructura de los meristemos apicales, poseen asimismo significación como estructuras de protección. Estos asuntos se desarrollan más adelante, en el epígrafe "**8.1.2.1.1. Efectos directos del fuego sobre las plantas: la influencia sobre los individuos**".

Fotografía 8.19. Los ejemplares de *Pinus pinaster* de los Montes Obarenes han convivido largamente con el fuego. Otro de los rasgos que lo demuestran son los engrosamientos de ritidoma en la base del tallo que los pimpollos desarrollan desde los primeros años. Tratar de proteger al tallo de los incendios de superficie es una adaptación desde la juventud. Poza de la Sal (Burgos).

Fotografía 8.20. Las estructuras aislantes permiten aumentar la supervivencia de los tejidos funcionales de las plantas y sus propágulos.
De entre los árboles ibéricos, *Quercus suber* es el paradigma de esta táctica de protección.
Alcornoques bajo explotación corchera. Azuébar (Castellón/Castelló).

8.1.1.2.3. El tamaño como ventaja

El tamaño de las plantas es un factor importante para su supervivencia. En los incendios forestales, el fuego se mueve casi siempre por el suelo —aparte de que lo pueda hacer, o no, por otros estratos—, de forma que cuanto mayor sea la porción de su cuerpo que un organismo tenga en el estrato superficial, más probabilidades tiene de sucumbir a la renovación.

Por el contrario, un individuo es más resistente al fuego cuanto mayor sea (Moreno y Cruz, 2000; Castellano *et al.*, 2009) y es más probable que sobreviva por rebrote si tiene esta facultad (Piqué, 2012). Esto obedece a que posee estructuras más robustas proporcionalmente al fuego —como cortezas más gruesas—, una menor proporción superficie/volumen en los tallos y una escala de tamaño que disminuye el impacto de los daños frente al mismo tipo de fuego —copas más alejadas del suelo y más grandes, sistemas radicales más extensos y voluminosos...— aunque se ve también influido por la estructura del organismo en cuestión. Además, los vegetales grandes poseen una inercia vital individual mayor generalmente debida a que están bien dispuestos en su espacio y a que poseen unos volúmenes somáticos que hacen al organismo metabólicamente más resistente.

Bond y van Wilgen (1996) señalan que el fuego tiende a eliminar a los individuos más jóvenes o pequeños de la población, y a las especies menos protegidas y con las cortezas más finas; en ese sentido, se comporta como los herbívoros. Estos autores ejemplarizan la importancia del tamaño en la supervivencia al fuego a través de las dinámicas de invasión de leñosas de los herbazales que se renuevan habitualmente por combustión —como en las sabanas africanas—, lo que denominan el "efecto Gulliver". En general, las leñosas no pueden colonizar el lugar si los fuegos son demasiado recurrentes, ya que los juveniles de los árboles y arbustos son sistemáticamente eliminados al pertenecer al dosel superficial. Ahora bien, si un período sin fuego se dilata más de lo habitual —por un pastoreo diferencial intenso sobre la hierba u otras causas—, las leñosas pueden alcanzar tallas suficientes y crear un dosel separado que aumenta su resistencia a los incendios produciéndose una sucesión en el ecosistema hacia formas arbustivas.

Fotografías 8.21. (izq.) y **8.22.** (der.). El tamaño es un factor que modifica las oportunidades de supervivencia de los árboles; en general, la probabilidad que tienen de no sucumbir al fuego es mayor cuanto más grandes sean.
Izquierda: Un pino adulto (*Pinus halepensis*) junto a un profuso monte bravo de la misma especie. El fustal ha sobrevivido a un incendio anterior y tiene más posibilidades de permanecer si acaece otro incendio que los juveniles, más pequeños y con una estructura trabada. Fuentes de Ayódar (Castellón/Castelló).
Derecha: Pino (*Pinus pinaster*) añejo con caras abiertas por resinación que ha sobrevivido al efecto de algún incendio en el pasado rodeado por un latizal alto. Valle de Iruelas, El Barraco (Ávila).

Fotografías 8.23. (izq.) y **8.24.** (der.). El mayor tamaño de las plantas es una ventaja que aumenta sus probabilidades de supervivencia frente al fuego. Este principio es extensible a las arquitecturas de los organismos, formas monopódicas como las de los árboles adultos limitan también los posibles daños.
Izquierda: un pequeño conato que se propagó por el estrato herbáceo y soflamó a varios pimpollos de *Pinus pinea*. Se observa en el golpe del quemado que el juvenil más grande, que aparece podado con alguna rama seca en el suelo, ha sobrevivido.
Pequeño quemado en Llanos de Olmedo (Valladolid).
Derecha: la fotografía muestra otro ejemplo de la importancia del tamaño a escala de árboles adultos. Aparecen dos grandes pinos piñoneros (*Pinus pinea*) que han sufrido un soflamado de copas mucho menor que el arbolado del estrato inferior, formado por *P. pinea* y *P. pinaster*. Este efecto se ve también influenciado por la densidad en cada estrato. La espesura y el tamaño medio de las plantas se encuentran relacionados mediante la capacidad de carga del ecosistema.
Quemado en Fuente el Olmo de Íscar (Segovia).

Fotografías 8.25. (izq.) y **8.26.** (der.). La autopoda de los árboles ocurre de forma natural por el sombreo del follaje, proceso que está controlado por la densidad de los rodales y es diferente para cada especie. Los árboles aislados no pierden las ramas bajas, ya que siguen recibiendo luz suficiente con la que tener un balance fotosintético positivo para el individuo. Son individuos con continuidad vertical del combustible que, en caso de fuego, facilitan la coronación de las llamas en toda la estructura.

Izquierda: *Pinus pinaster* con ramas bajas vivas y gran cantidad de hojarasca muerta en ellas. Cornudilla (Burgos).

Derecha: golpe de *P. pinaster* en densidad alta. La falta de luz ha facilitado que algunos pies estén mal conformados debido la marcada heliotropía de la especie y una autopoda total de las ramas bajas. El sombreo también permite la presencia de barbas de capuchino (*Usnea barbata*) sobre los cándalos. Nogarejas (León).

La importancia del tamaño se observa bien en los árboles. Los estudios para una misma especie muestran unos daños mayores y una mortalidad más alta en las clases diamétricas bajas frente a los árboles grandes. Por ejemplo, Arteaga (2012) constató este efecto en quemas prescritas en montes de *Quercus suber* en Cataluña.

La conformación monopódica y sus sistemas foliares separados del suelo en fases adultas bajo espesuras normales facilitan la supervivencia a los fuegos de superficie. Tapias y Gil (2000) indican que la resistencia de los árboles por tamaño es máxima si estos tienen una arquitectura con fuste largo y recto, que aparece más frecuentemente en las especies con un geotropismo fuerte; por ejemplo, *Pinus nigra*. Esto les garantiza una estabilidad mecánica adecuada permitiéndoles, a su vez, alcanzar portes más grandes y mayor longevidad con más facilidad; sobre todo, si su madera es durable.

La facilidad para la poda natural acelera la rotura de continuidad vertical en el combustible en las fases juveniles de los árboles, lo que limita que el fuego pueda coronar la estructura de la planta y aumenta la supervivencia al fuego. El proceso de la autopoda depende de la espesura del rodal, que regula la intensidad de luz que llega a cada hoja y rama —y, por tanto, su balance fotosintético— para la mayoría de las especies.

La bondad de las adaptaciones por tamaño de los árboles ante el fuego es fácilmente observable en las fases adultas de algunos bosques, en que los fuegos superficiales suelen producir una mortandad escasa en la población dominante. El combustible que se forma bajo estos fustales adultos, si existe el sombreo suficiente, usualmente suele ser de mantos de hojarascas que arden con intensidades pequeñas (Vélez, 1990b). Todo lo anterior remarca la necesidad de la selvicultura para la gestión preventiva del fuego en los bosques; es decir, resulta adecuado facilitar el desarrollo de los árboles para hacerlos más grandes y resistentes frente al fuego tanto a título individual como de forma colectiva.

Por otra parte, la longevidad, el tamaño de los adultos y la madurez sexual temprana parecen tener una correlación inversa. Es decir, las plantas que invierten recursos para madurar sexualmente con rapidez parece que no lo hacen tanto en crecer y alcanzar la dominancia en el lugar durante tiempos dilatados (Bond y van Wilgen, 1996). La longevidad permite dar estabilidad temporal a los individuos de una población, los cuales generalmente llegan a ser más grandes y resistentes físicamente al fuego y a otras renovaciones, como ya se ha mencionado. Una vida larga facilita que los organismos alcancen hipotéticos períodos benignos para su reproducción sexual y colonización, lo cual puede ser importante en caso de que sea necesaria una combinación de factores infrecuente en su habitación para estos procesos. En comparación, la madurez sexual temprana permite generar semillas rápidamente y tener la posibilidad de dar continuidad a la población y a la genética de los individuos de forma recombinada, lo que resulta determinante si los incen-

dios u otras renovaciones severas son relativamente frecuentes. La longevidad de los individuos y el momento de la madurez sexual son asimismo determinantes en las posibilidades de supervivencia de las poblaciones bajo distintos regímenes de renovación. Cabe hacer notar que esta divergencia de estrategias entre árboles es una versión adaptada al fuego de la tendencia entre los organismos con respuesta *r* o *K* a la selección.

La resistencia al fuego de los árboles es distinta para cada especie. Fernandes *et al.* (2008) investigaron la supervivencia y vigor de las especies de pinos del sur de Europa y la Macaronesia concluyendo que *Pinus canariensis*, *P. pinaster* y *P. pinea* son las más robustas, aunque en diferentes grados. *Pinus halepensis* y *P. radiata* se han considerado bastante sensibles en el nivel de individuo frente al fuego, pero parece que soportan bien fuegos de baja intensidad en el rodal.

Las adaptaciones protectoras de los individuos presentan limitaciones; sobre todo, las encaminadas a defender a las estructuras aéreas. Hay casos en que la severidad de los incendios sobrepasa el umbral de la resistencia de los tejidos abrigados, lo que puede tener distinta significación en la evolución del monte en función de la situación de la dinámica de la población y sus propágulos. En general, la resistencia es útil frente a fuegos de superficie (Pausas, 2012), y los mecanismos de reproducción tras la renovación son los más eficaces para la persistencia de las poblaciones en muchas ocasiones (ICONA, 1981a). Estrategias muy volcadas en la resistencia —como las de *Sequoiadendron giganteum*, con individuos de tallas altísimas, cortezas aislantes de gran espesor y vidas muy longevas— no han sido eficaces para aumentar las presencias poblacionales de esta planta; al menos, bajo los regímenes de renovación a los que se han enfrentado hasta la actualidad (Sevilla, 2008).

Fotografía 8.27. Una arquitectura adecuada facilita que los árboles alcancen mayor talla y longevidad. Esto les hace más fuertes frente a acciones mecánicas, como vientos, nevadas, carga de otro árbol o de un gran animal y al fuego.
El ciprés austral o *len* (*Austrocedrus chilensis*) es un árbol con buena dominancia apical y un geotropismo marcado. El de la imagen estaba horquillado en la base. Al alcanzar determinado tamaño, los tallos han generado tales tensiones en su raigal que se han desgajado matando al organismo.

El Bolsón (Provincia de Río Negro, Argentina).

Fotografía 8.28. Una arquitectura inadecuada acorta la vida de los árboles por el simple hecho de que les hace mecánicamente más débiles.
El *Pinus pinaster* es un árbol que puede tener portes sinuosos en muchas ocasiones. Los de la procedencia de Montes Obarenes (Sierra de Oña) destacan por sus fenotipos extraordinariamente tortuosos generados por una marcada heliotropía y alta productividad (Alía *et al.*, 1996).
Si bien muchos de estos árboles serán mecánicamente inviables en pocos años, quizá esta adaptación pueda ser útil en algún caso para hacerse un hueco en una explosión demográfica por germinación después de un fuego y mejorar las oportunidades del individuo para llegar a la madurez sexual antes del próximo incendio.
Madrid de las Caderechas (Burgos).

8.1.1.3. Predisposición individual ante el fuego

El piropronismo, la facilidad para arder y transmitir el fuego —o la inflamabilidad y combustibilidad en otros lenguajes (véase Hernando, 2000, y Vélez, 2000)— es otro atributo complejo de la vegetación que influye en la lucha por la supervivencia de los individuos y especies frente al fuego. Esta característica depende de factores múltiples, entre los que destacan la acumulación de materia muerta, los niveles de humedad de los tejidos, la presencia de esencias volátiles, la forma y tamaño de los organismos y su modo típico de aparecer en el espacio en cada ecosistema.

Bond y van Wilgen (1996) exponen la hipótesis de Mutch (1970), que sugiere que la vegetación pirófita es más inflamable que las plantas que no necesitan del fuego para perpetuarse porque esta cualidad les da mayor ventaja competitiva en los niveles poblacional y de especie en algunos ambientes. Se observan tendencias de inflamabilidad y combustibilidad contrastadas entre los diferentes taxones, siendo en general mayores en las especies de estrategias reclutadoras que en las rebrotadoras (Pausas, 2012). Muchas de las especies que arden mejor logran un efecto de inhibición de la vegetación competidora, menos adaptada a regenerarse tras el fuego, lo que les facilita conseguir la autosucesión. Según estos autores, la inmolación como mecanismo competitivo es difícil de asumir; sobre todo, porque parece que va en contra de la supervivencia individual o de la progenie, que es la vía por la que la selección se articula. No obstante, una mayor tendencia a arder puede ser beneficiosa para dar mayores oportunidades a la descendencia de los individuos más inflamables en determinadas situaciones según algunos análisis de la dinámica genética poblacional de especies germinadoras.

Fotografía 8.29. Ciertos vegetales tienen una morfología y se distribuyen por el espacio de tal forma que son muy proclives a que el fuego se transmita con facilidad y corone toda su estructura (Pausas, 2012). Es una estrategia pirófita de muchos matorrales mediterráneos y atlánticos basada en la inhibición de los competidores. Se complementa con buenos mecanismos de regeneración posincendio para garantizar la perpetuación de la especie al menos de forma poblacional.
Ulex es un género con hojas y tallos finos, con buen porcentaje de follaje seco en pie en los ejemplares adultos y que tiende a crecer de forma trabada generando rodales impenetrables y continuos que pueden arder vivamente en verano.
Tojal con un estrato arbóreo laxo de *Eucaliptus globulus* y algún juvenil de *Pinus pinaster*.
Salas (Asturias).

La inclinación a quemarse quizá se deba a una casualidad evolutiva hallada en la búsqueda de ventajas individuales frente a otros agentes o factores, como la sequía, la fitofagia o la generación de sustancias alelopáticas para la competición química, que hubiesen sido potenciadas después por el agente fuego en la selección. Por ejemplo, la presencia de resinas o humedades bajas en los tejidos son adaptaciones típicas de muchas coníferas que les permiten colonizar ambientes áridos, tanto templados como fríos, entre otras adaptaciones. Parte de estas adecuaciones al clima les facilitan arder mejor en algunas situaciones. La coincidencia de adaptaciones heliófilas, xerófilas y pirófitas en muchos taxones puede ser indicador de que estos procesos han podido tener esa tendencia en la selección en algún caso. Sin caer en una discusión sobre si esta facultad y otras en referencia a la relación de la vegetación con el fuego son adaptaciones o exaptaciones, lo importante desde la óptica del gestor es que funcionan y que puedan ser consideradas en el manejo de alguna forma.

Fotografía 8.30. Los extensos sabinares (*Juniperus thurifera*) del Sistema Ibérico no destacan por verse especialmente afectados por incendios. Sin embargo, cabe reflexionar que están bajo los mismos patrones de ignición por rayo que los pinares vecinos y bajo las mismas condiciones de rusticidad extrema. Algunas de sus especies presentan adaptaciones al fuego, como la omnipresente *Genista scorpius*.

En los lugares de mejor perfil edáfico, la regeneración y el crecimiento vegetal van confesando que la estructura de monte-parque es solo una fase en la recuperación de estos bosques tras el fin del sistema agrario tradicional. Los rodales se densifican y la fragmentación disminuye lentamente desde hace unas décadas. Un cambio en el régimen de incendios a medio plazo puede ser plausible gracias a estas evoluciones.
Quintanilla del Coco (Burgos).

Aparte de la mayor o menor facilidad para arder y transmitir la combustión, un atributo adaptativo básico de las plantas frente al fuego es si este agente estimula su reproducción, vegetativa o sexual, o no. Esto es capital para considerar a cada especie y procedencia como pirófita o no pirófita. Un análisis básico de los taxones respecto de las renovaciones debe contener esta apreciación para ser útil, ya que no solo es necesario que la especie sea buena productora de semillas o rebrotadora, lo ha de hacer efectivamente bajo la afección por el fuego. El haya (*Fagus sylvatica*) es un ejemplo de árbol que responde excelentemente a tratamientos de corta en monte bajo, pero que se ve negativamente afectado por el fuego y tiende a desaparecer del bosque bajo regímenes mínimamente activos de incendios.

La estructura de los organismos y la retención de necromasa aérea es otro carácter que indica la propensión a arder (Pausas, 2012). Géneros como *Ulex* —con buena proporción de su biomasa en forma de combustible fino y seco en parte, y con distribuciones espaciales trabadas en ocasiones— arden fácilmente. Este principio se puede extender a las camas de hojarasca de algunas especies arbóreas. Por ejemplo, las acículas de los pinos suelen tener una descomposición más lenta que las hojas de la mayoría de las caducifolias, lo que induce la progresión de los fuegos de superficie en pinares que se encuentren en determinadas fases de su desarrollo.

La presencia de esencias, como se comenta en el **capítulo 2**, también aumenta la facilidad de combustión. Gran parte de la flora mediterránea posee compuestos volátiles y produce atmósferas fragantes; principalmente, con calor. Tal característica se ha asociado normalmente a la protección contra la desecación: se busca generar un menor gradiente de humedad entre las cutículas de la planta y el aire circundante con la creación de ambientes gaseosos más densos y pesados alrededor del organismo, de forma que la evapotranspiración es menor. Este atributo hace que la vegetación mediterránea sea en general muy susceptible a los incendios de verano.

Otro aspecto que destacar respecto a la susceptibilidad individual al fuego es que se observa una propensión inversa entre la predisposición para arder con la tolerancia a la concurrencia; este aspecto se desarrolla unos epígrafes más adelante.

8.1.1.4. El legado y las dinámicas poblacionales ante el fuego

Las poblaciones de una especie reaccionan de un modo u otro según el régimen de renovaciones en que medran dependiendo de sus adaptaciones y estrategias típicas, al igual que hacen con distintos medios geoclimáticos. El impacto de un fuego en las poblaciones vegetales de un ecosistema produce unos efectos variables en cada una de ellas de acuerdo con sus características. La renovación modifica de forma dispar las posibilidades vitales de cada individuo y del conjunto de su población con las que tienen que afrontar la ocupación del espacio liberado, la concurrencia y la sucesión vegetal desde ese momento. Las adaptaciones y atributos vitales determinan en gran medida cuál es la herencia de cada población tras el paso del fuego, pero el enfoque dinámico es importante en este asunto: las especies no deben adaptarse a un mero evento de fuego, sino a un determinado régimen de incendios (Rowe, 1983; Whelan, 1995).

8.1.1.4.1. El legado biológico tras el fuego: los supervivientes

Como se explica en el capítulo 6, el legado es el conjunto de individuos y propágulos en condiciones de participar en la dinámica del ecosistema que queda tras una renovación además del suelo y la necromasa capitalizada hasta ese momento (Sevilla, 2008). Su importancia ecológica es grande, porque es el monte superviviente después de la renovación y, por tanto, atesora a los taxones y acervo genético que, junto con los posibles organismos colonizadores externos, van a determinar cómo será el ecosistema futuro.

Los legados vegetales de un ecosistema pueden estar compuestos por:

- **Bancos edáficos de semillas:** muchas especies almacenan semillas en el suelo con vidas útiles de la simiente contrastadas según especies y procedencias, y no todas son pirófitas.
- **Bancos aéreos de semillas:** los acopios elevados de semillas tienen una correlación fuerte con el agente fuego. Las especies y procedencias con este rasgo tienden al pirofitismo.
- **Bancos vegetativos:** estructuras subterráneas vivas con capacidad de rebrote que pueden estar más o menos adaptadas a la estimulación por combustión.
- **Individuos vivos en el quemado:** supervivientes con el sistema exterior vivo, aunque pueden tener daños de distinto alcance. Participan en la dinámica después del evento de distintas formas: permaneciendo mientras tratan de superar sus heridas, creciendo y ocupando espacio a título individual, reproduciéndose sexualmente y dispersando semillas, y condicionando al ambiente local en distintos grados según la cubierta vegetal superviviente.
- **Individuos de fuera del quemado:** estas plantas intervienen en la reacción a la renovación del ecosistema afectado. Según el enfoque que se tome, lo hacen como herencia o como poblaciones aledañas. Tales organismos suelen estar genéticamente relacionados con los individuos del área renovada y muchos de ellos realizarán un intercambio de material con la zona quemada de forma habitual, aunque la cantidad o significación del flujo sea distinto tras el fuego.
- **Otros componentes del banco de propágulos global (Sevilla, 2008):** el ecosistema está compuesto por otros organismos que interaccionan íntimamente con las plantas, como hongos, bacterias y otros microorganismos. Su supervivencia al evento en diversas formas y grados puede ser en ocasiones determinante de cómo evolucione el monte.

Los legados vegetales después del fuego serán más o menos complejos en función de los atributos de la especie, de las características de la población, de la comunidad en que están integradas y de la severidad del fuego. Por ejemplo, mirando los extremos, los legados pueden estar compuestos por un mero banco de semillas edáfico o llegar a situaciones complejas de bosques diversos específicamente en los que, además, las poblaciones dominantes aparecen en forma de montes medios con árboles de edades y tamaños variados.

La intensidad de la renovación, que es heterogénea en ocasiones (Sevilla, 2008), interviene en la conformación del legado. Esto hace que los patrones de evolución de cada población puedan ser aún más complejos por los diferenciales espaciales que se hayan generado en la combustión. Es común observar afecciones desiguales en algunos bosques adultos quemados con estructuras arbóreas más o menos irregulares o densidades laxas, donde parte de los árboles suelen sobrevivir al evento incluso si ha habido propagación de copas. Al ser poblaciones renovadas parcialmente, quedan individuos maduros aparte de las plántulas que se incorporan tras el fuego. En contraste con lo anterior, hay poblaciones que son renovadas en su totalidad por el fuego y solo se mantiene su opción de permanecer gracias al banco de semillas, como se observa en algunas formaciones de matorral continuas y homogéneas.

Fotografía 8.31. El legado está compuesto por todos los organismos del monte y sus propágulos tras una renovación.
Algunos pueden ser poco conspicuos pero tener una importancia estratégica en la dinámica, como los descomponedores o los parásitos de los árboles.

Carpóforos de *Armillaria mellea* sobre un tocón de pino. Ojeda (Burgos).

Fotografía 8.32. La revegetación en los quemados de pequeña y mediana extensión se ve favorecida por el aporte de semillas del monte circundante y de los supervivientes dentro del quemado.
En el primer término de la imagen se puede observar un monte bravo de *Pinus pinaster* de 20 años autorregenerado tras un incendio. Los pinos del borde y los supervivientes del quemado han aportado semillas al regenerado, que fue profuso tras el fuego por efecto de la serotinia. Cantabrana (Burgos).

8.1.1.4.2. Las dinámicas poblacionales

El concepto legado se puede aplicar tanto al conjunto del ecosistema como a ciertas partes de este. Destaca la aproximación específica, ya que las poblaciones de distintos taxones responden de forma contrastada al mismo estímulo en función de sus atributos vitales y situación. El acople de las características de cada población con el régimen de incendios imperante en el área, o con el de renovaciones global en una visión más amplia y real, determina a grandes rasgos cómo puede ser la dinámica poblacional de cada especie en la zona.

Siguiendo la clasificación de Rowe (1983) de estrategias vitales frente al fuego, se puede hablar de los siguientes tipos:

a) **Intolerantes a los incendios:** son especies no pirófitas cuyas poblaciones se deprimen significativamente por la afección por fuego; sobre todo, si es frecuente. Las poblaciones aumentan en los períodos entre fuegos cuando estos son lo suficientemente dilatados. Los efectivos poblacionales se incrementan constantemente en las épocas sin fuego por reproducción sexual con solapamientos generacionales. El fuego inhibe temporalmente el reclutamiento e incrementa la mortalidad en diferentes grados dependiendo del régimen. Estas especies pueden llegar a desaparecer localmente salvo en refugios puntuales, desde donde pueden posteriormente iniciar una colonización si se dan las condiciones de ausencia de renovación severa que necesitan. Sus dinámicas de expansión en los quemados están sujetas a la distribución de refugios, distancias de dispersión e intensidad en el suministro de propágulos. Suelen ser vegetación sucesora con gran tolerancia a la concurrencia. De entre estas, las hay rebrotadoras, como las fagáceas de tendencia atlántica, o freatófilas (*Populus* o *Salix*) con mecanismos de ocupación por rebrote y por semillas tanto pesadas como ligeras. Otras son reclutadoras con semillas ligeras, como *Abies alba* o *A. pinsapo*, y los pinos de tendencia eurosiberiana en cierto modo también podrían ser encuadrados en esta categoría.

b) **Invasoras o colonizadoras:** plantas que sucumben al fuego y no dejan propágulos en el área quemada desapareciendo completamente de esta, pero que tienen buenos mecanismos de dispersión y ocupación del espacio. Pueden hacer llegar sus semillas a los nuevos huecos de forma masiva —generalmente, por anemocoria— y reaparecer rápidamente en el terreno liberado. Suelen ser organismos pioneros y efímeros, con poca resistencia a la concurrencia, que tienen dinámicas de metapoblaciones (Pausas, 2012) con apariciones puntuales para aprovechar unas condiciones restringidas. Las especies típicas son herbáceas oportunistas, *las malas yerbas del fuego* (Rowe, 1983).

c) **Reclutadoras**: son plantas que mueren por el fuego si tienen tallas bajas, pero cuya población sobrevive usualmente por el banco de semillas que posee. Se trata de especies pirófitas en distintos grados, y el fuego estimula la germinación de sus semillas y establecimiento de los brinzales. Su demografía se ve reforzada por determinadas características de los fuegos

Fotografía 8.33. El fuego es un suceso extraño en algunos montes y, por tanto, la vegetación que los conforma no está habituada a convivir con ese factor.
Suelen ser lugares y vegetaciones donde los incendios progresan con dificultad usualmente, pero la afección al monte en caso de incendio es alta al mismo tiempo.
La imagen muestra un abetal pirenaico (*Abies alba*). Esta especie es inclusive algo más umbrófila que el haya, y además suele competir mejor con la fagácea en suelos más húmedos. Los incendios aquí son raros y progresan lentamente, pero el estrato dominante puede ser severamente dañado en caso de producirse.
Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Torla (Huesca).

o por un régimen de incendios particular. Este tipo de estrategia también permite el incremento o mantenimiento poblacional en los intervalos entre fuegos en ciertas especies o procedencias, pero las incorporaciones son escasas en otros taxones si los periodos sin fuego se alargan produciéndose una senescencia general de la población y su desplazamiento por concurrencia. Son especies heliófilas, colonizadoras y relativamente inflamables por lo común. La categoría incluye a plantas efímeras que aparecen después del fuego por un tiempo y luego resisten en el lugar en forma de semilla. El tamaño del banco de semillas en el momento del fuego tiene mucha influencia en la dinámica. Las combustiones pueden eliminar a poblaciones si estas no tienen un acopio suficiente de simiente o transcurre el tiempo necesario hasta el siguiente fuego para que se agote. Los mecanismos de ocupación tras el fuego son la semilla ligera, protegida o enterrada. Algunos vegetales con esta estrategia son, por ejemplo, los taxones *Cistus*, *Cytisus*, *Ulex*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster*, *P. canariensis* y el género *Betula*, aunque estos dos últimos también poseen capacidad de rebrote.

d) **Rebrotadoras**: organismos que sobreviven al fuego porque presentan estructuras vegetativas subterráneas resistentes, si bien su biomasa aérea se reduce por la combustión. Son especies bien adaptadas a los incendios. El fuego, el esfuerzo de rebrote y la superación de las condiciones subsiguientes, que son asimismo difíciles y limitantes para estas plantas, producen cierta caída demográfica en las poblaciones, lo que depende en última instancia de las características del fuego o del régimen de incendios. La supervivencia al evento facilita que estas poblaciones puedan hacerse dominantes en el ecosistema por crecimiento. Alcanzan la reproducción sexual en los períodos entre fuegos si se alargan lo suficiente. Los mecanismos de ocupación típicos tras el fuego son el rebrote de raíz, el de cepa o el de lignotubérculo, y a veces por semilla enterrada. También hay especies criptófitas y hemicriptófitas. Algunos ejemplos son *Erica*, *Pteridium aquilinum*, *Vaccinium mirtillus*, *Artostaphylos uva-ursi*, *Quercus ilex*, *Q. coccifera* y otras quercíneas esclerófilas.

e) **Resistentes**: son plantas que sobreviven al fuego por haber alcanzado determinados atributos. El tamaño es una característica importante, ya que consiguen tasas de supervivencia al fuego más elevadas con determinados espesores de corteza o de altura de copas. Los geófitos o las especies con facilidad para el rebrote epicórmico se incluyen asimismo en esta categoría. Es una adaptación que se observa en especies con distintas dinámicas demográficas, pero el fuego elimina a los juveniles y provoca un envejecimiento de la población al sobrevivir mayoritariamente los ejemplares adultos por lo general. Algunas especies típicas son *Quercus suber* o bosques de algunas coníferas que alcanzan ciertas situaciones estructurales.

Esta clasificación tiene límites borrosos, ya que se observan estrategias combinadas —sobre todo, de resistencia con rebrote o reclutamiento— o que dependen de la talla de las plantas. También los comportamientos son diferentes según la procedencia dentro de cada especie.

Fotografía 8.34. Las cimas de muchas sierras ibéricas están pobladas por matorrales. Se suele argumentar que hay condiciones geoclimáticas limitantes para la vida arbórea en las cumbres debido a la crudeza de los inviernos en altitud y los regímenes de innivación asociados, pero se suele obviar que son zonas donde el fuego también puede tener bastante influencia. Los rayos provocan numerosos prendidos en estos parajes además de que la presión pastoril estival tradicional ha sido otra fuente significativa de igniciones en algunas comarcas. Los atributos vitales de muchos de estos matorrales hacen pensar que pueden estar también relacionados con regímenes de renovaciones por fuego.

Monte de *Cytisus oromediterranius* en flor. Candelario (Salamanca).

8.1.1.5. Características biológicas frente al fuego a escala de ecosistema

Las poblaciones de las especies conviven y se interrelacionan formando ecosistemas. Después de observar los caracteres más importantes de las especies frente al fuego, se habla de los atributos del ecosistema que tienen mayor significación en la afección que reciben del fuego y en la reacción que se desencadena.

Un condicionante importante es la historia previa del monte. Como se ha comentado, la realidad de un ecosistema en un momento dado está en buena forma definida por los sucesos anteriores que han acaecido en ese lugar. La llegada o extinción de especies, los regímenes de renovaciones anteriores, las condiciones ambientales y sus fluctuaciones y otros factores van conformando al ecosistema. El conocimiento de cuáles fueron los patrones de cambio anteriores y los influyentes principales que han regido la dinámica vegetal ayudan a determinar por qué el monte es ahora así y cuál puede ser su posible reacción ante un fuego.

También hay que recordar que algunos ecosistemas tienen cierta inercia biótica que puede hacerlos más estables frente a fluctuaciones ambientales, pudiendo superar épocas largas con situaciones desfavorables para su reproducción sexual. La baja fragilidad de algunos montes es resultado de la suma de las resistencias y resiliencias individuales de los organismos y/o al ambiente atemperado en el nivel de rodal debido a la existencia de la propia comunidad.

8.1.1.5.1. La composición específica del monte

Como se comentó en el **capítulo 2**, en general se observa que los rodales arbolados poblados por especies de carácter heliófilo y colonizador tienen una susceptibilidad mayor al incendio —hasta un determinado umbral meteorológico— que los dominados por especies tolerantes a la concurrencia para una misma región y estado selvícola de la masa.

La vegetación tolerante no es tan susceptible a los incendios debido a que no depende tanto del medio geoclimático, pues las condiciones edafoclimáticas del rodal suelen ser más benignas. El ecosistema genera una inercia biótica mediante el avance de la sucesión conseguido gracias a una retroalimentación entre los cambios en la vegetación, al efecto de cubiertas cada vez más tupidas y complejas, y a mejoras en los suelos. Estas variaciones del ambiente entorpecen en cierto modo el desarrollo del fuego debido a que amortiguan los calores extremos y crean ambientes más nemorales facilitando una mayor estabilidad a escalas de rodal hasta determinado punto. Los fuegos de copas son raros en estos bosques dadas la mayor humedad de las hojas y densidades foliares menores (Keeley *et al.*, 2009). No hay que olvidar, sin embargo, que todos los montes pueden arder, incluso con virulencia, en unas adecuadas condiciones meteorológicas y de estrés hídrico (UNESCO/UNEP/FAO, 1978; Villalba *et al.*, 2007).

Fotografía 8.35. La vegetación sucesora suele arder con más dificultad que la de carácter colonizador. Las plantas pioneras en la península ibérica están relacionadas usualmente con un mayor piropronismo.
Los hayedos son bosques cuya cubierta foliar capta casi toda la luz creando ambientes nemorales y de sotobosques ralos. Las propagaciones de copas en estos bosques son difíciles. Por otra parte, *Fagus sylvatica* es un buen rebrotador al corte, pero no cuando los daños son causados por fuego.
Hayedo en monte bajo generado por aprovechamientos leñeros. Valdenoceda (Burgos).

Resulta notoria la ausencia de adaptaciones xerófilas de la vegetación sucesora ibérica frente a la pionera, y el complejo bosque es el que amortigua la influencia de las condiciones ambientales extremas en ese caso. En estos bosques, las plantas usan sus recursos en competir entre ellas preferentemente y no gastan esfuerzos en opciones que aumentan su resistencia y resiliencia frente a otros factores menos comunes en su hábitat óptimo, como la sequía o el fuego. Esto se refleja individualmente en una mayor humedad tisular de las plantas tolerantes —por ejemplo, en las hojas de las caducifolias— y menor presencia de volátiles inflamables en los vegetales característicos de estos ambientes, lo que rebaja relativamente su nivel de combustibilidad. Paradójicamente,

la mayor hidratación y el déficit de estructuras de protección colaboran para hacer a estas especies más frágiles frente al fuego.

En el nivel grupal, también en las formaciones tolerantes se observa un sesgo hacia unas velocidades de descomposición más rápidas, lo cual tiene sus repercusiones en el régimen de incendios al disminuir la acumulación. Las pudriciones suelen ser más veloces debido a los ambientes algo más húmedos por el sombreo intenso y menor presencia de esencias en la vegetación. Hay, no obstante, excepciones a lo anterior, como las grandes acumulaciones de hojarasca en algunos hayedos que medran sobre suelos de reacción ácida, cuyos procesos de descomposición tienen cuellos de botella usualmente por falta de nitrógeno.

Fotografía 8.36. La hojarasca de las latifoliadas caducas no suele tener esencias y su descomposición acostumbra a ser relativamente rápida. Sin embargo, hay situaciones en que la acumulación de barrujo es notable y la susceptibilidad del rodal al fuego puede incrementarse.
Suelo de un castañar (*Castanea sativa*) al final del invierno. Se observa una capa de hojarasca medianamente gruesa, continua y homogénea. Tradicionalmente, se han realizado quemas bajo cubierta en algunos lugares para controlar a la vegetación competidora en esta época. Las características del manto de hojas facilitan la conducción del fuego. La quema en castañares es un tratamiento desaconsejable, porque produce daños al arbolado adulto y facilita el desarrollo de dolencias (Cisneros *et al*., 2008).
La Ará, Riosa (Asturias).

8.1.1.5.1.1. Diversidad, sucesión y susceptibilidad al fuego

Cada formación vegetal es un complejo que se relaciona con el fuego de diferente manera, pero esto no debe entenderse solamente como la forma en que la combustión puede avanzar por el monte y a qué partes afecta, sino también a la responsabilidad del evento en las dinámicas ecológicas que puedan acontecer debidas a su acción.

La composición específica del legado, incluyendo la vegetación aledaña que esté en condiciones de aportar propágulos al nuevo espacio disponible, tiene una significación esencial en la evolución del monte tras una renovación. Los organismos que habiten el quemado y los que lleguen a dominarlo, salvo antropocoria, saldrán de entre estas especies y genética.

Una diversidad específica alta —por ejemplo, con varias especies distintas en pugna por la dominancia— suele abrir el abanico de caminos de la sucesión que el ecosistema puede tomar como reacción al fuego, pero también composiciones florísticamente complejas conllevan que los efectivos poblacionales de cada taxón sean relativamente limitados según la situación. Esto implica que el vigor de la reacción queda condicionado por la densidad y posición de los individuos de la especie o especies más beneficiadas por la acción del fuego. Este efecto es más notable si existen contrastes fuertes en la capacidad de reacción entre las poblaciones presentes. En otro sentido, el grado de diversidad específica ayuda —junto con la variabilidad estructural— a que la intensidad del evento renovador sea más heterogénea.

El asunto de la diversidad es complejo y objeto de numerosos estudios y debates. Terradas (2001) indica que, en este aspecto, los análisis de los ecosistemas quizá deberían orientarse hacia el estudio por grupos funcionales, ya que los índices específicos carecen de significación.

Respecto a la relación entre diversidad y redundancia de especies, algunos trabajos en herbazales apoyan a la hipótesis de la diversidad-estabilidad (Tilman y Downing, 1994). Esta idea defiende que los ecosistemas más diversos son más estables, pero aún no se ha demostrado para todos los tipos de montes, situaciones ambientales, agentes renovadores y regímenes de suceso. No hay que olvidar que la competencia entre herbáceas tiende a ser de tipo simétrico —es decir, proporcional al tamaño de los organismos interrelacionados— y asimétrica en los bosques: los árboles más grandes captan más recursos que los que les corresponden por tamaño (Terradas, 2001). Es importante tener en cuenta que la estructura más compleja de los bosques induce variaciones impor-

Fotografía 8.37. El régimen de renovaciones conforma en buena medida los bosques. El tipo de agentes perturbadores y las características de su aparición periódica ayudan a determinar qué especies permanecen, dominan, desaparecen o tienen oportunidad de incorporarse en cada estrato.
Los montes holárticos americanos son familiares para el ojo ibérico, pero llama la atención su enorme diversidad de *Quercus* y *Pinus*. Esta parece deberse en parte a que el actual México es el área de origen de estos géneros, y a que ha habido una heterogeneidad ambiental elevada y un régimen de renovaciones tal que ha permitido no solo variados procesos de especiación, sino la coexistencia de muchos taxones cercanos.

Bosques de Ixtlán de Juárez (Estado de Oaxaca, México).

tantes en las relaciones entre los vegetales, lo que puede hacer poco comparables distintas observaciones entre estos tipos de montes.

La mera observación en lugares intensamente impactados por regímenes de renovación heterogéneos y activos durante largo tiempo —como algunos montes de la península ibérica— sugiere que la resiliencia más elevada se encuentra en masas con una especie dominante de las más adaptadas al efecto del fuego; por ejemplo, ciertos montes de matorral de *Erica*, *Cistus* o *Quercus* esclerófilos. Parece ocurrir así porque estos ecosistemas presentan una complejidad funcional baja y sus poblaciones dominantes poseen unas adaptaciones al fuego determinadas que les facilitan reaccionar de una forma normalmente positiva al efecto del evento si acontece dentro de unos rangos, lo que permite a su vez la recuperación de la situación anterior con facilidad. Por el contrario, los incendios en bosques poco adaptados al fuego pueden inducir sin dificultad un cambio marcado en la fisonomía y en la dominancia del monte. Todo esto parece corresponderse con la tendencia a que la diversidad específica tiende a ser más baja cuando la dinámica del ecosistema se acelera y más alta cuando los cambios sucesionales son más lentos (Terradas, 2001).

Por otra parte, la diversidad se ha contemplado en muchas ocasiones con enfoques limitados y sin tener en cuenta la diversidad intraespecífica. El acervo genético de las poblaciones que reciben la afección por el fuego es importante. La variedad intraespecífica se manifiesta con adaptaciones concretas a veces contrastadas entre distintas poblaciones (Gil, 2009a). Diferentes regímenes de fuego, y de renovaciones en general, sobre poblacio-

nes separadas generan tendencias divergentes en sus rasgos y atributos; es decir, diversidad biológica (Pausas, 2012). De ese modo, algunas capacidades frente al fuego de las distintas procedencias de *Pinus pinaster* ibérico han sido estudiadas obteniendo resultados marcadamente desiguales; entre ellos, en la existencia de bancos de semillas serótinos, en el tamaño de los acopios de simiente y en las capacidades de reacción frente al fuego (Tapias y Gil, 2000).

Fotografías 8.38. La composición específica del monte influye en cómo puede arder, ya que cada especie e individuo tiene una combustibilidad determinada. Los bosques son la suma de las características de los organismos que los componen, y hay comportamientos contrastados entre montes dominados por especies diferentes en una misma región por debajo de cierto umbral meteorológico.
En la imagen se observa un pequeño golpe de arbolado de frondosas, en un pinar de *Pinus nigra*, que ha llegado a arder de copas. Quizá si el bosque hubiera sido un bosque caducifolio puro la propagación hubiera sido también intensa en esas mismas circunstancias ambientales, pero probablemente el fuego de copas solo habría aparecido puntualmente. En este caso, las coníferas que dominaban el predio han determinado el desarrollo de la combustión, que ha envuelto a las frondosas con facilidad.
Fresno de Rodilla (Burgos).

Al igual que se ha señalado que la reproducción sexual facilita la adaptación al ambiente de las poblaciones que se reproducen así tras el fuego, este principio sirve asimismo para las diferentes formas de polinización. Según Gil (2009a), las especies con polinización por anemofilia —como *Quercus*, *Juniperus* y *Pinus*, por ejemplo— tienden a formar comunidades menos diversas específicamente para limitar los apantallamientos en la dispersión aérea por otros taxones. Sin embargo, presentan una variabilidad genética en sus poblaciones mucho mayor que las especies con polinización por entomofilia —como las que dominan en muchas formaciones de matorral mediterráneo— dada la aleatoriedad en las recombinaciones. Al ser un proceso más caótico, la anemofilia ayuda a producir un acervo genético mayor a las especies y a sus poblaciones y, por tanto, proporciona un mayor elenco adaptativo a la población asociado a esta riqueza biológica. Todo lo anterior ayuda a explicar en parte la plasticidad de *Quercus* y *Pinus*, así como su capacidad de adaptación a regímenes de renovación activos.

8.1.1.5.2. El estado del monte: la estructura como indicador

La estructura de la vegetación es un atributo significativo de la dinámica vegetal, como ya se ha destacado en los **capítulos 2 y 6**[22]. También es, a la vez, resultado de una dinámica ecológica pretérita y determinante de la futura. Desde el enfoque del combustible, la disposición de la vegetación influye en la propagación del fuego y en los estratos que son alcanzados por la combustión y por el calor. Por su parte, eso determina —desde la perspectiva más puramente orgánica— las partes vegetales e individuos directamente afectados por la renovación y retroalimenta a la influencia de la estructura al variar la arquitectura del complejo facilitando otras evoluciones en el monte debido a los nuevos espacios disponibles.

Es conocida la importancia de la estructura sobre el desarrollo y efectos del fuego. La prevención de incendios indirecta se basa esencialmente en el encauzamiento de las dinámicas de los montes hacia arquitecturas menos susceptibles a eventos severos, en las que la facilidad de extinción es, además, mayor (Vélez, 1990b; Edmonds *et al*., 1999). En este sentido, existen pautas sobradamen-

[22] Epígrafe del **capítulo 2**: "*2.1.1.2. Características estructurales*". Epígrafe del **capítulo 6**: "*6.1.4.2. Estructura y significación de la vegetación dominante*".

Fotografía 8.39. La densidad del arbolado en algunas fases de desarrollo es un factor que aumenta la severidad de un incendio. Las estructuras densas en monte bravo o latizal facilitan la propagación del fuego por toda la arquitectura aérea de los árboles. En caso de supervivencia de algunos pies, la situación de fuerte competencia previa de los organismos dificulta la recuperación, ya que se relaciona usualmente con un bajo vigor vegetativo.
Pimpollar de *Pinus sylvestris* arrasado por fuego de copas.
Quintanar de la Sierra (Burgos).

te constatadas; por ejemplo, rodales arbolados jóvenes densos con gran carga de combustible disponible y mantillos secos suelen recibir severidades más altas que otras situaciones selvícolas por incendio. El comportamiento y efectos de la combustión son complejos, por lo que todavía no se conocen las relaciones entre el fuego y las características estructurales de los montes adecuadamente y en toda su extensión (Jain y Graham, 2004).

Los cambios estructurales por crecimiento y concurrencia de las formaciones vegetales van variando su grado de susceptibilidad a sufrir uno u otro tipo de renovación según se avanza en el desarrollo, así como el alcance de la afección que el conjunto del ecosistema sufre por ella. Sevilla (2008) ejemplariza esto con la distinta predisposición al fuego de un rodal arbolado que pasa por distintas arquitecturas en su desarrollo modificadoras del riesgo y el alcance de la severidad de un posible incendio partiendo de una situación despejada. En general, montes abiertos de herbáceas y matorrales —aunque muy resilientes— resultan bastante susceptibles a ser renovados por fuegos de superficie al igual que los bosques en fa-

Fotografías 8.40. (izq.) y **8.41.** (der.) La densidad es un factor muy relacionado con la competencia entre los árboles y, por ende con su vigor. Densidades muy altas se corresponden con una mayor mortalidad relativa frente a daños por renovaciones u otras circunstancias desfavorables para la vegetación. La afección en caso de fuego tiende a ser mayor cuando una población está débil.
Izquierda: Se observa necrosis en la parte baja de las copas de ejemplares de *Pinus pinea* después de una sequía prolongada. Los árboles han optado por deshacerse de la parte fotosintéticamente menos eficiente de su follaje para tratar de sobrevivir. En el centro hay un árbol seco que no ha superado el reto, el rodal ha tendido un proceso de autoaclareo. Casa de Campo, Madrid (Madrid).
Derecha: Rodal de *Pinus sylvestris* en el que está habiendo una exclusión de fustes por la elevada competencia entre los pies. Los árboles dominados y débiles son los primeros en sucumbir ante el empuje de sus vecinos. El Espinar (Segovia).

Fotografía 8.42. La tríada clareo, poda y desbroce es la normal para crear áreas cortafuegos. Estas actuaciones ajardinan la zona intervenida y rebajan la susceptibilidad al fuego durante un tiempo. El problema es que liberan mucho espacio y la puesta en luz conlleva rebrotes o crecimientos fuertes embasteciéndose el área en dos o tres años según la productividad del lugar (Sevilla, 2008). Es necesario que las actuaciones de mantenimiento sean habituales para resultar efectivas. Por otra parte, el clareo intenso hace que la vegetación y sus restos estén más secos y expuestos al viento, lo que aumenta su susceptibilidad a los fuegos de superficie en ciertas circunstancias. Otra opción para crear áreas cortafuegos en bosques con cubiertas cerradas puede ser mantener las áreas en fustal con espesuras altas para facilitar que únicamente haya hojarasca o algo de sotobosque tolerante en superficie. Estas zonas son poco susceptibles a los fuegos de superficie y el sombreo de la propia masa arbolada hace innecesario el mantenimiento durante largo tiempo, lo que será más efectivo cuanto más tolerante sea el arbolado dominante. No obstante, podría ser conveniente alternar estas áreas con infraestructuras que rompan la continuidad del arbolado si existe riesgo de fuego de copas en el lugar.
Área cortafuegos típica recién tratada. Pedrajas (Soria).

ses juveniles en los que la continuidad de combustibles es grande y profusa la presencia de sotobosques intolerantes y pirófitos. El cierre del dosel arbóreo y la rotura de la continuidad vertical por el crecimiento de los árboles es un punto de inflexión en la susceptibilidad al fuego, que empieza a ser menor a partir de este momento. Esto ocurre mediante el ahogamiento del sotobosque pionero, si el sombreo es suficiente, y por la separación del dosel arbóreo de la superficie. Además, el incremento de la talla individual de los árboles hace a estos cada vez más resistentes a los incendios dado el tamaño que alcanzan y su inercia biótica particular. Después, tiene lugar un largo período de bajo riesgo en el rodal —salvo si se dan condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo de un fuego de copas— durante el que se va acumulando combustible poco a poco hasta llegar a situaciones de gran carga de biomasa disponible que eleva notablemente la susceptibilidad del rodal al incendio.

La aproximación a la vegetación como combustible se hace usualmente por su estructura, ya que es la variable más influyente en el combustible —junto con la composición y la humedad— para un mismo ámbito climático. Sin embargo, no se ha reflexionado lo suficiente desde un enfoque dinámico acerca de cómo evolucionan la arquitectura de la vegetación y la susceptibilidad al incendio asociada. La prevención de incendios puede encontrar sinergias producidas por el crecimiento de la vegetación y la sucesión. Por ejemplo, hasta ahora se ha prestado atención insuficiente a la utilidad de la prevención en los rodales arbóreos adultos y con dosel de copas cerrado, y de las especies más tolerantes, de menor combustibilidad en cierto grado. Por el contrario, se sigue insistiendo usualmente en intervenciones selvícolas de "ajardinamiento" liberadoras de espacio que se embastece de herbáceas y matorral en dos o tres años, por lo que su efecto preventivo es efímero (Sevilla, 2008).

Fotografía 8.43. La estructura del dosel arbóreo condiciona en buena medida a los estratos inferiores.
Un caso normal de los montes ibéricos son los bosques con cubiertas incompletas bien por limitaciones del medio geoclimático, por efecto del régimen de renovaciones o por la combinación de ambos influyentes.
Las estructuras arbóreas defectivas facilitan tener sotobosques heliófilos profusos y, por tanto, alta susceptibilidad al fuego incluso en estadios maduros del arbolado.
Rodal dominado por *Pinus halepensis* con un sotobosque de tendencias heliófilas.
Serra (Valencia/València).

Fotografías 8.44. (arriba) y **8.45.** (abajo). La estructura de la masa es un factor determinante en la susceptibilidad del monte al fuego. La distribución en el espacio de la vegetación y sus restos facilita o entorpece la propagación del fuego e influye sobre la afección que el evento pueda tener sobre el ecosistema.
Las fotografías muestran dos estructuras diferentes de montes dominados por *Quercus ilex*.
Arriba se observa un monte bajo de encina con espesura trabada que ha sufrido un incendio recientemente, de propagación por copas en muchas partes.
Canos (Soria).

Abajo se ve una dehesa con estructura arbolada sabanoide y vegetación superficial herbácea explotada a diente intensamente donde los incendios que se puedan declarar serán generalmente de superficie y baja intensidad.
Parrillas (Toledo).

Por otro lado, la estructura de los montes es también un factor conocido en la ecología forestal como regulador de la dinámica vegetal y, lógicamente, influye en la severidad de un hipotético fuego que se desarrolle en un monte. Existe una relación directa entre el estado metabólico y reproductivo de las poblaciones leñosas con la densidad y forma que presentan debido a que son características íntimamente relacionadas con la disponibilidad de espacio físico y de recursos tróficos para cada individuo. De hecho, gran parte de la selvicultura convencional se basa en este principio, en el manejo de relaciones entre el espacio disponible, el vigor vegetal y el crecimiento de las plantas. Para el arbolado en general, espesuras muy densas provocan tamaños de copas menores, y las cantidades de flores, frutos y semillas también lo son. Las densidades altas en los vegetales heliófilos facilitan necrosis de sus sistemas foliares por falta de luz aumentando el combustible temporalmente disponible. Hay que tener en cuenta que, generalmente, los individuos recortan los recursos destinados a la reproducción y al crecimiento cuando están en una situación en que la supervivencia es la prioridad. Si un bosque en condiciones de falta de vigor por densidades excesivas sufre un fuego, es posible que el alcance de los daños sea mayor por la debilidad de muchos de los árboles que en otras situaciones demográficas para la misma agresividad del fuego. Los árboles tendrán más problemas para restañar sus heridas y serán más fácilmente afectados por otros agentes renovadores o por situaciones ambientales desfavorables. El conjunto del ecosistema, en definitiva, será más frágil frente a la alteración.

En resumen, el estado estructural de la vegetación tiene influencia en los efectos de un fuego ya que, por una parte, condiciona el desarrollo del incendio mediante el combustible disponible e intervine en la determinación de qué estratos arden o son dañados. Por otra, influye sobre el estado metabólico y reproductivo de la vegetación, que es diferente en cada fase de desarrollo, densidad y situación sucesional. Todo ello condiciona la resistencia de los individuos y las características del banco de propágulos; es decir, participa en conformar el legado del ecosistema tras la renovación.

Fotografía 8.46. La densidad de la vegetación interviene en la propagación del fuego y, por tanto, en los tejidos que sufren necrosis.
Dos juveniles de *Pinus pinea* han sobrevivido al fuego porque están en un amplio claro del pinar. La intensidad del incendio debió de ser elevada, ya que estos arbolillos han sufrido necrosis foliares por soflamación a pesar de estar varios metros apartados de la masa. Se observa, además, que el ralo estrato de herbáceas que puebla esas pobrísimas arenas no llegó a arder.
Fuente el Olmo de Íscar (Segovia).

Fotografía 8.47. Los cambios estructurales en los montes facilitan en muchas ocasiones la sucesión específica. Ambas variaciones tienen repercusión en la susceptibilidad al fuego.
Bosque de *Pinus sylvestris* con un profuso regenerado de *Fagus sylvatica*. El aumento de la nemoralidad del bosque facilita la rarificación de las especies más heliófilas, como el *Ulex* que aparece en primer término de la fotografía. Estos cambios influyen sobre el régimen de incendios al disminuir la presencia de una población piroprona.
Villafría de San Zadornil (Burgos).

8.1.2. INFLUENCIA DEL FUEGO

El fuego es un proceso discreto, ocasional y breve, pero que puede tener una significación ineludible y durante largo tiempo en la dinámica ecológica de los montes cuando aparece. Hasta ahora se ha realizado un acercamiento a los mecanismos y estrategias biológicas que determinan la severidad y la tendencia en la reacción de los ecosistemas al fuego. Sin embargo, la dinámica ante una renovación no depende solo de los factores intrínsecos del monte, sino también de las características del fuego; es decir, de cómo este influye sobre el complejo biológico.

Como ya se ha indicado, la dinámica ecológica en las renovaciones se basa en una determinada acción de un agente renovador sobre el monte, el cual es modificado por la perturbación en distintos grados generándose un legado, y en la reacción de este tras el suceso. Tal proceso es confuso en realidad, porque hay sinergias y retroalimentaciones entre el agente transformador y el sistema receptor, así como otros influyentes que participan en la dinámica. Por ejemplo, la vegetación puede ser más o menos resistente a un mismo evento dependiendo de su estado metabólico, por lo que el ecosistema interviene limitando la afección a un mismo fuego, o haber situaciones sobrevenidas tras el evento principal que pueden tener gran importancia, como la influencia de los herbívoros tras el fuego.

En este apartado se muestran primero los efectos más notables de la combustión sobre la vegetación y, después, cómo los atributos de un fuego modifican al ecosistema.

8.1.2.1. Efectos del fuego sobre las plantas

Fernandes *et al*. (2002) afirman que los efectos del fuego se pueden dividir en dos grandes grupos:

Por un lado, están las consecuencias directas, que son las que la propia combustión provoca sobre las plantas instaladas, los propágulos y otros valores del ecosistema. Estas se encuentran esencialmente determinadas por la cantidad, duración y distribución de la combustión y del calor emitido. Los efectos directos del fuego definen en buena medida cómo es el legado biológico tras el evento; por ejemplo, la mortalidad inmediata en cada población, la modificación estructural y los daños de los individuos supervivientes, la activación de semillas o la perdida de materia orgánica del suelo.

Por otro, encontramos los efectos secundarios o derivados: modificaciones del monte debidas a cambios en la organización del sistema por el paso del fuego como pueden ser una mayor disponibilidad de espacio y nutrientes, ambientes descubiertos o modificación de la actividad de la fauna. Los efectos derivados influyen en la manera en que el legado superviviente reacciona después del fuego. Existen retroalimentaciones y límites difusos entre estas dos categorías. Sobre todo, en el caso de vegetación dañada por el fuego que muere tiempo después del evento, lo que suele estar condicionado por el ambiente posterior a la perturbación o la acción de otro agente renovador relacionado sinérgicamente con el incendio.

8.1.2.1.1. Efectos directos del fuego sobre las plantas: la influencia física sobre los individuos

Los efectos directos del fuego sobre las plantas se deben al consumo de estructuras vegetales por la combustión y a la destrucción funcional de los tejidos a causa del calor. Los tejidos que arden pierden su materia y desaparecen o, al menos, quedan molecularmente desestructurados y dejan de ser funcionales.

Los perjuicios directos a la plantas por el calor de la combustión están modulados por la temperatura alcanzada, el tiempo de exposición y la humedad del tejido (Wright y Bailey, 1982). Según Ryan (2000), los tejidos de las plantas superiores sobreviven por lo general aproximadamente 1 hora a 50 °C, 1 minuto a 60 °C y 1 segundo a 70 °C. Aparte de la agresividad del fuego, es necesario recordar que las estructuras de las plantas condicionan los daños que reciben en función de su arquitectura, posición, tamaño, frondosidad, presencia de sustancias volátiles, estructuras de protección, humedad y estado vegetativo.

8.1.2.1.1.1. Daños a las plantas establecidas

El fuego es una reacción altamente exotérmica en la que se desprende gran cantidad de energía que daña a las estructuras vivas bajo su influencia si es que no hace que el tejido también arda.

Las hojas y los ramillos, al igual que el resto de tejidos de la planta, tienen distintos comportamientos frente al calor según su contenido de humedad y estado metabólico, y esto varía a lo largo del ciclo anual. Las hojas planas con un buen nivel de humedad son menos susceptibles a arder, como todas las estructuras que estén turgentes, pero la conductividad térmica tisular es mayor y los daños aumentan en algunos casos (Pausas, 2012). La forma hilada de las acículas incrementa su susceptibilidad a quemarse, pero protegen a los meristemos apicales de las ramas con mayor eficacia cuando son largas y forman penachos densos (Ryan, 2000), lo cual es fundamental para resguardar el potencial de desarrollo del tallo o de la rama. Otros vegetales distintos a las coníferas emplean asimismo las hojas para proteger a sus yemas, como algunos helechos o monocotiledóneas (Tapias y Gil, 2000).

Fotografía 8.48. Las características individuales de la planta tienen mucho que ver con los daños que reciba por el fuego. Un simple incendio de herbáceas terófitas ha alcanzado a un olivo añejo. El tronco tenia oquedades y se ha prendido. El fuego acabó con el árbol. El resultado podría haber sido distinto si el tronco aún hubiese estado cerrado.
Navalagamella (Madrid).

Martínez (2001) indica que 52 ºC es la temperatura umbral de daños a las acículas de los pinos, que mueren en 5 minutos si sube a 54 ºC, y el tiempo se reduce a unos pocos segundos cuando asciende a 62 ºC.

Respecto a la resistencia particular de los meristemos apicales, las yemas gruesas de algunas coníferas tienen una supervivencia al fuego mayor que las finas. En el caso de las frondosas, las yemas protegidas por escamas empizarradas y situadas en las axilas de los tallos resguardan al meristemo del fuego en algunos casos; fundamentalmente, durante la parada invernal (Ruiz del Castillo, 2000).

En el nivel de individuo, los volúmenes del sistema foliar soflamados condicionan la supervivencia de los árboles chamuscados. El alcance de este daño guarda relación directa con la intensidad del frente de llamas, la temperatura ambiente y el viento.

Los daños al sistema vascular y al cámbium de los tallos dependen del grosor, textura y naturaleza de la corteza, diámetro del tallo y presencia de heridas o exudados anteriores al fuego (Ryan, 2000). En general, los frentes de llama pueden matar a los tallos protegidos con corteza fina y las combustiones de ascuas dilatadas de materiales pesados y mantillo a los de corteza gruesa.

El daño a las raíces y órganos resistentes subterráneos obedece a la disposición de estas estructuras en cada especie e individuo y a las características y humedad del suelo. El perjuicio causado se encuentra relacionado con la energía total liberada y el tiempo de combustión, no habiendo mucha correlación con los parámetros que definen al frente de llama (Fernandes *et al*., 2002). El consumo del mantillo es un buen indicador de los posibles daños subterráneos. Usualmente, se observa que los sistemas radiculares se ven poco afectados por el fuego debido al efecto aislante del complejo edáfico salvo en incendios de estío, cuando el terreno está especialmente seco y se facilitan severidades altas.

La muerte de los vegetales puede ser diferida en el tiempo tras la combustión por la suma de todos los daños sufridos y/o por una situación de debilidad metabólica que deje al individuo falto de recursos frente a situaciones desfavorables subsiguientes. En ese momento de debilidad se favorece el desarrollo de dolencias y plagas. Comúnmente, la muerte de numerosos individuos afectados por el fuego en medios ibéricos sobreviene el verano siguiente a la renovación como consecuencia de la suma de los daños previos, el agotamiento y las limitaciones impuestas por la sequía estival.

Fotografías 8.49. (izq.) y **8.50.** (der.). Las distintas partes de las plantas tienen una resistencia al calor que depende de la cantidad de la energía recibida y su distribución temporal, así como de la naturaleza del tejido, estado de desarrollo de la planta y momento de su ciclo vegetativo. También hay diferencias notables entre distintas especies.

Izquierda: Corteza de un ejemplar de *Pinus pinea* quemada hasta cerca de 2 m de altura. La capacidad aislante de este tejido limitó los daños en el tallo y facilitó la supervivencia del individuo. Aldeamayor de San Martín (Valladolid).

Derecha: Tronco de *Populus X canadensis* con daños producidos por un fuego de superficie. El fino ritidoma del chopo no pudo evitar que el fuego produjera heridas en los tejidos vivos. Venta de Baños (Palencia).

Fotografía 8.51. Las plantas sobreviven al fuego si el daño que han recibido por la combustión está por debajo de un determinado umbral. Este límite debe permitir no solo salvar la vida al organismo del mero evento, sino tener un margen de vigor para soportar las condiciones ambientales limitantes subsiguientes u otra posible renovación.

En la imagen se muestra el borde de un quemado en un rodal de *Pinus pinea*. Hay indicios de que el incendio fue intenso con propagación de copas en buena parte del quemado. Al estar en el borde de la masa, los pinos que aparecen en primer término solo sufrieron un fuego de superficie que consumió al barrujo y al ralo sotobosque de *Retama sphaerocarpa*. Estos árboles probablemente sobrevivan al efecto del fuego, ya que el chamuscado de tronco y el soflamado de copas que presentan son relativamente pequeños.

Quemado en un pinar, Fuente el Olmo de Íscar (Segovia).

Fotografía 8.52. Aunque dañados, los organismos que sobreviven al fuego tienen la oportunidad de seguir participando en la dinámica del monte posteriormente.
Tres *Pinus halepensis* adultos que sobrevivieron al incendio de 1994 y que probablemente facilitaron el rearbolado del rodal.
Chera (Valencia/València)

8.1.2.1.1.2. La activación de semillas pirófitas

Otra consecuencia directa e importante del fuego en los montes es su efecto sobre los bancos de propágulos. Cada tipo de material de reproducción recibe una afección diferente por efecto del fuego en función de sus atributos y situación. Muchos propágulos sucumben al agente y no llegan a reiniciar el ciclo de vida para el que fueron creados, pero la combustión constituye para otros un estímulo esencial con el que salir del letargo, emerger y comenzar una actividad vegetativa normal en forma de plántulas. Las poblaciones cuyas semillas se activan con el fuego son normalmente de especies pirófitas. Para estos taxones, el fuego desencadena procesos que tienden a producir un refuerzo poblacional de los organismos supervivientes o una sustitución generacional si la severidad del evento ha sido elevada. Como ya se ha explicado, los bancos de semillas más comunes están en las estructuras aéreas de las plantas y en el suelo.

La germinación de la simiente acopiada en el suelo depende de unos rangos óptimos en el proceso de inducción por fuego a su vez regido por la cantidad de energía emitida y el tiempo que la combustión dura, por la trasmisión del calor hasta las semillas para su activación —modulada por las características y la humedad del sustrato— y por los atributos y profundidad a que los propágulos se encuentren (Whelan, 1995; Tapias y Gil, 2000). Cada tipo de semilla está adaptada a un régimen térmico característico para salir de su letargo.

Las semillas con cutículas impermeables son las mejor adaptadas a los bancos edáficos, aun así hay semillas sin cutículas impermeables que forman acopios en el suelo (Terradas, 2001). Por ejemplo esto se ha comprobado para algunas especies del género *Pinus* (Río *et al*., 2008), pero los atributos de estas hacen que su vida sea efímera en los mantillos y las acumulaciones edáficas absolutas de semillas viables limitadas.

Si bien parece lógico que muchas especies sean capaces de soportar fuegos intensos de verano —que es la época típica de incendios en regiones templadas—, se observa que afecciones altas reducen la germinación ya sea porque toda la simiente se destruye debido a sus limitaciones biológicas ante combustiones muy intensas o porque la penetración de calor ocurra a gran profundidad y se activen semillas que están fuera del límite de emergencia superficial. Todo esto depende de las características de cada taxón y exposición. Por ejemplo, las semillas de *Phillyrea latifolia* parecen estimularse con exposiciones de 5-15 minutos a 120-130 ºC; en cambio, la simiente de Pistacea lentiscus no sobrevive una hora a 70 ºC (Urios, 2004).

Las temperaturas de los fuegos de baja intensidad parecen no influir excesivamente en la capacidad de germinación de las semillas sitas en el suelo, inclusive en las delicadas, como se ha comprobado con bellotas de *Quercus pyrenaica* (Valvuena y Tárrega, 1998).

Fotografía 8.53. La serotinia es una tendencia que tienen parte de los estróbilos de determinadas coníferas normalmente más acusada cuanto más importante haya sido la influencia del agente fuego en la historia vital de una población.
Pareja de piñas de *Pinus halepensis* en la que una ha dehiscido ya su simiente mientras que la otra parece tener un comportamiento serótino. En muchas ocasiones, el comportamiento mixto debe de ser más ventajoso a la hora de tener descendencia.
Los Fayos (Zaragoza).

El fuego también es determinante en la dehiscencia de los bancos de semillas aéreos; el efecto del fuego sobre las piñas serótinas de algunos pinos es conocido. Los estróbilos de las coníferas suelen abrirse e iniciar la dispersión de semillas inmediatamente después de que el fuego pase (Calvo *et al*., 2005). Las piñas serótinas de los pinos ibéricos se abren a partir de los 100 ºC, excepto las de *Pinus halepensis*, que lo hacen sobre los 200 ºC (Habrouk *et al*., 1999). Fuera de la infrutescencia, los piñones tienen una temperatura mortal menor con fuertes contrastes entre los pinos de tendencia mediterránea —120 ºC en el caso de *P. halepensis*— y los de eurosiberiana —70 ºC en *P. nigra* y *P. sylvestris*— (Lloret, 2004).

Los taxones con estrategias de bancos de semillas estimulados por el fuego presentan la cantidad máxima de semilla disponible justo tras el fuego al activarse dichos bancos y va decayendo después (Bond y van Wilgen, 1996). En general, los bancos de semillas del lugar están agotados dos años más tarde de un evento renovador intenso. Desde ese momento, el reclutamiento depende de las semillas que los individuos supervivientes o de los rodales aledaños generen.

8.1.2.1.1.3. La activación de los meristemos

De modo paralelo a lo que sucede con los bancos de semillas, los bancos de regeneración vegetativa reaccionan al daño causado por el fuego, pero la respuesta vegetativa de las plantas es más compleja debido a que la activación de las yemas depende de la influencia que el fuego haya tenido sobre la totalidad de un organismo. Se pueden dar reacciones contrastadas en cada planta en función de la distinta afección que tenga y del momento metabólico y fenológico. Este tema se ha desarrollado en el epígrafe "**8.1.1.1.1.1. Estrategias rebrotadoras**".

8.1.2.1.2. Efectos indirectos del fuego sobre las plantas: la modificación del ambiente

El fuego, como cualquier otra renovación, produce un desbaratamiento de la estructura y composición previa del monte. Este cambio es de distinto alcance y severidad según las características del propio evento y la naturaleza y situación del ecosistema.

Si bien los efectos directos del fuego son esencialmente una agresión a los organismos instalados y consumo de combustibles, la mudanza del ambiente por fuego tiene un efecto dual sobre las poblaciones vegetales dependiendo de los atributos vitales de cada una. De forma burda, se puede decir que las especies de carácter colonizador, heliófilas y pirófitas se ven usualmente beneficiadas por estos cambios ambientales. Por su parte, las tolerantes a la concurrencia —propias de estadios sucesionales avanzados— sufren una merma de sus nichos ecológicos.

Los efectos indirectos principales del fuego son el aumento súbito de la disponibilidad de espacio, la modificación de la necromasa del monte, las modificaciones edáficas y la variación de la susceptibilidad ante otros eventos renovadores.

El cambio más notable que sufren muchos montes es la disponibilidad de nuevo espacio vegetativo, que se genera por la muerte de algunos individuos y por la modificación de las arquitecturas de los supervivientes. La profundidad de dicho cambio depende de la complejidad estructural previa y de la intensidad de la renovación, que puede dar lugar a un rodal con ambiente totalmente descubierto o a un bosque en que solo la hojarasca y parte del sotobosque se han visto afectados por la combustión.

La mayor disponibilidad de espacio provoca efectos bien conocidos en la ecología forestal: aumento de la luz, mayor rango de temperaturas, calores medios más elevados en la superficie, mayor impacto de las heladas sobre la vegetación y superiores sequedad e influencia del viento.

El aumento del espacio disponible se produce por una caída poblacional en los individuos debida a la mortalidad generada por el fuego; es decir, por un cambio en la densidad del rodal o del estrato correspondiente. La reacción del legado depende de la naturaleza y de la fase de desarrollo en que el monte esté y de la profundidad de la modificación. En general, una caída fuerte de la densidad arbórea beneficia a los árboles supervivientes del rodal, al rebrote de los individuos que tengan esa facultad y a la instalación de brinzales de especies amantes de la luz. Todos estos organismos van a pugnar por hacerse con el nuevo espacio.

Comúnmente, la disponibilidad de espacio por efecto de una renovación puede ser un punto de inflexión en la sucesión del rodal, en el que se facilita el acceso a la dominancia por otras especies que antes eran meramente acompañantes, o externas al quemado, que podrían tener procesos de colonización exitosos en este momento. La caída de la densidad tiene otros efectos, como la facilitación de los procesos de polinización o dispersión regidos por el viento.

Fotografía 8.54. La generación de situaciones de descubierta estricta puede dificultar el proceso de colonización arbórea en montes ibéricos con un medio geoclimático duro.
En la imagen de observan líneas de pequeños *Pinus pinea* plantados para tratar de arbolar un claro de un pinar quemado. El medio es adverso y el desarrollo de los juveniles se ve limitado por la escasez hídrica y el calor que alcanza el sustrato de arena silícea bajo el sol veraniego. Los brinzales supervivientes unos años después de la repoblación son pocos, y muestran un desarrollo escaso para el puñado de savias que tienen. No obstante, al menos están instalados y creciendo lentamente, y podrán aumentar su ritmo de crecimiento y ayudarán a generar un bosque sabanoide típico de estas formaciones dunares interiores cuando alcancen un tamaño radicular mayor.
Aldeamayor de San Martín (Valladolid).

El fuego induce cambios en la distribución de la biomasa y de la necromasa del ecosistema. La necromasa disponible para la combustión antes del fuego desaparece y se forma una nueva necromasa por la afección del fuego a las estructuras vivas. Dicha necromasa puede tener una abundancia variable según las características del monte y la severidad alcanzada. Así, incendios intensos en bosques dejan una cantidad ingente de madera muerta. La redistribución de la necromasa influye en los procesos de recuperación del quemado; por ejemplo, sobre el espacio físico para la instalación de nuevos vegetales o sobre el ciclo de nutrientes.

Por otra parte, el fuego también produce alteraciones edáficas que cambian las oportunidades de habitación y colonización del rodal de cada taxón. La combustión provoca una descomposición rápida de la materia orgánica del suelo y la mineralización de los nutrientes, lo que habitualmente mejora su disponibilidad por un tiempo. Como ya se ha comentado, las alteraciones del suelo suelen facilitar la germinación e instalación de brinzales de especies colonizadoras porque las capas gruesas de hojarasca y las sustancias alelopáticas capitalizadas en el sustrato son eliminadas. El efecto del fuego sobre el suelo se desarrolla en el epígrafe **"8.2.1. Efectos sobre el suelo"**.

El otro cambio significativo que el fuego induce de forma indirecta sobre el ecosistema es la alteración de su susceptibilidad a otros eventos renovadores, algunos de ellos sinérgicos a los incendios. Este asunto se expone en el epígrafe "**8.1.3.2. Otros agentes del régimen de renovaciones: la concatenación sinérgica de eventos**".

8.1.2.2. Características del evento renovador

Las características del fuego y sus condiciones determinan en buena medida el alcance de las modificaciones del ecosistema haciendo que la severidad sea distinta y, por ende, el legado del ecosistema tras la renovación. Como ya se ha explicado, esta influencia es relativa, pues depende también de la resistencia y resiliencia del monte, así como del contexto en que la renovación se desarrolla.

La influencia del fuego se produce a dos escalas contrastadas: una en el nivel de detalle debido a los constantes cambios en los frentes de llamas que producen a veces heterogeneidades marcadas en espacios cercanos, y otra a escala amplia por las características generales del evento.

8.1.2.2.1. El comportamiento del fuego como generador de heterogeneidad a escala detallada

Los montes varían en el espacio tras el paso del fuego, no solo en el tiempo. Esto se debe a la distinta severidad que los frentes de llama producen en su progresión, lo que hace que los paisajes vegetales puedan ser diversos tras la renovación. La afección varía según:

- La forma de avance de los frentes de llamas.
- Las concentraciones y estructura del combustible.
- Los atributos de la vegetación y su historia previa.
- Los distintos gradientes edáficos y topográficos.
- La presencia de barreras o refugios para las plantas.
- La influencia de la meteorología durante el evento.

Por ejemplo, es fácil apreciar la afección diferente del fuego a la vegetación en refugios relativos respecto de su entorno, como vaguadas o suelos rocosos, o la severidad desigual en un mismo incendio entre laderas quemadas por frentes ascendentes o descendentes.

La influencia del comportamiento detallado del fuego sobre el ecosistema depende de las situaciones de desarro-

llo de los frentes de llama en cada lugar y momento, pudiendo ser heterogéneo en diversos grados e imprevisto. Varios estudios, como los de Ryan (2000), Fernandes *et al.* (2002), Jain y Graham (2004) y Alexander y Cruz (2012), se han esforzado por medir y parametrizar la relación entre comportamiento y características del frente de combustión, los efectos directos del fuego sobre el ecosistema y, en menor medida, en la reacción del legado tras la renovación, aunque es una línea de estudio en la que hay que profundizar. La **tabla 8.1.** expone sucintamente cómo influye directamente la llama a la vegetación, y la **8.2.** recoge algunos de los efectos directos e indirectos que el comportamiento del fuego puede provocar en los montes.

Fotografía 8.55. La heterogeneidad del fuego en lugares próximos genera resultados contrastados en espacios cercanos.
El distinto comportamiento del fuego en la ladera de la imagen permitió que algunos golpes de pinos adultos (*Pinus pinaster*) sobrevivieran al último incendio.
Fuentes de Ayódar (Castellón/Castelló).

Tabla 8.1. Relación entre los parámetros de la combustión y la agresión a la vegetación

Parámetros de la combustión	Efecto directo sobre la vegetación
Velocidad de propagación del fuego	Influye en lo rápidamente que el quemado crece. Desde el punto de vista de la vegetación de un lugar, tiene que ver con el tiempo que se encuentra bajo la influencia del fuego.
Tiempo de permanencia de la combustión	Define el período en que un organismo está expuesto a la combustión, ya sea de llamas o de ascuas. Influye, junto con la energía recibida, sobre el nivel de daños tisulares y en las probabilidades individuales de supervivencia al fuego.
Longitud de la llama	Determina qué estructuras de la planta son destruidas por la combustión: cuáles llegan a arder y cuáles necrosan por calor.
Inclinación de la llama	Influye sobre el efecto de la longitud de la llama limitando su repercusión vertical, pero reforzando su efecto sobre un lado y la superficie del suelo. También está relacionada con la velocidad de propagación según a qué lado el frente de llamas se incline.
Anchura del frente de llamas	Tiene que ver con el tiempo de permanencia de la combustión de llamas. Cuanto más ancho es un frente para una misma velocidad de propagación, más tiempo los organismos estarán expuestos al efecto de la combustión.
Intensidad lineal	Representa la energía emitida en un momento dado por el frente de llamas; es decir, la agresividad instantánea del fuego. Da idea de los daños que los tejidos vegetales expuestos pueden estar sufriendo en ese momento.
Energía total desprendida	Representa la profundidad de la agresión física total del evento sobre la vegetación y cuán grande puede ser la severidad resultante.

Tabla 8.2. Aproximación a escala de detalle a los efectos del comportamiento del fuego sobre los montes.

Avance del fuego	Clase de monte	Efectos directos más habituales*	Efectos indirectos relacionados*
De flanco	Herbazal	Combustión de todo el estrato.	Terreno totalmente raso, liberación de fertilizantes al suelo, posible mejora para rumiantes.
	Matorral, arbustedo y latizal	Toda la estructura puede llegar a arder. Puede haber zonas menos afectadas.	Terreno raso, liberación de fertilizantes al suelo, posible mejora para rumiantes.
	Bosque adulto	Fuegos de hojarasca y sotobosque de mediana intensidad que pueden originar entorchamientos en algunas circunstancias. Clara baja de escaso o mediano peso y poda térmica del arbolado.	Efectos dispares según la fase de desarrollo y especies dominantes. Por ejemplo, facilitación de la eliminación del sotobosque intolerante o eliminación de la regeneración bajo doseles senescentes.
En contra	Herbazal	Combustión de todo el estrato. Puede haber islas de vegetación o macollas no afectadas	Terreno raso, liberación de fertilizantes al suelo, posible mejora para rumiantes. Pueden quedar golpes sin arder.
	Matorral, arbustedo y latizal	Fuego de hojarasca y matas bajas con coronaciones de la estructura más o menos puntuales.	Liberación de espacio, pero pueden quedar golpes de vegetación casi sin tocar.
	Bosque adulto	Fuegos de hojarasca y sotobosque de poca intensidad, pero de tiempo de combustión dilatado.	Baja liberación de espacio en el dosel arbóreo. Efectos dispares según la fase de desarrollo y especies dominantes.
A favor	Herbazal	Combustión rápida de todo el estrato	Terreno totalmente raso, liberación de fertilizantes al suelo, posible mejora para rumiantes.
	Matorral, arbustedo y latizal	Combustión de toda la vegetación.	Terreno totalmente raso, liberación de fertilizantes al suelo, posible mejora para rumiantes.
	Bosque adulto	Fuegos de hojarasca y sotobosque que pueden coronar la estructura y convertirse en fuegos de copas destructivos. En otras situaciones, clara baja de peso mediano o alto y poda térmica del arbolado.	Efectos dispares según la fase de desarrollo y especies dominantes. Por ejemplo, desde la renovación de toda la vegetación a la apertura de huecos irregulares en forma, tamaño y distribución.

* Se expone una situación media estimada. Puede haber fuertes variaciones en función de la estructura vegetal, pendiente, sequedad, calor y viento en los efectos directos y, por ende, en los indirectos.

Fotografía 8.56. La pendiente es un factor importante para la creación de contrastes por fuego. En la imagen se observan dos laderas enfrentadas (izq.-der.) que sufrieron un incendio hace unos años. El regenerado de *Pinus halepensis* es más profuso y el rearbolado casi completo en la ladera de la derecha, lo que contrasta con la de la izquierda, en la que hay algunos claros amplios. A pesar de que la situación del monte antes del incendio y las características del suelo han podido influir en el resultado (no así la orientación, que es de solana para la de la derecha), es plausible pensar que la ladera de la izquierda pudo tener un fuego descendente y la de la derecha una ascendente: los fuegos rápidos de copas facilitan el regenerado por estróbilos serótinos.
Fuentes de Ayódar (Castellón/Castelló).

8.1.2.2.2. Las características del evento renovador como moduladores de la severidad a escala amplia

Los incendios son eventos renovadores cuya escala de referencia es la de paisaje, aunque muchos de los sucesos son actualmente más pequeños por efecto de la parcelación del territorio y la acción de los medios de extinción. A su libre albedrío, puede que muchos llegaran a ser notablemente extensos. Una aproximación adecuada a la dinámica de los incendios se debe hacer desde un enfoque de la ecología del paisaje, y los incendios pueden caracterizarse por los atributos generales de cada evento a esta escala.

Varios autores han mostrado la importancia de las características generales de los eventos renovadores sobre el efecto que provocan en el ecosistema y los procesos que se desencadenan desde ese momento (Wright y Bailey, 1982; Whelan, 1995; Bond y van Wilgen, 1996; Moreno y Cruz, 2000; Sevilla, 2008). A continuación, se realiza una aproximación separada a ellos, pero —como ocurre en los sistemas complejos— la suma de los efectos debidos a cada factor —que pueden ser muy dispares individualmente— produce resultados emergentes con características más complejas que lo que cabría esperar de la simple agregación de estos atributos.

Aspectos ya introducidos en el capítulo del régimen de incendios serán tratados más adelante, pero poniendo el énfasis en los efectos sobre la vegetación. A continuación, se desarrolla la influencia de la intensidad, el tipo de fuego, la época, el tamaño y la forma, así como la frecuencia de los incendios sobre el ecosistema.

8.1.2.2.2.1. Intensidad y tipo de fuego

La significación de la intensidad y tipo del fuego como características del evento se debe a que definen en buena medida los daños directos a la vegetación: son los factores principales que determinan los daños o activación de los tejidos de las plantas y de los propágulos. Por tanto, contribuyen a definir cómo será la severidad junto con los atributos de resistencia de los organismos y época del suceso.

El tipo de fuego y su intensidad están relacionados desde el punto de vista estructural. La intensidad para un mismo complejo de vegetación depende de la sequedad del combustible, del influjo del viento, de la temperatura ambiente y del modo de avance del fuego, que genera longitudes de llama, tiempos de residencia de la combustión y patrones de circulación del calor distintos en cada caso.

Fotografía 8.57. La intensidad del fuego de superficie se encuentra relacionada con una severidad menor, aunque esta relación no se cumple siempre, ya que depende también de otros factores.
En la imagen se observa el daño en un raigal de un ejemplar de *Pinus pinaster* por fuego, pero que no parece haber puesto en peligro la vida del individuo. Esto ocurre en una dorsal donde los prendidos por rayo son frecuentes y muchos de los fuegos se desarrollan pendiente abajo, con lo que su intensidad es relativamente baja.
Algimia de Almonacid (Castellón/Castelló).

El tipo de fuego está circunscrito a la realidad estructural del monte, según la disposición que tengan los combustibles, que puede ser más o menos compleja en su arquitectura y en el número de estratos existentes, como se ha comentado en el **capítulo 7**. El tipo está regulado por la intensidad; cuanto mayor es, más probabilidad hay de que toda la estructura vertical de la vegetación arda.

Por otra parte, la influencia de la intensidad y de la frecuencia de fuego están relacionadas entre sí por medio del alcance de la severidad. Se observa que la alteración del ecosistema tiende a ser más profunda cuanta más energía se libere en la combustión. Esto provoca que se pierda en mayor grado la influencia de la historia previa en la evolución del monte (Bond y van Wilgen, 1996). Dicho de otra manera, la intensidad se hace más significativa frente a la frecuencia en la dinámica vegetal cuando el legado del ecosistema anterior se hace mínimo por la renovación y el terreno queda próximo a la situación de desierto. De esta forma, las opciones para conformar la evolución del ecosistema mediante la selección y apoyo de unas u otras poblaciones preexistentes, las cuales han desaparecido en buena medida en el quemado, se reducen.

Fotografía 8.58. La intensidad de los incendios fluctúa debido a cambios en las variables que regulan la propagación. Los cambios repercuten también en que la severidad sea heterogénea.
Gran ejemplar de *Pinus pinea* que ardió de copa completamente frente a árboles más pequeños que "solo" sufrieron un soflamado mortal. Esta situación, que contradice el principio de ventaja de las plantas más grandes, se ha debido a un comportamiento puntual del fuego.
Fuente el Olmo de Íscar (Segovia).

Fotografía 8.59. La intensidad también es variable en los combustibles pesados.
En la imagen se ve un efecto paradójico: fustes tendidos que no han ardido totalmente junto a huecos dejados por tocones que se han consumido completamente. El suelo ha protegido a la combustión en cada abertura generando un efecto horno que facilitó el fuego de ascuas hasta que el combustible se agotó.
Un tocón de *Pinus nigra* no ardió porque aún estaba vivo en el momento del fuego debido a conexiones radicales con otros árboles.
Fresno de Rodilla (Burgos)

8.1.2.2.2.2. La época del fuego

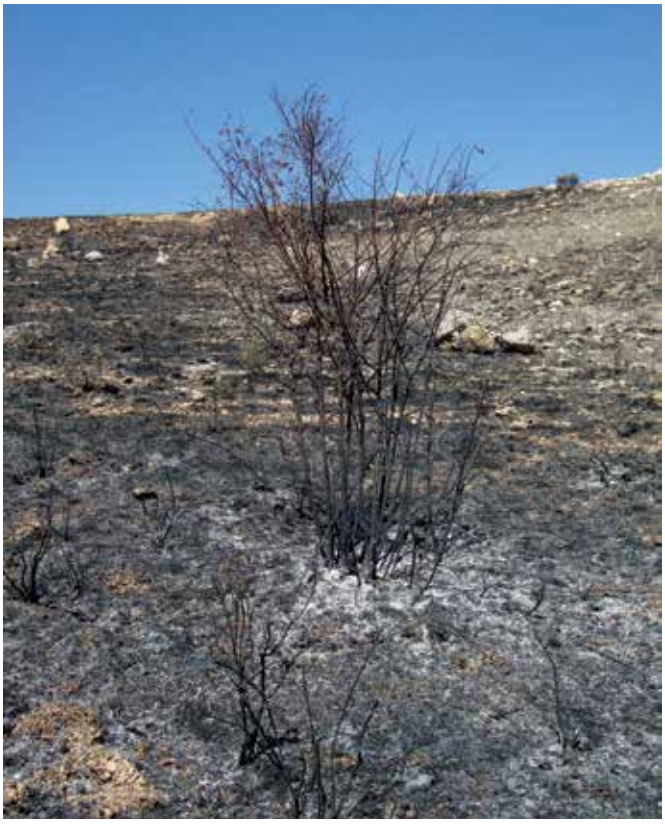
El momento en que la renovación se produce tiene importancia en la dinámica del ecosistema porque la susceptibilidad y la fragilidad al fuego son distintas en cada periodo. La época en que la renovación acontece puede ser amplificadora o depresora de los efectos de una misma intensidad y tipo de fuego debido a las distintas situaciones vegetativas y de desarrollo en las que el ecosistema puede encontrarse. El efecto de la combustión respecto del tiempo es complejo y puede variar en función de distintos aspectos.

Normalmente, la época del incendio se ha asociado al estado fisiológico y fenológico de la vegetación (Moreno y Cruz, 2000). La ocurrencia del fuego en una determinada estación del ciclo anual hace que el impacto de la renovación sea diferente según la situación metabólica y reproductiva de las plantas, interviniendo en esto la dinámica de las reservas de carbohidratos de las supervivientes y la afección a los propágulos, lo que influye a su vez en el legado que sale del fuego (Whelan, 1995). De forma general, los individuos son más resistentes al calor en invierno por efecto de la parada vegetativa, ya que no hay movimiento de savia y las yemas se encuentran inactivas y protegidas por estructuras más sólidas.

La época también condiciona el reclutamiento de nuevos individuos participando en la modificación de la composición específica del monte. El suceso de la renovación justo antes de la floración puede tener un efecto muy negativo sobre la población; sobre todo, en especies que no tienen banco de semillas ni capacidad de rebrote. En cambio, los fuegos acaecidos después de la fructificación dan más oportunidades de permanencia mediante relevo generacional. El momento también condiciona lo temporalmente próximas que las semillas estén de la época de germinación, lo que influye en su supervivencia; por ejemplo, ante predadores y condiciones climáticas desfavorables.

La mayor parte de las especies tiene el máximo acopio de semillas disponibles cuando la última cosecha está madura. La primavera y el principio del verano son los momentos en que hay menor cantidad de simiente disponible para buena parte de la vegetación ibérica (Lloret, 2004).

Las condiciones del suelo, que intervienen indirectamente en la activación de los bancos de propágulos edáficos, se ven influidas por el momento; fundamentalmente, a través de la transmitancia del calor según el grado de humedad y temperatura del sustrato.



Fotografía 8.60. La estación en que ocurre el evento influye en el comportamiento del fuego y en la afección a las plantas.
Un incendio de herbáceas ralas ha impactado fuertemente sobre una rosácea (*Rosa canina*) que estaba acompañada por algunos ejemplares de *Genista scorpius*. Las condiciones de calor y sequedad de un día de agosto facilitaron un comportamiento intenso del fuego.
El momento también tiene significación en la dinámica vegetal: la planta aún no ha madurado completamente las semillas del año y está bajo una situación de estrés hídrico marcado que puede acabar con las partes del sistema radical que todavía permanezcan vivas. Es posible que el individuo desaparezca sin dejar descendencia de ese año tras el incendio.
Quemado en Espinosa de Cerrato (Palencia)

Para un mismo lugar, el rebrote se encuentra condicionado por las reservas de energía de las plantas y por el tiempo de latencia de los vegetales antes de una época adecuada para el crecimiento, lo que influye en el desgaste de las reservas disponibles. Parece lógico que cuanta más energía acopia un organismo más vigoroso será el rebrote tras el fuego, así como que pueda permanecer más tiempo en parada vegetativa antes de la primavera si la afección ha ocurrido antes de las estaciones adecuadas para la actividad vegetal. En general, recepes de la misma intensidad realizados justo antes del movimiento de savia de la primavera aumentan el éxito en la regeneración. Esto es conocido en algunos casos; por ejemplo, para las intervenciones selvícolas en quercíneas mediterráneas en monte bajo (Bravo *et al*., 2008).

Fotografía 8.61. Los incendios intensos de verano en pinares sin serotinia suelen ser devastadores para las poblaciones de árboles. Los pinos acostumbran a liberar su simiente en esa estación y las semillas quedan recibidas someramente en el suelo, por lo que casi todas suelen desaparecer en caso de fuego. Hay una interacción temporal negativa para estos pinos entre la época típica de incendios y su momento de liberar los piñones.
Quemado en un pinar dominado por *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris* en el que la hierba empieza a verdear. Fresno de Rodilla (Burgos).

Fotografía 8.62. La influencia del momento del fuego no solo guarda relación con el ciclo anual de la vegetación, sino también con el ciclo vital de las plantas.
La severidad de un mismo fuego tendrá distinto alcance en los dos rodales de *Pinus pinaster* en fases de desarrollo contrastadas que se observan en la imagen. Esto se debe a sus diferencias estructurales y de capacidad reproductiva derivadas de las distintas edades y tamaños de los árboles que componen cada grupo.

Cantabrana (Burgos).

Por su parte, Moreno y Cruz (2000) realizaron experiencias de quema de matorral pirófito ibérico observando valores de rebrote y supervivencia superiores en las parcelas quemadas en primavera frente a las de otoño, aunque indicaron que este puede no ser un patrón universal. Paradójicamente, las afecciones a finales de invierno o inicios de primavera se deben enfrentar a menores niveles de energía acopiada en las plantas debido a su desgaste durante la latencia invernal, pero parece que su regeneración es mejor aun así. Esto puede obedecer a que las reservas de carbohidratos son elevadas para las especies más adaptadas en condiciones habituales, de forma que resultan suficientes para rebrotar tanto en los fuegos producidos en otoño como en primavera; al menos, así se puede deducir de experiencias sobre *Erica australis* realizadas por los mencionados autores.

Fotografía 8.63. *Sequoiadendron giganteum* es probablemente el árbol paradigmático respecto al efecto de resistencia al fuego por el tamaño del organismo, pero también de la edad. Existe una relación entre tamaño y talla para una misma especie, aunque está influida por factores de crecimiento del árbol y de la calidad de estación.
Los árboles de la imagen no solo son enormes, sino también longevísimos. El efecto del fuego sobre los organismos tiene un significado muy distinto ahora del que hubiera podido tener cuando estas coníferas contaban apenas unas pocas savias.
Mariposa Grove, Parque Nacional de Yosemite (Estado de California, Estados Unidos).

Todo esto indica que, en algunos casos, la proximidad de la renovación con la época de actividad vegetativa puede tener mayor importancia que el tamaño de las reservas de carbohidratos habituales de las plantas sobre el vigor del rebrote. Hay cierta lógica en ello: el rebrote es mejor en primavera —porque las condiciones ambientales favorecen la actividad vegetal y el crecimiento— que en épocas de parada vegetativa aunque esta sea relativa y haya muchas reservas.

En otro sentido, es normal que la importancia relativa de los acopios energéticos para el rebrote aumenten ante la conjunción de situaciones desfavorables, como sequías prolongadas, daños frecuentes, etc.

También se han descrito rebrotes vigorosos en vegetaciones no pirófitas que pueden resultar paradójicos, como algunos casos de un buen reclutamiento de chirpiales de *Corylus* y *Quercus* no esclerófilos en quemas de primavera llevadas a cabo en bosques templados (Bond y van Wilgen, 1996).

Abriendo el enfoque sobre la época, el tiempo debe considerarse a otras escalas respecto del estado del ecosistema aparte de la fenología y situación metabólica de los organismos. El fuego puede sorprender al bosque en distintas fases de desarrollo generacional y en estados sucesionales dispares, los cuales también se relacionan con una escala temporal. En este nivel, los incendios producen normalmente un rejuvenecimiento del ecosistema. Si el fuego es suficientemente severo, provoca la muerte de muchas de las plantas adultas, o de su parte aérea al menos, y el reinicio de la ocupación del terreno por juveniles. No obstante, esto no siempre ocurre así, como es el caso de los fuegos de sotobosque que eliminan a la regeneración adelantada y respetan al dosel dominante adulto produciendo un añejamiento grupal del arbolado.

8.1.2.2.3. Tamaño y forma del quemado

El tamaño de los quemados y su forma son aspectos que repercuten en los procesos de revegetación del terreno renovado. La geografía del quemado condiciona los aportes o limitantes que pueden llegar del exterior de este y a las dinámicas en el nivel de paisaje desencadenadas por la renovación. Obviamente, la importancia del tamaño en la revegetación depende de los atributos vitales de las plantas dominantes o más comunes del quemado. Si son rebrotadoras o germinadoras con ban-

Fotografía 8.64. El tamaño y la forma del quemado influyen en los procesos de revegetación que se establecen tras el evento renovador.
Calva en revegetación debida a incendio, un rodal que contrasta claramente con el pinar circundante.
Cantabrana (Burgos).

cos de semillas eficaces para el caso, la extensión del fuego tiene una repercusión menor en la recolonización (Moreno y Cruz, 2000). Sin embargo, estos son factores que siempre influyen sobre la presencia y recuperación de especies ocasionales o raras en el área. La importancia de la extensión y forma del área renovada está sujeta a la escala: cuanto mayor es el área afectada, más peso relativo tiene en la evolución del quemado y en la influencia de este sobre el territorio en que se integra.

Los quemados de pequeña extensión presentan ventajas que facilitan su revegetación, ya que sus dimensiones están dentro del alcance habitual de los propágulos del contorno. En el caso de los bosques, sigue habiendo cierta protección lateral por el arbolado adulto, que evita que las condiciones sean de descubierta estricta; cuanto menos, en el perímetro del predio. Proporcionalmente al aumento del tamaño de los fuegos, la llegada de propágulos externos a todo el quemado y la influencia de la protección lateral va disminuyendo hasta alcanzar situaciones en las que el efecto de la vegetación exterior a la renovación es muy tenue, como puede ser, por ejemplo, la llegada ocasional de alguna semilla por la deposición de un animal.

La forma del quemado condiciona los efectos del tamaño. Las siluetas sinuosas incrementan la longitud de borde y la influencia de la vegetación exterior para una misma superficie renovada. La existencia de golpes de vegetación superviviente en el interior también hace más fácil la revegetación al haber más fuentes de simiente (Castellano *et al.*, 2009).

Asimismo, hay que tener en cuenta que la posición del quemado respecto del paisaje, la naturaleza de las zonas aledañas y su distribución condicionan la facilidad de llegada e instalación de propágulos generados fuera del área incendiada (Sevilla, 2008). De ese modo, es posible que una vegetación vecina recientemente perturbada aún no tenga capacidad para colonizar mediante semillas.

Fotografía 8.65. Contraste entre una zona quemada recientemente (izq. imagen) con una que no ardió (der. imagen). Al ser un monte de matorral, la cicatriz que se observa entre las dos teselas se difuminará pronto.

Las Machorras (Burgos).

Fotografía 8.66. La conformación de los bordes influye en la revegetación del quemado y en otros procesos ecológicos condicionados por ecotonos a distintas escalas.

Borde de un quemado. Labajos (Segovia).

Los animales también presentan sinergias con el tamaño y forma de los quemados. Participan en conducir la sucesión tras fuego presionando a determinados vegetales y dispersando y facilitando la colonización de otros. Este asunto se desarrolla más adelante en los epígrafes "**8.1.3.2. Otros agentes del régimen de renovaciones: la concatenación sinérgica de eventos**" y "**8.2.2. Efectos sobre la fauna**".

8.1.2.2.4. Frecuencia de los fuegos

La frecuencia entre los fuegos —concretamente, el intervalo de tiempo discurrido entre dos eventos de un rodal— interviene en la conformación del legado a través de su interrelación temporal con los ciclos de las plantas y las dinámicas poblacionales. La cadencia del suceso de fuego influye sobre la dinámica del monte interfiriendo:

- Con el momento metabólico y del ciclo vegetativo del organismo.
- Con la edad de madurez sexual de las plantas.
- Con el tiempo o tamaño en que los organismos alcanzan una capacidad de regeneración vegetativa funcional en las especies que tengan esta facultad.
- Con el momento en que se llega a una talla o se conforman unas estructuras resistentes relativamente eficaces.
- Con la longevidad de los individuos.

Fotografía 8.67. Las frecuencias de fuego suelen ser irregulares y varían en cada época. El ser humano ha regido la cadencia de fuego por la importancia del uso pastoril en muchos de los montes de la península ibérica.
Uno de los efectos más notables del cambio socioeconómico acaecido durante las últimas décadas ha sido una disminución en la frecuencia de aparición del fuego en ciertas zonas.
Viejo castaño (*Castanea sativa*) calcinado en un claro de un rebollar (*Quercus pyrenaica*).
Sotillo de Sanabria (Zamora).

Los ritmos de las plantas vienen determinados por sus atributos vitales y se encuentran influenciados por otros factores, tales como las condiciones de la estación o el estado selvícola del monte. Destaca la productividad como influyente en la recuperación del ecosistema frente a la frecuencia de fuego: donde el crecimiento vegetal es mayor, más rápida es la restitución de la cubierta (Sevilla, 2008).

La frecuencia es el atributo del evento renovador que mejor hace comprender el concepto de régimen, porque presupone repetición de la acción. Muestra la habitualidad de los procesos de combustión de la vegetación en un lugar concreto y su recuperación.

Suponiendo fuegos con características similares, la frecuencia de incendios interacciona con los ritmos biológicos y reproductivos de las poblaciones que conforman la comunidad vegetal según los atributos vitales de cada especie. Distintas frecuencias de incendios provocan reacciones particulares en cada especie en función de sus atributos vitales y su dinámica poblacional provocando el progreso o depresión de la población. Por ejemplo, es notable la influencia del intervalo en la supervivencia de las poblaciones de matorrales germinadores cuya regeneración se ve beneficiada o provocada por el fuego. Tales poblaciones son beneficiadas por incendios frecuentes con determinada cadencia, lo que les facilita alcanzar la dominancia del monte y permanecer en ella aunque haya relevos generacionales habituales. Las combustiones excesivamente seguidas —si hubiera continuidad de combustible, por ejemplo por abundancia de herbáceas— antes de que los nuevos individuos lleguen a la madurez sexual y generen un adecuado acopio de propágulos pueden poner en riesgo a estas poblaciones al diezmarse el banco de semillas con la consiguiente eliminación de estas especies en el ecosistema a medio plazo.

Los intervalos demasiado largos, tanto o más como el ciclo de vida de los individuos, producen un envejecimiento acusado de la población pirófita generalmente acompañado por una progresión en la sucesión si individuos de otras especies más tolerantes y/o de tipo arbóreo consiguen instalarse. Los períodos dilatados sin fuego hacen que la capacidad reproductiva de los matorrales pirófitos merme según la población va sucumbiendo a la senescencia y a la competencia, y sus bancos de semillas se añejan. Esto provoca un declive de la población, porque la reposición de individuos es baja, y la especie tiende a disminuir o incluso a desaparecer del monte excepto si el fuego vuelve a aparecer y activa a sus semillas de forma masiva.

Por último, cabe indicar que, según Bond y van Wilgen (1996), la influencia de las repeticiones de fuego en las dinámicas vegetales parece ser más acusada en frecuencias de suceso extremas. Por una parte, los incendios frecuentes producen una retroalimentación positiva sobre los ecosistemas, que aumentan su susceptibilidad al fuego (Myers, 2006). En estas situaciones, la frecuencia rige en gran medida el desarrollo del monte quedando seleccionadas solo las especies que pueden soportar ritmos elevados de perturbación por combustión para habitar en el lugar. En general, los intervalos de retorno cortos provocan que los ecosistemas tiendan a cambiar de la siguiente forma (modificado de Bond y van Wilgen, 1996):

- Producen una disminución de la altura de la vegetación, como las transformaciones de montes altos por bajos, apertura de los doseles, sustitución de formaciones leñosas por herbazales, repetición secuencial de fases de ocupación, etc.
- Conducen a la sucesión hacia una mayor intolerancia a la concurrencia. Se generan condiciones de mayor sequedad en el nivel microclimático e iluminación superficial al perderse cobertura arbórea o arbustiva. Las especies o comunidades heliófilas y pirófitas son promovidas; usualmente, con buenos mecanismos de regeneración tras el fuego, con bajas tasas de descomposición, hojas xerófilas, ramillas finas, etc., que conforman paisajes piropronos.
- Reducen la biomasa total del monte; sobre todo, la leñosa.

Fotografía 8.68. Los extensos montes rasos del medio cantábrico solo son posibles con una frecuencia de fuego alta debido a la bonanza del clima. Los incendios y las quemas relacionadas con la cultura ganadera han tenido una influencia decisiva en estos paisajes forestales.

Parres (Asturias).

En el otro extremo están los bosques donde la aparición de fuego es extraordinaria al igual que otros eventos renovadores de extensión y severidad parecida, que suelen resultar muy impactados por el suceso de un incendio. Esto obedece a que, en muchas ocasiones, las especies que medran en el lugar suelen ser frágiles al efecto de la combustión por una inexistencia relativa de adaptaciones al agente fuego asociada con los bosques tolerantes a la concurrencia. Al no mediar mecanismos para soslayar la afección, puede tener lugar un desbaratamiento profundo del ecosistema inicial.

Fotografía 8.69. El fuego deja marcas en la vegetación superviviente que se pueden ir difuminando con el paso del tiempo, pero que en algunas ocasiones permiten estimar la frecuencia de fuego.
La dendrocronología, palinología y antrocología son disciplinas que ayudan a determinar las frecuencias de incendio en algunos montes y que están permitiendo conocer algunos de los aspectos de los regímenes de incendios pretéritos (véase Carrión, 2012).
Fuste de un ejemplar de *Pinus pinaster* con muestras de haber sufrido fuego junto a un juvenil de *Quercus suber* sin chamuscado en su tronco. Quizá el último fuego ocurrió hace más de 12 o 15 años.

Azuébar (Castellón/Castelló).

Fotografías 8.70. (arriba-izq.), **8.71.** (arriba-der.) y **8.72.** (abajo). La frecuencia de renovación determina en buena medida el estado de los bosques en algunos lugares. Si el suceso de incendio aumenta su frecuencia, los montes generalmente se empobrecen florística y estructuralmente.

El bosque chiquitano es un ecosistema tropical seco que constituye una transición entre los bosques amazónicos húmedos y los arbustedos del severísimo Chaco. Según Kennard *et al.* (2001), los incendios son relativamente habituales en este ecosistema —quizá con una frecuencia histórica de 30 a 60 años—, pero probablemente el futuro aumento de las actividades humanas cambie el patrón de incendios y haya alteraciones indeseadas sobre el bosque.

Arriba-izq.: Una zona del bosque alejada de núcleos de población y relativamente poco alterada por las actividades humanas en las últimas décadas.

Arriba-der.: Tronco chamuscado. El fuego ha sido más habitual en las zonas cercanas al pueblo y la vegetación lo confiesa en su estructura y vigor.

Abajo: El chaqueo es la técnica tradicional en la región para despejar y preparar las *chacras* o parcelas de cultivo. Las negligencias en esta actividad son la primera causa de inicio de incendio actualmente.

Aguas Calientes (Departamento de Santa Cruz, Bolivia).

8.1.3. OTROS INFLUYENTES IMPORTANTES SOBRE LA SEVERIDAD Y LA REACCIÓN DEL ECOSISTEMA AL FUEGO

Siguiendo el esquema presentado por Sevilla (2008), hay procesos o situaciones que ayudan a determinar la reacción del monte después de una perturbación. Estos influyentes son variados y con cierto componente contingente, y muchas veces pueden hacer seguir a la evolución del monte caminos distintos de los previamente esperados.

Por ejemplo, la gestión de la necromasa tras el fuego puede generar vías distintas en la evolución de un bosque quemado. Normalmente, el manejo de un pinar quemado en España es la corta y saca rápida de la madera intentando facilitar la buena instalación de los brinzales de las mismas coníferas, usar parte del ramaje para crear albarradas que frenen los procesos erosivos y acotar el pastoreo doméstico y silvestre por unos años para facilitar el éxito de la regeneración. El paso de la maquinaria facilita la escarificación del terreno y la instalación venturosa de nuevas plántulas. Todo esto hace, de mediar éxito en la germinación, que el quemado se convierta en un rodal arbolado coetáneo y bastante homogéneo rápidamente.

Ahora bien, si este bosque quemado se deja en pie, es posible que los árboles hagan de apostaderos para la avifauna y que se produzca cierta colonización de otras especies por zoocoria durante varios años hasta que no queden árboles en pie. El empadrecimiento se ve facilitado al no haber escarificación ni remoción extensa del suelo por maquinaria, por lo que resulta plausible que la instalación de plántulas de pino sea más escasa e irregular. Además, los restos de los árboles que haya en el suelo y los que se vayan derrumbando pueden entorpecer a parte de la regeneración. Los posibles procesos de erosión serán distintos —más intensos por lo general— aunque queden árboles muertos en pie y mucho ramaje cubriendo el suelo. Esta situación también dificulta el acceso de ungulados al predio, lo que puede limitar su acción hasta cierto punto. Puede, asimismo, haber una explosión de detritívoros de la madera y de sus predadores durante bastante tiempo. Todo esto genera más incertidumbre sobre la evolución del quemado. Es posible que el pinar se regenere a medio plazo, pero de una forma más irregular.

Los influyentes posteriores al fuego más significativos y comunes son el medio geoclimático y la relación entre los distintos agentes renovadores, desarrollados en los epígrafes siguientes. La influencia de estos factores casi siempre aparece tras una renovación extensa y severa. Es posible que marquen la evolución de un monte en cualquier momento si llegan a tener el poder atractor suficiente, pero pasan a ser influyentes de gran peso que pueden determinar con facilidad el desarrollo vegetal y la sucesión en un ecosistema convaleciente por fuego.

8.1.3.1. El medio geoclimático

Es la parte abiótica del ecosistema. Se trata de un influyente continuo, pues siempre está actuando sobre el complejo biológico e interaccionando con los demás factores que determinan la dinámica. Es el regulador principal de la productividad vegetal y rige en buena medida la velocidad de algunas dinámicas; por ejemplo, el crecimiento y la sucesión por concurrencia.

La influencia del medio geoclimático sobre el suceso fuego es importante antes de la renovación, durante el transcurso del fuego y en la reacción del legado vital de la comunidad.

Fotografía 8.73. La pendiente es, junto con otros factores topográficos, un factor que tiene influencia significativa en los procesos de revegetación de los quemados.
En la imagen se observa el quemado de un bosque dominado anteriormente por *Pinus pinaster*. La pendiente está condicionando el patrón de revegetación mediante su influencia en el flujo de semillas. Sobre el terreno, los brinzales del pino aparecen principalmente en la parte baja del quemado, donde las semillas de los adultos vivos situados a media ladera llegan por anemocoria. En contraste, más arriba, se aprecia cómo juveniles de *Quercus faginea* menudean en todo el quemado debido a su dispersión por zoocoria o provenientes de regeneración asexual. También aparecen frecuentemente juveniles de *Sorbus aria* gracias, asimismo, a la dispersión por la fauna.
Tartalés de los Montes (Burgos).

Fotografías 8.74. (arriba) y **8.75.** (abajo). El medio geoclimático influye sobre el resultado de los incendios porque condiciona a la vegetación y al desarrollo del incendio, y establece parte de las condiciones que influyen en el proceso de revegetación del lugar tras el evento. **Arriba:** Las características del monte influyen en cómo puede arder. En los lugares en que las condiciones geoclimáticas son más limitantes, esta influencia es más notable. Páramo del Sistema Ibérico donde la altitud y el litosuelo, además del régimen de renovaciones, hacen que la vegetación sea rala. Un posible incendio en este lugar tendería a propagaciones y formas irregulares.

Frías de Albarracín (Teruel).

Abajo: En la ladera recogida en la imagen se observa cómo el regenerado de *Pinus halepensis* aparece en las zonas de mayor potencia edáfica. El medio geoclimático ha influido en la revegetación tras el último incendio.

Chera (Valencia/València).

El estado del ecosistema con el que se enfrenta a la renovación —concretamente, su vigor vegetal— resulta determinante para la conformación del legado. En general, está bastante relacionado con la disponibilidad hídrica previa para un mismo ecosistema y momento en la península ibérica. También el medio geoclimático influye sobre la combustión mediante la humedad de la biomasa muerta y el marco atmosférico y topográfico que regula el comportamiento del fuego modulando el alcance de los daños en buena medida. Por otra parte, determina las condiciones ambientales tras el evento condicionando la respuesta del legado y la evolución del perfil edáfico; por tanto, participando en dirigir el desarrollo del ecosistema.

El clima también influye decisivamente sobre los montes mediante episodios meteorológicos más o menos momentáneos de distinta naturaleza —sequías, épocas hiperhúmedas, precipitaciones torrenciales o períodos de heladas extremas— que a veces determinan la evolución del monte durante generaciones. Estos sucesos pueden ser extemporáneos o habituales, aunque de aparición irregular, según el clima de cada lugar. Existe una marcada irregularidad hídrica invernal y primaveral en medios mediterráneos de la península ibérica (Costa, 2006), lo que aumenta exponencialmente el posible patrón de evolución de los montes recién renovados. La influencia de la irregularidad ibérica sobre la vegetación está constatada, ya que, para muchas especies o estaciones, se observa que la regeneración arbórea aparece de forma coetánea en los años en que se dan todas las condiciones ambientales adecuadas junto con una producción de semilla suficiente. Este fenómeno de regeneración en cohortes se ha descrito, por ejemplo, para *Pinus pinaster* y *P. pinea* en la meseta norte (Gordo *et al.*, 2012).

Fotografías 8.76. (izq.) y **8.77.** (der.). La productividad de la estación tiene una gran influencia sobre las dinámicas vegetales. Respecto al fuego, interviene por ejemplo en los procesos de acumulación de combustible mediante el crecimiento y la descomposición. Tras el fuego, regula la velocidad de los procesos de revegetación junto con las posibles extinciones y colonizaciones locales que puedan ocurrir. A mayor productividad, más facilidad para restañar los daños de la perturbación.
Las fotos superiores muestran dos extremos de productividad vegetal en la península ibérica.
Izquierda: En el sureste hay comarcas con unas condiciones ambientales límites para la vida arbórea. Los vegetales están muy condicionados por la sequía, y el efecto del fuego aquí depende de forma importante del contexto ambiental que haya tras la renovación a pesar de las adaptaciones pirófitas de muchas de las especies. Paisaje casi desértico producido por una histéresis previa dilatada, muy influida por el ser humano, y un medio geoclimático adverso. Muchamiel/Mutxamel (Alicante/Alacant).
Derecha: La cornisa cantábrica tiene un clima benigno para la vida vegetal. Aquí, la huella del fuego —o de otras renovaciones— no es tan trascendental a no ser que ocurra con frecuencias muy altas. La revegetación después del fuego suele ser rápida por efecto de la productividad, así como el avance en la sofisticación estructural y en la sucesión. Plantío de *Eucaliptus globulus* de menos de una década de edad desde su última corta a matarrasa con un profuso sotobosque de matorral y gran presencia de hiedra (*Hedera helix*). Folgueras, Pravia (Asturias).

8.1.3.2. Otros agentes del régimen de renovaciones: la concatenación sinérgica de eventos

Este texto versa sobre la influencia del fuego en los montes, lo cual es una visión parcial del conjunto de factores que determina la dinámica del ecosistema, aspecto que no se debe olvidar. La realidad de los montes también está determinada por otros agentes y procesos de los que el fuego solo es un componente más. El peso del fuego en la dinámica está condicionado no solo por la inclinación de los paisajes vegetales a arder, sino también por el hueco, más amplio o restringido, que otras formas de renovación de los montes dejan a los incendios.

Fotografía 8.78. Las plagas y enfermedades suelen encontrar campo abonado para su desarrollo sobre los organismos debilitados.
Una relación íntima es la de los perforadores floetófagos y las coníferas convalecientes del efecto de un fuego. En la imagen se observa un fustal de *Pinus sylvestris* con unos troncos relativamente poco chamuscados que están muriendo. Tras un incendio del verano anterior, se realizó una corta de policía de los pies más afectados, pero un mero fuego de superficie ha malogrado el vigor de casi todos los pies adultos de este rodal facilitando la acción epidémica de los insectos.
Quintanar de la Sierra (Burgos).

Buena parte de las afecciones debidas al fuego pueden modificarse por la mayor preponderancia de otras formas de renovación, pero la relación entre los distintos tipos de perturbación es compleja, asimétrica y a veces paradójica. Ciertos agentes posibilitan el suceso de incendios al igual que el fuego puede facilitar la acción de otras perturbaciones.

Respecto a la evolución del monte tras el fuego, las modificaciones del ecosistema debidas a este agente perturbador varían la susceptibilidad a la acción de otros agentes renovadores (Wright y Bailey, 1982). Otra renovación concatenada tras el fuego puede marcar o decidir el futuro del monte durante períodos prolongados y de modo similar al influjo que ejercen algunas condiciones geoclimáticas. Estos procesos vinculados entre sí son heterogéneos. A continuación, se reseñan algunos de los más habituales.

Fotografía 8.79. La influencia de los eventos renovadores previos sobre el efecto de otros que puedan acaecer es una norma en la evolución de los ecosistemas. Los montes son sistemas complejos y dinámicos, y las retroalimentaciones en los procesos normales.
Rodal dominado por *Pinus pinea* que ha perdido buena parte de los árboles por un proceso de debilidad y posterior ataque de insectos. La situación deja menos suelo bajo cubierta, más cantidad de combustible disponible mediano y pesado, y un menor banco de semillas. El resultado de la mortandad influye sobre un hipotético incendio que pueda ocurrir en el lugar y en sus resultados.
Coca (Segovia).

Como se ha comentado en el apartado del tamaño y forma de los quemados, es conocido el efecto de los animales sobre la evolución de las áreas renovadas (Whelan, 1995). Estas suelen ser lugares atractivos para muchas especies de herbívoros; sobre todo, por su alimentación. En los rasos recién quemados suele haber gran dispo-

Fotografía 8.80. Hay un efecto llamada a los herbívoros en cuanto se produce cierta germinación en los predios quemados. Un cérvido (*Cervus canadensis*) ramoneando una mata. En el lugar se hacen quemas de mantenimiento para facilitar el dominio de las sequoyas adultas (*Sequoiadendron giganteum*) y tener una estructura del bosque similar a la que había antes del asentamiento europeo en el área.

Mariposa Grove, Parque Nacional de Yosemite (Estado de California, Estados Unidos).

nibilidad de semillas en un principio, lo que atrae a los granívoros, y más tarde profusión de brotes nuevos que son buscados por los herbívoros. Generalmente, se puede considerar que, para la mismas poblaciones animales, los quemados pequeños reciben más presión que los grandes y, por tanto, sufren una alteración mayor en su dinámica por las renovaciones de fuego y subsiguiente aparición de los herbívoros. La presión se difumina en los quemados grandes puesto que el terreno disponible es mayor de forma absoluta, aunque realmente los patrones de relación entre presión de los herbívoros y evolución de los quemados suelen ser más complejos. Por ejemplo, la aparición de quemados que aumentan considerablemente la disponibilidad trófica para los herbívoros pueden provocar un efecto de llamada inmigratoria hacia la zona renovada, que sea determinante en la evolución del monte desde ese momento aunque se trate de un predio extenso.

En otro sentido, destaca la función que muchos animales que frecuentan los quemados realizan como vectores de semillas. La significación de la acción de transporte es mayor en los espacios recién renovados al coincidir la llegada de material reproductivo con disponibilidad de espacio vegetativo en el monte. La zoocoria facilita el éxito de la colonización vegetal, aunque con un claro sesgo hacia ciertas especies.

La influencia de los herbívoros sobre los quemados está condicionada por distintos factores:

- El contexto paisajístico en que la zona incendiada está situada, lo que determina la estructura de los cuarteles de habitación de los animales y la importancia relativa de una nueva tesela rasa o parcialmente renovada en el conjunto.
- Las características del legado del ecosistema quemado.
- La naturaleza, densidad y comportamiento de las poblaciones faunísticas que actúan sobre el área. Respecto al efecto de distintos herbívoros, Jáuregui *et al.* (2005) observaron la diferente evolución de un tojal-brezal cantábrico sometido a regímenes de pastoreo contrastados de ovejas y de cabras constatando diferencias significativas en la acumulación de biomasa y en la diversidad específica en los casos estudiados.

Fotografía 8.81. La presión de los herbívoros es a veces determinante en la evolución de los quemados.
En la imagen se observa el resultado de un incendio intenso sobre un pinar, de la corta de los árboles muertos y del uso preferente del monte como pastadero posteriormente. La acción intensa del ganado vacuno ha evitado la continuidad, siquiera marginal, de la población arbórea. Ningún propágulo arbóreo ha podido tener éxito en su instalación efectiva.
Honrubia de la Cuesta (Segovia).

Otro caso conocido de sinergia animal-fuego es el de los insectos que constituyen plagas vegetales y otros organismos que provocan enfermedades en las plantas. En bosques de coníferas afectadas por el fuego, u otro factor de debilidad o estrés, hay un aumento del riesgo de ataque de escolítidos perforadores. La mortalidad de algunos árboles por soflamación y la debilidad más o menos acusada de los supervivientes facilita que los insectos puedan prosperar llegando incluso a episodios de explosiones poblacionales que permiten el ataque sistemático a rodales de árboles sanos. Esto da lugar a una retroalimentación al aumentar la susceptibilidad del bosque a arder, pues se producen acumulaciones de combustible muerto en las zonas no quemadas (Martin y Dell, 1978). En estos casos, los patrones de renovación global de los bosques pueden ser complejos por la acción concatenada, y a veces alterna, de los incendios y de los ataques masivos de barrenillos. Wright y Bailey (1982) describen estos procesos de renovación sinérgica fuego-insectos en los bosques de *Pseudotsuga menziesii* de América del Norte.

En España, Vega *et al*. (2011) estudiaron la mortalidad tras incendio de distintos ecotipos ibéricos de *Pinus pinaster*. Determinaron que las principales variables que explican dicha mortalidad son la fracción de copa soflamada, los ataques de escolítidos y la proporción de cámbium dañado.

Whelan (1995) señala interacciones vinculadas, pero aún no totalmente entendidas, entre el fuego y los marsupiales que son el vector de propagación de ciertos hongos que condicionan la evolución de algunos bosques australianos.

Respecto a la acción de agentes renovadores abióticos, señalaremos que la aparición de zonas rasas por incendios aumenta la predisposición del ecosistema a los procesos erosivos o al suceso de aludes donde este evento sea posible. La aparición repentina de calvas que exponen nuevos bordes de masa en bosques adultos puede facilitar los derribos masivos por viento si acontece un temporal intenso antes de que los árboles exteriores mejoren sus cualidades mecánicas.

Fotografías 8.82. (arriba) y **8.83.** (abajo) Los montes sobrepastoreados, inclusive sin un fuego previo, sufren ausencia de reclutamiento leñoso.
No hay relevo generacional en el arbolado y los ejemplares adultos se añejan: existe riesgo a largo plazo de que la población llegue a desaparecer y el monte pase a ser solo de herbáceas.
Arriba: Dehesa de *Quercus ilex* fosilizada por pastoreo demasiado intenso. Se observa que la acción fuerte de los herbívoros y el fuego generan presiones similares en la vegetación: el estrato superficial aparece casi raso y los árboles podados a la altura a la que el ganado llega.
Martín de Yeltes (Salamanca).
Abajo: La carga pastante es tan fuerte en este redil que el estrato de herbáceas ha desaparecido y el reclutamiento de plantas leñosas es inexistente.
Gobantes (Burgos).

Por último, es necesario hacer notar la importancia del ser humano en su doble faceta: la de restaurador y la de agente renovador. Mediante la selvicultura, puede facilitar la recuperación de la cubierta vegetal y de las condiciones previas del monte (Serrada, Aroca y Roig, 2008) o ayudar a conducir la evolución del ecosistema hacia otras formas gracias a procesos de renovación parcial o total.

Fotografías 8.84. (arriba), **8.85.** (centro) y **8.86.** (abajo). El régimen de renovaciones en la península ibérica está influenciado por la habitación humana y los usos del territorio, lo que hace que la dinámica de los montes sea más variada y compleja que sin los humanos. Según la situación, las personas facilitan o evitan el suceso de eventos "indeseados".

Arriba: Un pinar de *Pinus nigra* repoblado donde se ha realizado una poda de penetración. La intervención desde el punto de vista de los incendios tiene dos efectos contrapuestos: la continuidad vertical del combustible se rompe a largo plazo, lo que dificultará el desarrollo de incendios de copas; y el combustible disponible en el suelo aumenta haciendo que los posibles incendios de superficie tiendan a ser más intensos al menos hasta que los despojos se hayan descompuesto.

Nidáguila (Burgos).

Centro y abajo: La explotación pastoril de los montes también ha producido tradicionalmente un efecto contrapuesto sobre el régimen de incendios. La renovación a diente tiende a controlar el combustible fino, principalmente vivo, lo que limita a corto plazo la progresión de posibles incendios en las zonas intervenidas.

No obstante, los montes tienden a embastecerse poco a poco si las extracciones no son extraordinariamente intensas, lo que ha obligado a usar el fuego —o los desbroces en la actualidad dada la mejora de las capacidades de intervención mecánica— de forma regular para facilitar el dominio de las herbáceas en zonas amplias.

La imagen del **medio** muestra a un rebaño de ovejas alimentándose, mientras que la **inferior** expone un pequeño quemado de un aulagar (*Genista scorpius*) en las cercanías del rebaño. Probablemente ambos procesos, el pastoreo y la quema, tienen una relación íntima y sinérgica cuyo principal regidor es el ser humano.

Torme (Burgos).

8.1.4. DINÁMICA VEGETAL TRAS EL SUCESO DE FUEGO

El interés principal de los gestores forestales después del fuego es lograr la revegetación del quemado y saber hacia dónde puede ir la composición florística. En este epígrafe se exponen sucintamente ambos temas.

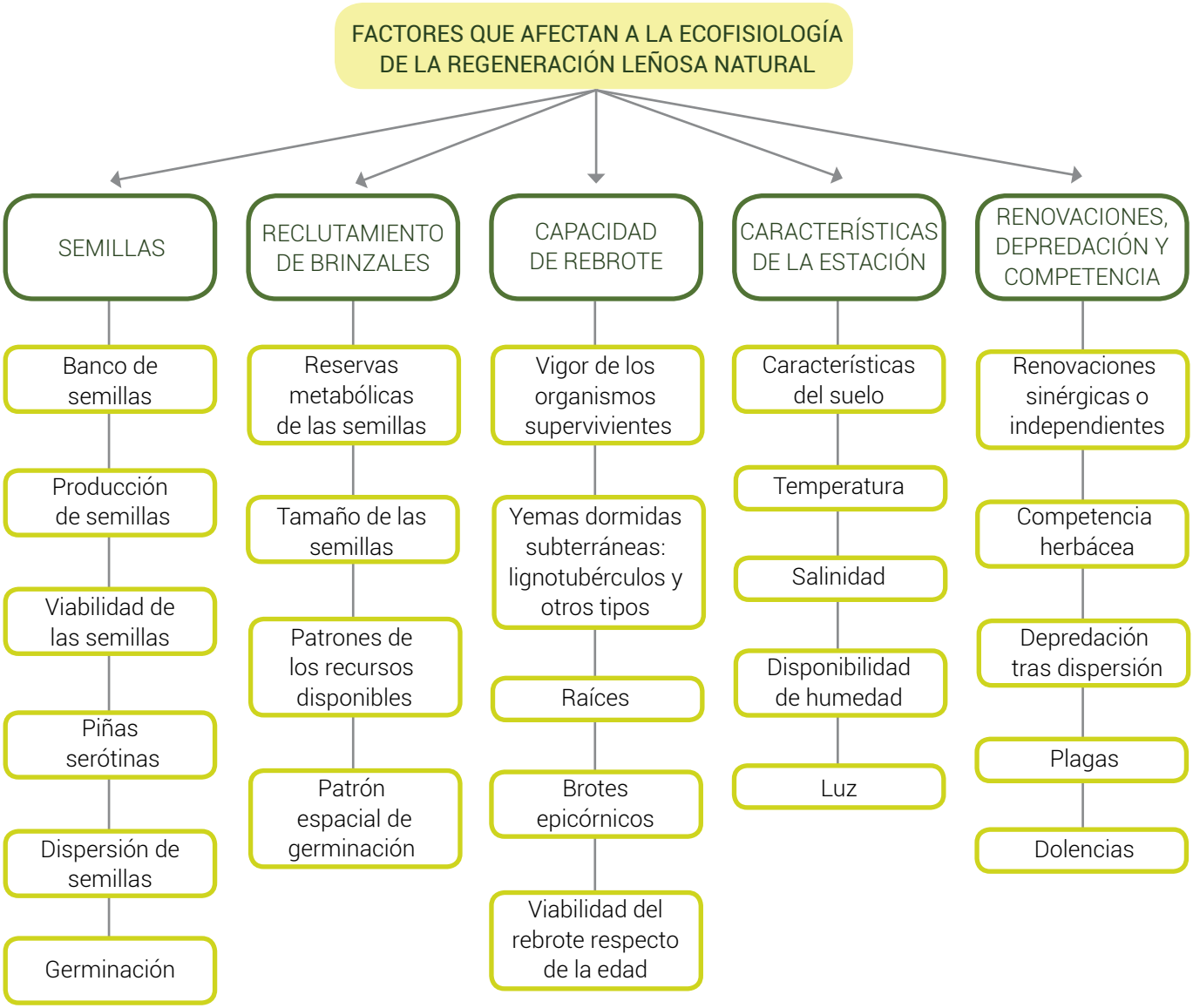


Figura 8.1. El ciclo de la revegetación leñosa por germinación y rebrote depende de un buen número de factores. En este diagrama modificado de Pardós *et al.* (2005) se muestran algunos de los más importantes.

8.1.4.1. Generalidades sobre la ocupación del terreno e inicio de la sucesión tras el fuego

El fuego produce un desbaratamiento de la dinámica que el monte llevaba antes de su acción más o menos profundo según la severidad y tamaño del quemado. Desde el momento en que el evento ocurre, el monte tiende a reorganizarse. El legado del ecosistema anterior y los organismos vecinos reaccionan en función de sus posibilidades y los condicionantes del momento. Los procesos de ocupación del espacio disponible se inician y, tras estos, las relaciones de concurrencia y el desarrollo vegetal vuelven a ser los principales procesos que rigen la evolución del ecosistema.

Usualmente, un fuego severo da lugar a los siguientes procesos:

a) La muerte o desaparición de muchas plantas por la renovación con distinto alcance según la intensidad del evento y con diferencias marcadas por especie, talla y posición de los individuos. Un proceso paralelo ocurre con los propágulos: muchos son eliminados y parte de los de las especies pirófitas reciben el estímulo adecuado para sacarlos de la latencia.

b) Inicio de la ocupación del espacio disponible liberado en la renovación. Esto sucede mediante el rebrote de los individuos supervivientes al fuego y la germinación de propágulos que se activan en el quemado o que llegan del exterior a distintos ritmos. La germinación o brote tiene lugar en los momentos del año que permiten la actividad vegetativa.

c) Modificación gradual de las condiciones de terreno descubierto provocadas por el fuego debido al desarrollo vegetal según avanza la ocupación. Las especies rebrotadoras estimuladas por el fuego toman la delantera frente a las germinadoras en el crecimiento leñoso y en la ocupación, aunque el proceso depende de las relaciones demográficas de cada tipo vital. A veces, tienen lugar explosiones poblacionales por la germinación sincronizada de los bancos de semillas, siendo esto habitual en herbáceas. La concurrencia va tomando mayor peso relativo en las relaciones vegetales según el espacio vegetativo se densifica a ras del suelo.

d) Incorporación de nuevos individuos leñosos por la germinación de más propágulos generados por los adultos supervivientes o por los del área circundante bajo condiciones de espacio semiocupado. Estas plántulas inician su desarrollo bajo la influencia de la vegetación recientemente instalada y de los supervivientes que han permanecido en distintas densidades.

e) El espacio vegetativo es ocupado totalmente al menos en el estrato superficial. La evolución del rodal queda en buena medida en manos de las relaciones de concurrencia y el crecimiento vegetal.

Fotografía 8.87. Una vez que se ha producido la revegetación del estrato superficial tras un fuego, la dinámica queda en manos de la concurrencia y del crecimiento con permiso de las colonizaciones que aún puedan ocurrir.
Monte bravo regenerado tras una perturbación severa. Un juvenil de *Sorbus aucuparia* trata de posicionarse frente a los ejemplares de *Pinus pinaster* cercanos.
Madrid de las Caderechas (Burgos).

Haciendo un ejercicio de reduccionismo, se puede decir que las sucesiones en las que el agente fuego participa tienen dos patrones básicos:

- Asimilable a un ciclo bajo unos regímenes de incendios similares; es decir, autosucesión. En muchos montes de herbáceas, matorrales, arbustedos de quercíneas mediterráneas o pinares pirófitos, la combustión produce una modificación de la estructura y densidad de

las poblaciones, pero usualmente no hay un cambio florístico por efecto de la perturbación. En general, los fuegos reiterativos producen un empobrecimiento florístico paulatino (Reyes y Casal, 2000), aunque este efecto depende de la situación de partida que se considere para el ecosistema.

- La sucesión sigue distintas vías hacia comunidades diferentes si el régimen cambia, hay extinción de alguna especie en un fuego o colonización por parte de otras; esto es, puede tender a estados múltiples.

Los esquemas de sucesión en realidad son más confusos, ya que el régimen de renovaciones global es más amplio que los meros fuegos y suele variar: algunas especies desaparecen y otras nuevas se incorporan, y el medio geoclimático fluctúa, de modo que siempre hay variaciones que se transmiten amplificadas o atenuadas con el tiempo en un sistema complejo.

Los atributos vitales, el suceso de otras renovaciones, situaciones ambientales atípicas, los relevos generacionales, la influencia de otros organismos y la concurrencia determinan en gran parte la evolución del monte. En los primeros años después del fuego suele ocurrir un cambio secuencial rápido en la dominancia. Con el paso del tiempo, la sucesión se va decantando hacia las especies que dominan sociológicamente los estratos, que suelen ser las más longevas y de mayor talla de las presentes, ya que tienen mejor posición para organizar el ambiente que les rodea.

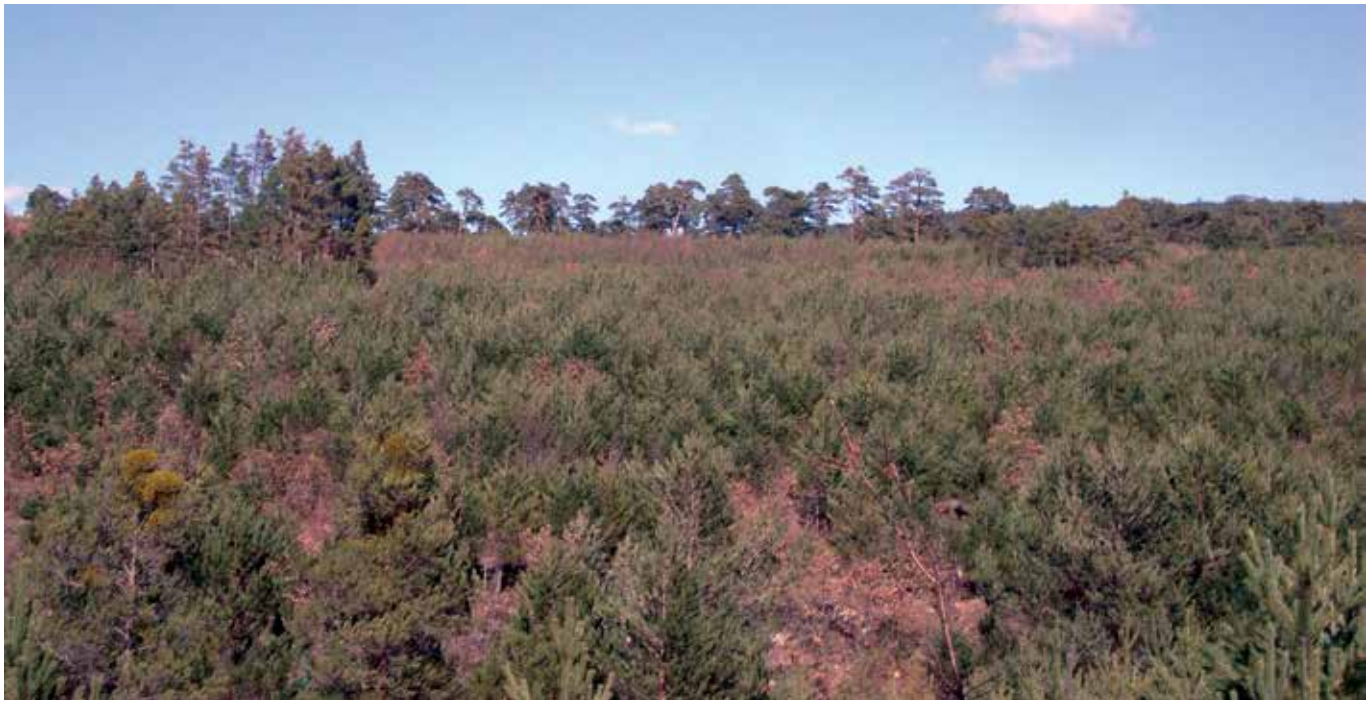
Desde el punto de la composición específica del monte y de la abundancia de cada especie, o tipo vital, existen algunos trabajos interesantes para determinar por dónde pueden ir los cambios tras el suceso de fuego. Así, Noble y Slatyer (1980) proponen una metodología con la que estimar la sucesión tras el fuego en función de los atributos vitales de las plantas. El sistema se basa en la observación de los mecanismos específicos de persistencia o llegada de nuevos propágulos tras el fuego, de la habilidad de las plantas para desarrollarse después del evento renovador y de los ciclos vitales de los organismos respecto al régimen de incendios. En esta línea de trabajo, Pausas y Paula (2005) establecieron una extensa gama de criterios para la caracterización de cada planta frente al fuego, que también puede servir para estimar su posible reacción a la renovación. Sevilla (2008), por su parte,

Fotografía 8.88. Los herbazales son montes que usualmente se destinan a manejo ganadero, cinegético o de conservación de la fauna. El fuego también se puede utilizar en ellos para inducir cambios o mejorar las cualidades del recurso vegetal. La resiliencia de algunos de estos ecosistemas a la combustión es grande y se debe principalmente a que la vegetación dominante tiene una forma vital determinada (terófitos, hemicriptófitos o caméfitos) y un ciclo de vida rápido, de forma que pueden volver a una situación similar a la de partida en poco tiempo.
Gran parte de los montes de los Andes son herbazales de "paja brava" (*Festuca orthophilla*), que tiene unas características bromatológicas relativamente pobres. La quema en estos montes no es tal habitual como en algunos de sus homólogos ibéricos, pero se lleva a cabo en algunos predios con un uso ganadero más intensivo.
Santa Rosa (Departamento de Puno, Perú).

proporciona una completa información en la que valora las posibles tendencias de cambio vegetal según el tipo y características del evento renovador y de los mecanismos de ocupación de los principales géneros arbóreos ibéricos (véase **Anexo 3**). Alloza *et al*. (2013) han realizado una clasificación de especies y formaciones ibéricas identificadas en el Mapa Forestal de España 1:25000 según sus estrategias reproductivas dominantes (véase **Anexo 4**). Este texto es un práctico manual para abordar la recuperación de montes quemados.

Tabla 8.3. Respuestas al fuego observadas en varias especies de plantas y algunas explicaciones a esos procesos (modificado de Whelan, 1995).

Proceso	Posibles explicaciones
Incremento de la productividad	Aumento de la disponibilidad de nutrientes
	Eliminación de capas de hojarasca
	Incremento de la temperatura del suelo
	Aumento de la duración de temperaturas más elevadas
	Inicio más temprano de la estación de crecimiento en las zonas rasas
	Eliminación de la vegetación competidora
Incremento de la floración	Aumento de la disponibilidad de nutrientes
	Aumento de las estructuras de crecimiento vegetativo
	Eliminación de la vegetación competidora
	Disminución de la densidad de la vegetación, lo que facilita la polinización por anemofilia y en algunos casos por entomofilia
Incremento de las distancias de dispersión	Disminución de la densidad de la vegetación, lo que facilita la dispersión anemócora
	Eliminación de capas de vegetación y mantillo, lo que facilita la instalación de semillas de especies de carácter colonizador
	Aumento de las distancias de dispersión por otros agentes en ambientes más despejados
Sincronización en la dehiscencia del banco de semillas aéreo	Tratamiento por calor de los folículos o membranas de retención de semillas
Sincronización en la germinación del banco de semillas del suelo	Rotura de la latencia en algunas semillas por calor
	Restos de carbonizados ayudan a romper la latencia en ciertas semillas
	Alteraciones del mantillo y/o del régimen térmico de la superficie
Mejora de la germinación y establecimiento de los brinzales	Incremento de la disponibilidad de nutrientes
	Descenso de la actividad de herbívoros en superficies amplias por difuminación de la presión
	Saciedad de las poblaciones de granívoros por sincronía en la disponibilidad de recursos tras el fuego
	Eliminación de la vegetación competidora
	Degradación de sustancias alelopáticas



Fotografía 8.89. Los incendios severos homogenizan los rodales al reiniciar los procesos de ocupación del espacio vegetativo. Este efecto es común a otros eventos renovadores de gran impacto.
El pinar de *Pinus sylvestris* de la imagen bien podría ser resultado de un incendio, pero lo es de una corta a hecho. La selvicultura es la ciencia aplicada de las renovaciones.

Covaleda (Soria).

Fotografía 8.90. Los incendios frecuentes llevan a una simplificación estructural del monte. La imagen muestra un lastonar que ha desplazado al arbustedo de carrascas (*Quercus ilex*) con ayuda del fuego.

Nistal (León).

8.1.4.2. Algunos patrones sucesionales habituales relacionados con el fuego en los montes ibéricos

Según García y García (2007), las especies mediterráneas han estado constantemente bajo cambios ambientales dispares e irregulares, con una falta de direccionalidad en la selección y en un medio físico muy heterogéneo. Todo esto ha impedido que la selección natural empuje en un sentido particular durante largo tiempo, de forma que los rasgos de los organismos dependen más de la contingencia que de procesos claros y lineales de evolución. La flora mediterránea es una amalgama de especies con rasgos tropicales, desérticos, atlánticos y alpinos, *imperfectamente adaptadas al clima mediterráneo*, que se ha forjado frente a cambios y desafíos constantes y cuya característica principal es la resiliencia frente a las renovaciones y a una irregularidad ambiental acusada.

Usualmente, se observa que hay continuidad de individuos y propágulos de casi todas las poblaciones presentes en el rodal antes de la renovación tras fuegos de severidad moderada, pero la abundancia y el vigor se ven modificados por el impacto diferencial que el fuego produce en cada una de ellas. Estas alteraciones se generan por las características intrínsecas de cada especie y organismo, como su resistencia al fuego, capacidad de regeneración vegetativa o de reproducción sexual, nivel de dominancia de la población y su posición, tamaño de las plantas, etc., así como por la acción de influyentes posteriores al fuego.

Muchos de los montes ibéricos se caracterizan porque se han conformado bajo regímenes de incendios activos. El fuego ha sido un agente selectivo principal en ellos que ha determinado qué especies los forman, siendo las supervivientes relativamente pirófitas.

En muchas comunidades de matorral piroprono, tanto de carácter mediterráneo como atlántico, el fuego es un inhibidor de las posibles especies sucesionales que conduzcan a la formación de bosque. Esto es habitual en montes desarbolados del norte dominados por los géneros *Ulex*, *Erica*, *Calluna*, *Cytisus* u otros. Los fuegos frecuentes cada pocos años provocan la eliminación del arbolado juvenil sucesor, como *Betula*, *Pinus* o *Quercus*, en estos lugares de forma que el matorral logra perpetuarse tras la renovación y la evolución a prebosque resulta malograda. Casal *et al.* (1984) señalan que, en los montes de matorral del noroeste peninsular, la sucesión inmediatamente tras el fuego suele ser primero el rebrote de los individuos que han sobrevivido; después, la germinación de las especies con pirofitismo, y finalmente

Fotografía 8.91. La sustitución del bosque por montes de matorral es común en la península ibérica; principalmente, después de incendios severos en formaciones dominadas por coníferas. Los sistemas de matorral están en general fuertemente relacionados con los incendios, y en muchos lugares forman tapices trabados que facilitan el progreso del fuego en caso de iniciarse; es decir, formaciones piropronas.
En la imagen se observan golpes de *Adenocarpus complicatus* y de *Cythisus scoparius* que dominan un área dunar tras la desaparición del arbolado por efecto de un incendio. El fuego estimuló la germinación de las semillas de estas especies acopiadas en el suelo, pero la baja capacidad de carga del medio dadas las limitaciones geoclimáticas dificultará que se densifiquen mucho más.
Aldeamayor de San Martín (Valladolid).

la entrada de herbáceas oportunistas que encuentran en estas zonas recién renovadas buenas condiciones de habitación por un tiempo. Esta explosión de herbáceas que ocurre en algunos medios después del fuego provoca un aumento efímero de la diversidad específica de los montes.

Tárrega y Luis (1990) estudiaron la regeneración de los rebollares (*Quercus pyrenaica*) en quemados de la provincia de León. Comprobaron que la mayoría de las especies que había tras los incendios estaban antes de la renovación confirmando la resiliencia de este tipo de montes al fuego. La composición típica tras los incendios fue:

- Estrato superficial formado por herbáceas vivaces acompañadas por alguna especie anual.
- Sotobosque dominado esencialmente por rebrotes de *Erica australis* y *Pteridium aquilinum* junto con brinzales de *Cistus laurifolius*, que parece incrementar su presencia después de los fuegos por la activación de su banco de semillas.
- Especies llamadas a formar el dosel arbustivo y arbóreo: el rebollo acompañado por la encina (*Q. ilex*).

Por su parte, Trabaud y Lepart (1980; citados en Bond y van Wilgen, 1996) estudiaron los efectos del fuego en garrigas mediterráneas determinando que la formación que domina tras una quema es esencialmente la misma que había anteriormente. Apreciaron que la diversidad florística es máxima dos años después de la renovación y que a los quince no hay diferencias significativas con las situaciones más maduras.

La capacidad de rebrote tiene también su peso en definir la sucesión en los bosques de carácter mediterráneo. Rodrigo *et al.* (2005) estudiaron la sucesión tras incendio en esos montes y observaron la facilidad de recuperación de los arbustedos de *Quercus ilex*, *Q. cerrioides* y *Q. suber* debido a su capacidad vegetativa. La mayoría de los cambios que detectaron en bosques mixtos de estas fagáceas con coníferas fueron hacia sistemas de matorral o montes bajos dominados por *Quercus*.

Respecto a la capacidad de germinación del arbolado tras la combustión, estos autores observaron que *Pinus halepensis* y *P. pinaster* tienen relativa facilidad de regeneración, aunque su perpetuación en la dominancia depende de la situación del banco de semillas, de unas condiciones de germinación adecuadas y de que la recurrencia de incendios sea lo suficientemente larga para que los juveniles lleguen a tener propágulos viables (López *et al.*, 2008). En cambio, constataron la desaparición casi sistemática de *P. nigra*, *P. sylvestris* y *P. pinea* con posterioridad a los incendios. Por otro lado, la máxima capacidad resiliente de entre los bosques de árboles germinadores parece ser la de los pinares dominados por *P. halepensis* con sotobosques de cistáceas u otras especies no rebrotadoras (López *et al.*, 2008).

Los incendios con frecuencias extremas, muy habituales o muy raros, y los de alta severidad son los que pueden crear itinerarios de sucesión atípicos con mayor facilidad. Este efecto se magnifica si ocurre sobre comunidades poco adaptadas al efecto del fuego y con una diversidad específica alta.

A largo plazo, si no hay renovaciones severas y extensas, la sucesión puede progresar hacia formaciones más tolerantes a la concurrencia; generalmente, menos susceptibles a arder.

Fotografía 8.92. Los arbustedos de impronta mediterránea tienen una fuerte relación con el fuego.
Son comunidades compuestas por especies mayoritariamente rebrotadoras y pirófitas en algún grado que forman mantos vegetales piropronos y estructuralmente homogéneos. Esta falta de amenidad arquitectónica está relacionada en muchas ocasiones con el hecho de que son masas regeneradas tras un incendio.
Los Yébenes (Toledo).

Fotografía 8.93. Las plantas rebrotadoras juegan con ventaja en la ocupación del terreno tras el fuego. Muchos pinares con sotobosques de fagáceas o bosques mixtos son sucedidos por montes bajos de quercíneas tras incendiarse.
Rodal de pinar (*Pinus pinaster*) que está siendo sucedido por un quejigar (*Quercus faginea*). Hay bastantes brinzales entre los quejigos en este caso, ya que el lugar ha tenido cierto estancamiento en su población de leñosas por empradecimiento previo.
Tartalés de los Montes (Burgos).

Fotografía 8.94. Muchos montes de matorral del norte, dominados por tojos, brezos y escobas, están adaptados a la renovación por fuego. La recuperación del monte previo tras el fuego suele ser rápida, aunque estas quemas reiteradas hayan descapitalizado los suelos y determinado la sucesión de forma hegemónica durante largo tiempo extrañando a los árboles de amplias superficies.

Incendio en Vilariño de Conso (Orense/Ourense).

Fotografía 8.95. A pesar de ser algo más tolerantes a la sombra que los pinos, los bosques de quercineas mediterráneas pueden sufrir incendios intensos. Esto es más común en estructuras de prebosque o monte bajo. Si los fuegos son frecuentes, estos árboles sufren un agotamiento vegetativo y comienzan a morir a pesar de su alta capacidad para rehacerse por rebrote. Con ello, se produce una simplificación estructural del monte.

Monte afectado por incendios repetidos. Se observa que el régimen de incendios damnifica más a los ejemplares de *Quercus pyrenaica* que a los de *Q. ilex,* pero sobre todo beneficia al dominio del matorral de *Cistus ladanifer*.

Brime de Sog (Zamora).

Fotografía 8.96. Una disminución de la frecuencia de fuegos facilita tener períodos de estabilidad que producen cambios en la sucesión de los montes. En la imagen se puede observar un paisaje en el que las quemas con fines pastoriles han regido el monte durante largo tiempo. La ausencia del fuego durante unos pocos años y la existencia de fuentes de semilla viables en el lugar están facilitando una incipiente recolonización arbórea. En el centro de la foto aparece un punteado de brinzales de *Betula pendula.*

Las Machorras (Burgos).

8.2. OTRAS AFECCIONES DEL FUEGO AL ECOSISTEMA

8.2.1. EFECTOS SOBRE EL SUELO

Los suelos son modificados por el fuego en función de las temperaturas alcanzadas, el tiempo de combustión y la situación edáfica de partida (Fuentes, 1966). Tales cambios edáficos pueden ser de una tendencia y severidad heterogéneas.

Fotografías 8.97. El suelo no solo está formado por un sustrato mineral y unos restos de materia orgánica muerta. También es el lugar en el que habitan distintas formas de vida que tienen significación en el ecosistema. Todo este conjunto se ve afectado en caso de incendio y con consecuencias complejas a veces, como ocurre por ejemplo con las alteraciones a poblaciones fúngicas o bacterianas. Estas afecciones se reflejan en cambios de distinta naturaleza en el ciclo de nutrientes o en la revegetación.
Hormiguero de *Formica rufa* en un claro de un bosque.
Palacios de la Sierra (Burgos)

La combustión en los suelos suele continuar una vez pasado el frente de llamas (Albini, 1976). En muchas ocasiones, las alteraciones del sustrato tienen un efecto transitorio —al menos, parte de ellas— volviendo a valores próximos a los iniciales unos pocos años después del fuego (Wright y Bailey, 1982). Por ejemplo, Vega *et al.* (1987) constataron este efecto en quemas prescritas en rodales de *Pinus pinaster* de Galicia dos años después del tratamiento. No obstante, la reiteración de eventos en períodos cortos hace que los efectos sean notoriamente negativos para bastantes valores del ecosistema. Los suelos reciben calores distintos en función de la carga y tipo de combustible que arde y de otros influyentes. De ese modo, Wright y Bailey (1982) muestran datos de temperaturas del rango 70-80 ºC apenas unos milímetros bajo la superficie durante 2-4 minutos en quemas de herbáceas cuyo efecto térmico no se siente más allá de 1 cm de profundidad, lo que contrasta con otras informaciones de fuegos en complejos de combustible más pesados (véase **tabla 8.4**.).

Tabla 8.4. Distribución de temperaturas en el suelo en quemas de chaparral californiano (DeBano *et al.*, 1977; citados en Wright y Bailey, 1982).

Intensidad del fuego	Alta	Moderada	Ligera
Temperatura máxima en la superficie (ºC)*	685º	430º	260º
Temperatura máxima a 2,5 cm de profundidad (Tª)	195º	175º	90º
Temperatura máxima a 5 cm de profundidad (Tª)	≈50º	≈50º	≈50º

* Las temperaturas estuvieron por encima de los 100 ºC al menos durante 15 minutos en todos los casos.

Las modificaciones edáficas por efecto del fuego pueden ser clasificadas en biológicas, químicas y mecánicas (Blanco, 1986a y b).

Los nutrientes son alterados por el fuego. Generalmente, hay un aumento de la disponibilidad de fósforo y potasio soluble por la mineralización violenta de la materia orgánica en la combustión (Afif y Oliverira, 2006) y cierta pérdida de la fertilidad total por los arrastres de cenizas y las emisiones a la atmósfera (Lloret, 2004). El alcance de la volatilización de los nutrientes está relacionado con los calores desarrollados durante la combustión, siendo las pérdidas mayores a temperaturas más altas

(Bond y van Wilgen, 1996); sobre todo, en el caso del nitrógeno (Terradas, 2001). Si se producen precipitaciones severas tras el fuego, los arrastres de cenizas pueden suponer una pérdida de fertilidad importante. El proceso se ve modulado por los factores que propician que la escorrentía hídrica sea mayor sobre los suelos (Ruiz del Castillo, 2000). Estas mermas por lavado son usualmente mayores en las comunidades no habituadas al fuego, porque se revegetan más lentamente.

La combustión puede ser en ocasiones un dinamizador del ciclo de nutrientes al liberar parte de los inmovilizados en el material orgánico (Martin y Dell, 1978). Esto es importante en algunas estaciones ibéricas, en que la mineralización es muy lenta a causa del frío y la sequía estival (Abréu y Montserrat, 1975). A veces, las cenizas y las sales lavadas del quemado pueden ocasionar alteraciones transitorias en las aguas continentales colectoras.

Otros cambios edáficos motivados por el fuego son el aumento del pH debido al aporte de cenizas, lo que podría ser beneficioso en suelos ácidos; la aparición de capas hidrófobas; alteraciones en la composición química, a veces especialmente negativas como en el caso de suelos carbonatados (Serrada, Aroca y Roig, 2008); modificaciones de la textura y estructura por la disminución de la fracción orgánica; pérdida de corpúsculos arcillo-húmicos; la destrucción de los sistemas radicales, u otros efectos, lo que conlleva una reducción de la esponjosidad y de la permeabilidad; por tanto, de la capacidad de retención de agua. Ocasionalmente, incluso, se llega a la formación de concreciones por combustiones fuertes sobre suelos arcillosos (Martínez, 2001).

El fuego impacta sobre los microbios y las estructuras fúngicas. Normalmente limita el crecimiento de las poblaciones de estos organismos al disminuir la materia orgánica, aunque se comprueba una mejoría efímera del ambiente para estos seres en medios fríos y húmedos con pH ácidos porque hay mayor calentamiento del terreno debido al despeje vegetal y por la basificación que generan las cenizas (Serrada, Aroca y Roig, 2008). Los efectos de la alteración sobre bacterias y hongos pueden ser dispares para la vegetación, ya que su naturaleza puede ser simbionte, patógena o indiferente con las plantas (Whelan, 1995). Cabe por último señalar que las comunidades bacterianas y de otros microorganismos aparecen activas bajo la capa de cenizas hasta en fuegos severos; sobre todo, en áreas en que los incendios son comunes (Ruiz del Castillo, 2000).

El impacto del fuego sobre los hongos está sujeto a su intensidad. Se ha constatado una reducción de la diversidad fúngica por efecto del fuego en algunos casos y de las producciones comercialmente interesantes (Peñalver *et al.*, 2005), aunque el agente estimula la expansión de hongos micorrícicos y la producción de determinados carpóforos en ciertas ocasiones (Fernández de Ana y Rodríguez, 1992; Fernández de Ana, 2000; Fraile *et al.*, 2009). Existen especies de hongos pirófitos que se benefician por el paso del fuego y algunos incluso presentan esporas que se activan con la combustión (Oria de Rueda *et al.*, 2007 y 2008).

Fotografía 8.98. Los fuegos muy intensos suelen provocar severidades altas.
En la imagen se observa un rodal donde hubo una combustión intensa que consumió incluso a materiales pesados. El sustrato mineral ha quedado desnudo, aunque el efecto se facilita en estos suelos arenosos por la simpleza del perfil edáfico. La severidad del fuego ha sido muy alta: todo el arbolado ha muerto y la materia orgánica prácticamente ha desaparecido del suelo.
Fuente el Olmo de Íscar (Segovia).

El fuego altera las dinámicas del ciclo de descomposición temporalmente. Por una parte, incrementa el calor que el sustrato recibe al estar más expuesto a la radiación solar y al color oscuro de las cenizas y carbones. Por otra, se suele producir una limitación de las poblaciones bacterianas en el suelo tras el fuego y un desequilibrio

en la relación C/N anterior; fundamentalmente, por la volatilización del nitrógeno. Sin embargo, este proceso se ve influido también por la alteración del pH, que puede tender a facilitar o entorpecer el proceso dependiendo de la reacción del suelo (Bond y van Wilgen, 1996).

Las combustiones aumentan la probabilidad de erosión en el lugar, porque reducen temporalmente la cobertura, disminuyen la permeabilidad del suelo y facilitan la aparición de hidrofobias sobre todo tipo de suelos (Ruiz del Castillo, 2000) y tanto en superficie como en horizontes someros si la severidad es elevada. No obstante, los problemas de erosión previos, la pendiente, la velocidad de la revegetación, el tamaño del quemado y la intensidad de las precipitaciones tras el fuego juegan igualmente un papel determinante en el alcance de los arrastres y en el avance del proceso. Los problemas de erosión después del fuego suelen ser, de modo genérico, de baja relevancia por debajo de un 12 % de pendiente (Martínez, 2001). El incremento de la escorrentía en los terrenos recién descubiertos conlleva un cambio del balance hídrico del suelo: hay una disminución de la infiltración, normalmente temporal, que afecta a la disponibilidad de humedad para las plantas establecidas y los propágulos (Terradas, 2001).

Fotografías 8.99. (arriba) y **8.100.** (abajo). La combustión de la vegetación y de la materia orgánica capitalizada en el suelo provoca una liberación de nutrientes en algunas estaciones en las que la tasa de descomposición es baja, como muchas de las ibéricas.
Si bien hay cierta pérdida de fertilidad total por la volatilización y los posibles arrastres hídricos inmediatamente posteriores, también suele producirse un aumento de la disponibilidad temporal de fertilizantes que la vegetación —sobre todo, la de desarrollo rápido— aprovecha. Este efecto es bien conocido por el pastoreo tradicional y explica parte del uso tecnológico del fuego en la ganadería. En las imágenes se observa un mismo lugar. La imagen superior muestra la situación justo tras un incendio en el mes de setiembre, y la inferior en el mes de julio siguiente. Se ve que la respuesta del tapiz herbáceo fue vigorosa tras el fuego.
Villaverde Peñahorada (Burgos).

8.2.2. EFECTOS SOBRE LA FAUNA

Los hábitats de los animales son dinámicos, varían constantemente en distinta forma y grado (Wright y Bailey, 1982).

La combustión provoca unos efectos directos e indirectos sobre las poblaciones, así como modificaciones en sus hábitats (Vega *et al*., 2001).

Los fuegos pueden provocar la muerte directa de algunos integrantes de las poblaciones animales y la migración de otra parte (Whelan, 1995). La porción de la población inicial que queda en el lugar original varía en función del efecto directo del fuego y del alcance de la modificación, para bien o para mal, de su hábitat. La severidad de los fuegos para los animales depende de la intensidad y duración de la combustión, del estrato vegetal por donde se propague el fuego y/o sufra necrosis, de las características del suelo, de la época del año en que el evento ocurre y de la forma, tamaño y distribución de los quemados. Lógicamente, cada población reacciona de una forma diferente frente al mismo fuego, lo que depende de la naturaleza del taxón y de su relación con el territorio: ciclo vital, hábitos y necesidades alimenticias, movimientos estacionales, tamaño, especificidad y distribución de sus áreas de habitación, etc. En general, se observa una disminución poblacional tras el fuego en algunas especies y un aumento en otras (Whelan, 1995). Existen taxones que se ven francamente beneficiados por los incendios (Wright y Bailey, 1982), como es el caso

Fotografías 8.101. (arriba) y **8.102.** (abajo). Las interacciones entre la fauna y la vegetación son numerosas e importantes. Uno de los aspectos más significativos para la dinámica vegetal es la influencia de los animales en la sucesión. Estos, según el taxón, la población y la circunstancia, condicionan o incluso dirigen los cambios en el monte.
Tras los incendios, la fauna puede influir aportando propágulos externos al área del incendio y/o malogrando la recuperación de la vegetación del quemado. Estos efectos son complejos, porque normalmente hay una querencia diferencial de cada especie animal hacia cada planta.
Arriba: Monte de uso pastoril que se está lignificando por un decaimiento en el manejo ganadero, que tradicionalmente ha incluido el uso del fuego. Rosáceas, cuyos propágulos han sido trasladados mediante endozoocoria por los animales, están empezando a poblar el terreno.
Monasterio de la Sierra (Burgos).
Abajo: Por otra parte, la presión de los fitófagos, si es alta, puede alterar o evitar la revegetación leñosa del monte. Primeros brotes después de un incendio ramoneados por corzos (*Capreolus capreolus*).
Fresno de Rodilla (Burgos).

de los grandes mamíferos y muchas especies de aves (Martin y Dell, 1978).

El fuego también produce una posterior sucesión faunística en los diferentes nichos ecológicos. La sucesión vegetal condiciona a la animal a primera vista, ya que la manera en que la comunidad vegetal quede y evolucione tras la renovación parece determinar el alimento y refugio de los animales. Ahora bien, ya se ha comentado en el apartado de las renovaciones concatenadas con el fuego que existe una retroalimentación entre animales y vegetales y que la fauna interviene en la dinámica del paisaje vegetal en mayor o menor grado; a veces, generando efectos sinérgicos y otras veces contrapuestos.

Hay ocasiones en que la influencia de los animales es determinante y compleja para la evolución del monte, como en caso de sobrepresiones de herbívoros que conforman y mantienen montes desarbolados, en diferenciales de pastoreo sobre distintas teselas de vegetación provocadas por fuegos de baja intensidad, por predaciones selectivas de unas plantas o por la dispersión preferente de unos determinados propágulos, lo que a veces puede determinar la futura composición del monte.

Buena parte de la biomasa animal de los montes corresponde a los invertebrados, que van desde los protozoos hasta los artrópodos, cuya suerte en los fuegos está ligada mayoritariamente a la combustión y calentamiento de la fracción orgánica del suelo. En ciertos trabajos, se observa un aumento de su diversidad y biomasa tras el fuego, y una disminución en otros. Quizá esta incongruencia se deba a diferentes técnicas de estudio o a la dificultad de repetir las experiencias exactamente (Whelan, 1995). García-Domínguez *et al.* (2010) encontraron que las quemas prescritas en pinar canario no producen una modificación notable de la estructura de las poblaciones de invertebrados, pero sí en la composición de especies. Vega *et al.* (2001), por su parte, observaron que algunas de estas poblaciones, como los coleópteros y los ortópteros, tienen ocasionalmente un aumento demográfico considerable meses después de la combustión respecto de las zonas no quemadas, lo que a su vez beneficia a ciertas aves en su fase juvenil, en la que necesitan gran aporte proteico. Por otro lado, la influencia de los invertebrados puede ser importante en el monte tras el fuego en ciertas ocasiones:

- Puede haber problemas en el ciclo de renovación de los nutrientes si los descomponedores son diezmados y tardan en recuperarse.
- La fitofagia de los insectos puede llegar a modular la composición y el crecimiento de algunos montes tras el fuego (Whelan, 1995).

Fotografía 8.103. La influencia de los animales sobre el régimen de incendios no solo se produce tras la ocurrencia de eventos que generan condiciones de terreno despejado y en los cuales hay un "reinicio" del ecosistema, sino que lo hacen constantemente modificando el combustible; por ejemplo, cuando consumen vegetación o participan en la sucesión de cualquier forma.
En la imagen se observa una alameda (*Populus alba*) con un profuso regenerado de sabina (*Juniperus thurifera*) procedente de las semillas defecadas por los zorzales (*Turdus*), que usan el rodal como apostadero. La susceptibilidad del monte al incendio ha sido modificada por los animales.
Tejada (Burgos).

Las aves presentan facilidad para huir de los fuegos, por lo que los daños directos que sufren resultan usualmente escasos salvo en las épocas de nidificación. Sin embargo, son sensibles a la modificación de sus hábitats y los taxones beneficiados o perjudicados después de tales eventos dependen de la severidad y alcance de la modificación de la estructura del monte (Wright y Bailey, 1982). Prodon *et al.* (1987; citado en Whelan, 1995) observaron una fuerte disminución de la riqueza de especies de aves tras incendios en alcornocales (*Quercus suber*) y una recuperación rápida a los valores previos al fuego en menos de seis meses. La sucesión que comprobaron fue la presencia mayoritaria de aves típicas de herbazales y

su sustitución efímera por las que habitan en zonas de matorral mediterráneo para alcanzar la presencia de avifauna de bosque como la que había antes del fuego. Por otra parte, las aves son los animales que primero suelen aprovechar los predios quemados para alimentarse de los invertebrados muertos y de las semillas recién dispersadas (Vega *et al*., 2001). En muchas ocasiones, hábitats de matorral o boscosos de árboles colonizadores jóvenes poseen una gran diversidad de especies de aves y alta presencia de biomasa de estos taxones (Wright y Bailey, 1982). En general, la inexistencia de eventos renovadores de la vegetación en los bosques provoca la caída en la diversidad de aves y en la capacidad de carga del medio para estas poblaciones (Lucio, 2007).

La supervivencia de los pequeños mamíferos depende de la uniformidad, intensidad, tamaño y duración de la combustión, además de la movilidad y posición relativa del individuo respecto al suelo durante el paso del fuego (Wright y Bailey, 1982). Los mamíferos que habitan en cavidades subterráneas tienen mayor probabilidad de sobrevivir, aunque a veces mueren por sofocación. En quemas realizadas en pinares, se ha constatado el aumento de la cantidad y diversidad de estas especies a medio y largo plazo por el aumento de la disponibilidad de piñones y de la producción de herbáceas y rebrotes (Vega *et al*., 2001).

Los fuegos inducen un aumento de la productividad y de la palatabilidad de los pastos y ramones (Wade y Lunsford, 1989), y facilitan el acceso de los herbívoros a estos. Las combustiones provocan incrementos en las poblaciones de herbívoros cuando la recuperación de la vegetación se inicia y de forma acusada en algunos casos (Wright y Bailey, 1982). Evidentemente, los predadores y carroñeros de estas especies se benefician de la mayor disponibilidad de recursos tróficos en toda la cadena. Esta es una de esas causas por la que determinados biomas —como los paisajes en mosaico, provocados por diferentes eventos renovadores cíclicos de extensión pequeña o mediana— tienen una capacidad de carga alta y diversa de zoomasa.

El tamaño, el espaciamiento y las relaciones perímetro/superficie de las distintas teselas vegetales son variables significativas en la dinámica poblacional de los animales (Telleria y Santos, 2001). Por tanto, los fuegos producen unos efectos espaciales indirectos sobre la fauna mediante la modificación de la capacidad de carga de las teselas quemadas, lo que cambia los patrones de ocupación del territorio al variar las características, tamaño y distribución de los distintos rodales. Tales alteraciones se trasmiten de forma compleja a toda la población circundante al quemado y, consecuentemente, a la estructura del ecosistema en el nivel de paisaje, ya que la modificación de los distintos cuarteles de habitación induce cambios demográficos en cada población. Esto, además, causa transformaciones entre las distintas poblaciones animales del lugar al haber una fuerte relación entre ellas. Como ya se ha apuntado, un enfoque de ecología del paisaje es interesante para estudiar la interrelación entre la fauna y los quemados al ser componentes del medio que evolucionan a esas escalas.

Fotografías 8.104. (izq.) y **8.105.** (der.). La fauna terrestre de pequeño tamaño es la que tiene más riesgo de recibir daños por fuego. Viven en el suelo y su capacidad de huida es baja por sus propias características.
La opción menos agresiva cuando el uso del fuego es necesario donde se sospeche que alguna población de un taxón importante de este tipo pueda recibir daño, suelen ser las quemas de extensión limitada y en invierno.
Izquierda: Salamandra (*Salamandra salamandra*) en Quintanilla Escalada (Burgos).
Derecha: Topillo (*Microtus arvalis*) en San Martín de Valdeporres (Burgos).

Fotografía 8.106. Las modificaciones en el paisaje debidas al régimen de incendios condicionan a toda la cadena trófica. Esta influencia genera desplazamientos de la estructura de las poblaciones animales que se transmiten atenuados o amplificados según el caso y la parte del complejo que se observe.
Un ejemplo clásico es que los quemados grandes inducen un efecto llamada a los herbívoros durante un tiempo y, por ende, a sus predadores y carroñeros.
Buitre (*Gyps fulvus*) en su apostadero. Aguilafuente (Segovia).

8.2.3. EFECTOS SOBRE EL AIRE

El humo es un elemento más del ecosistema (Pyne *et al.*, 1996) asociado al proceso de combustión de la vegetación y ha sido así desde hace milenios (Edmonds *et al.*, 1999).

Los fuegos forestales generan emisiones atmosféricas formadas por unos espectros de sustancias amplios. La combustión completa de la vegetación produce esencialmente vapor de agua y dióxido de carbono, pero los fuegos en los montes son usualmente incompletos, porque las llamas están en movimiento y la fracción de otras sustancias emitidas es siempre considerable.

La parte visible de las emisiones son hollines, alquitranes y vapor de agua, mientras que gases y vapores orgánicos constituyen la invisible. De forma simple, los productos que componen los humos se pueden clasificar en dos tipos: partículas y gases.

La emisión de partículas es mayor si arden combustibles vivos y muertos que si solo lo hace material seco, y los fuegos a favor emiten más partículas que los de flanco o a la contra (Albini, 1976). Las partículas producidas por los fuegos incluyen material líquido y sólido, y muchas son conglomerados coloidales de elementos más pequeños que se forman en la columna de humo. Su efecto más llamativo es la reducción de la visibilidad debido a que estas partículas tienen unos rangos de tamaño que las hacen interaccionar con el espectro visible de la luz (Wright y Bailey, 1982; Martínez, 2001).

La acumulación de las partículas en la atmósfera interfiere con el clima global. Las concentraciones altas de partículas en suspensión parecen provocar, junto a los corpúsculos generados en otras actividades, el fenómeno del *oscurecimiento global* (Ladrach, 2009). Este suceso consiste en la reducción de la radiación solar que llega a la superficie terrestre por el aumento del efecto espejo de la atmósfera al encontrarse esta más sucia por la presencia de nubes generadas en buena medida sobre los corpúsculos en suspensión. Este proceso, contrario al efecto invernadero, parece estar enmascarando el alcance del cambio climático actual al contrarrestar en parte sus efectos.

Según Pyne *et al.* (1996), el tipo de combustión influye en que las partículas sean más o menos abundantes, y las cantidades varían entre 2 y 90 kg/t de materia orgánica quemada. La combustión lenta, de ascuas, produce más partículas que una combustión rápida. Sin embargo, no solo la cantidad de los corpúsculos es importante, sino también su tamaño. Los fuegos de alta intensidad producen partículas de dos tipos siguiendo una distribución bimodal: un grupo son las de unos 0,3 µm de diámetro y el otro de diámetros superiores a 35 µm. Los fuegos de baja intensidad tienden a distribuciones normales con diámetros medios de 0,3 µm. En general y de forma media, el 70 % de las partículas en los fuegos tiene menos de 2,5 µm, el 20 % está en el rango de 2,5 µm a 10 µm y el 10 % restante presenta tamaños mayores. Hay que destacar que todas las partículas pequeñas afectan al ser humano: las de menos de 10 µm de diámetro pueden entrar en el pulmón y las que tienen menos de 2,5 µm pueden pasar al torrente sanguíneo.

Con respecto a los gases generados en los fuegos, los más abundantes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono e hidrocarburos diversos. Los óxidos de nitrógeno solamente suelen ser significativos cuando se encuentran asociados a las combustiones más intensas (Wright y Bailey, 1982), y los óxidos de azufre se producen en bajas proporciones salvo si arden suelos con abundante materia orgánica (Martínez, 2001). Por último, hay un elenco amplio de otros gases emitidos en los fuegos en concentraciones pequeñas, como el ozono, pero que pueden ser significativos ambientalmente en un nivel global. Por ejemplo, los incendios forestales parecen ser los responsables del 40 % de las emisiones de derivados de mercurio a la atmósfera en el mundo (Birot y Mavsar, 2009).

Fotografía 8.107. Los incendios provocan emisiones a la atmósfera que varían en función del monte que se quema, y cómo y en qué momento arde. Las emisiones pueden ser transportadas lejos y se diluyen en horas o días según la situación meteorológica, pero los insumos aportados al aire participan en distintos procesos complejos a escala planetaria durante mucho más tiempo.
Columna de humo, en la cual se observa la altura de mezcla, en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia).

Tabla 8.5. Emisiones: partículas y gases. (modificado de NWCG, 1985; en Pyne *et al.*, 1996)

	Compuestos	Tasas de emisiones (kg/t de combustible)
Partículas	Herbáceas	7,5
	Sotobosque	12,5-37,5
	Restos esparcidos	10-20
	Restos apilados	12,5-37,5
	Matorral	12,5
	Todos los combustibles (combustión de ascuas)	75
Gases	CO_2	1.000-1.750
	CO	10-250
	H_2O	5-20
	NO_x	0,5-4,5

Muchos compuestos emitidos por el fuego directamente no son estables; estas emisiones primarias sufren combinaciones y transformaciones en la columna de convección y en la atmósfera dando lugar a su vez a otras sustancias secundarias distintas.

Las tasas de emisión de gases son diferentes según el tipo de frente que las consuma para un mismo complejo combustible (Martin y Dell, 1978; véase **tabla 8.6.**).

Por lo que se refiere al calentamiento global, los volúmenes de gases emitidos por los incendios forestales son enormes en los países mediterráneos, de una magnitud comparable a las emisiones debidas a actividades industriales y de transporte (Birot y Mavsar, 2009).

Ladrach (2009) apunta que las quemas, como el resto de los tratamientos selvícolas, son neutras respecto de las emisiones de CO_2 a la atmósfera si el terreno no cambia de uso y la vegetación lo recoloniza. Simplemente, son unos procesos rápidos y violentos de liberación de gas por combustión en contraposición con otro lento y poco llamativo por pudrición.

Las quemas han sido propuestas como herramienta para controlar las emisiones de CO_2 por incendios, pero la bondad de los tratamientos con fuego a este respecto depende de cómo el régimen de incendios mude de forma efectiva. Las quemas pueden ser positivas si logran rebajar la superficie total quemada y generan la depresión del régimen de incendios esperada (Hurteau *et al.*, 2008; citado en Fernandes, 2010). Sin embargo, parece que las quemas solo pueden ser una herramienta efectiva en las áreas de alta incidencia de incendios, como en la cuenca mediterránea. Ciertos autores estiman que su uso en estas regiones podría llegar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a los incendios en un 50 % (Narayan *et al.*, 2007; Rego *et al.*, 2010). Cabe objetar, no obstante, que una activación de la selvicultura convencional en estas zonas puede tener incluso un efecto positivo más profundo al obtenerse productos biológicos renovables que hagan un efecto sustitución sobre otros insumos más impactantes sobre la dinámica climática.

Tabla 8.6. Comparación de datos de emisión entre fuegos a favor y en contra en quemas genéricas bajo arbolado (kg de gas/t de combustible) (datos de Ryan en Martin y Dell, 1978)

Compuesto emitido	Tipo de fuego emisor		Problemas causados por el compuesto
	En contra	A favor	
CO_2	1.000-2.000	1.000-2.000	Efecto invernadero
H_2O	500-1.000	500-1.000	Disminución de la visibilidad
Partículas	1,5-25	25-100	Problemas de salud humana en zona adyacente al fuego
CO	10	75	Disminución de la visibilidad y posibles problemas de salud
Hidrocarburos	5	20	Problemas fotoquímicos y efecto invernadero
NO_X	1	6	Problemas fotoquímicos y con el O_3

Fotografía 8.108. Las emisiones a la atmosfera por fuego tienen relación con el tipo y las condiciones del combustible, así como con su volumen. Los grandes incendios y los fuegos que consumen combustibles pesados son los que más impacto tienen sobre el aire. Gran incendio en un bosque boreal. La cantidad de emisiones es significativa de acuerdo con el volumen de materia vegetal consumida. En las cercanías de Fort Saint John (Provincia de la Columbia Británica, Canadá)

PARTE 3

UN ENFOQUE PARA LAS QUEMAS Y LA GESTIÓN FORESTAL

Resinero preparando "la mata" para la campaña de explotación: colocación de grapas y potes en los pinos durante la parada vegetativa invernal. Coca (Segovia).

Además, ni el propio clima mediterráneo ni la fisonomía del paisaje mediterráneo han permanecido nunca constantes durante más de un siglo, con lo que la visión arquetípica del bosque (…) está sesgada por nuestra incapacidad de integrar la variabilidad temporal en la estructura y funcionamiento del mismo más allá de unas pocas décadas.

Valladares, Camarero, Pulido y Gil-Pelegrín.
El bosque mediterráneo, un sistema humanizado y dinámico (2004).

En el contexto del equilibrio, la incidencia del fuego, de los animales o del hombre han sido siempre consideradas como factores de alteración y cambio negativo o degradante. Sin embargo, todos ellos son la quintaesencia del mantenimiento de muchos ecosistemas.

Carrión, Munuera, Navarro y Sáez. Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico (2000).

Si cogemos la antorcha o buscamos sustitutos para ello, seguiremos siendo los guardianes de la llama. Pretender otra cosa es programar una ilusión tan peligrosa como ilógica.

Stephen J. Pyne. El fuego sobre la tierra.
Introducción a su historia (1999).

9 UN ENFOQUE PARA LAS QUEMAS Y LA SELVICULTURA CONVENCIONAL EN ESPAÑA

La gestión forestal ha tratado de tomar tradicionalmente tres vías estratégicas para la reducción del riesgo de incendios: por una parte, ha buscado la disminución de todo tipo de igniciones; por otra, se ha centrado en los cambios estructurales de la vegetación, aunque a veces se ha focalizado excesivamente en crear infraestructuras de sectorización y no se ha prestado suficiente atención a la selvicultura multifuncional en los montes; por último, ha luchado para crear una socioeconomía forestal que vincule a la gente y al bosque mediante intereses laborales y económicos.

A lo largo de este libro se ha afirmado que los incendios son una parte más del régimen de renovación global de los montes. En dicho régimen, se observa que la vegetación renovada por un agente cambia su susceptibilidad a ser perturbada por el fuego hasta determinado umbral de recuperación. En general, la susceptibilidad al incendio tiende a ser menor si la renovación lleva a una disminución del combustible disponible o a unos cambios estructurales determinados. Si bien en la relación entre el régimen global y el paisaje hay retroalimentaciones y sinergias complejas —a veces, pequeños cambios varían significativamente la susceptibilidad al incendio—, el patrón anterior tiende a cumplirse. La selvicultura, con o sin quemas, forma parte del régimen de renovaciones global y, por tanto, es la herramienta que las sociedades humanas tienen para actuar proactivamente sobre el combustible, que es el único factor del triángulo del fuego manipulable ante los incendios.

Fotografía 9.1. La selvicultura preventiva se ha centrado en las infraestructuras de sectorización en muchas ocasiones.
Área cortafuegos con un camino como eje central en un carrascal (*Quercus ilex*) laxo con presencia de pinos (*Pinus halepensis*) bien integrado paisajísticamente.

Ibi (Alicante/Alacant).

En el presente capítulo se muestran algunas ideas que pueden ayudar a tomar decisiones estratégicas de gestión del fuego en primera instancia y de política forestal global como fondo. Está pensado para el ámbito español dentro del contexto europeo y mediterráneo, ya que es el marco del medio natural, de uso del territorio y de demografía e historia humana que le corresponde. Como idea central, se considera que los montes deben ser manejados como sistemas complejos que son para alcanzar los hitos de gestión que se pretendan. Observando también que las fases de destrucción rápida de los ecosistemas o perturbaciones —en especial, las causadas por incendios— en el ámbito ibérico actual son normales, y la atenuación del régimen de incendios pasa inevitablemente por manejar a la vegetación de otra forma. Es decir, se trata de conducir antrópicamente a la fase "destructiva" del ciclo de vida de la vegetación para evitar cambios catastróficos indeseados en los ecosistemas, como los causados por grandes incendios.

El enfoque de la gestión de incendios basado en el régimen de renovación global/selvicultura facilita la aplicación de estrategias de gestión de los ecosistemas que consideren al agente fuego. Esto es, permite desarrollar estrategias integradas y, por tanto, probablemente más efectivas. El concepto "lucha contra los incendios" debe cambiarse, pero no por "gestión del fuego" —que es una visión limitada y especializada que pone más énfasis en el proceso que en el territorio—, sino por "gestión del entorno natural y rural habitado con acción ocasional o periódica del agente fuego".

Este capítulo no es un texto técnico, sino más bien un ensayo que plasma unas reflexiones sobre las estrategias de gestión del medio natural respecto al fuego. Su desarrollo es algo asimétrico: es estricto con los peligros de las quemas y del fuego debido a que su riesgo no se debe menospreciar, y está manifiestamente a favor de tomar vías de gestión que lleven a alcanzar estados de *desarrollo forestal* (véase Torre, 2007a y b, 2009) o un estado de *consolidación de los bosques* (véase Sevilla, 2008) como se ha hecho en otros lugares de Europa, donde el problema de los incendios forestales ha sido atenuado en mayor o menor medida. Con esta estrategia, se busca también facilitar un mutualismo entre ecosistemas y sociedad que ayude a paliar la problemática ambiental y socioeconómica global actual. Llama poderosamente la atención como en algunas regiones españolas donde es bastante complicado hacer cortas de arbolado (véase Tolosana, 2016), hay ciertos planteamientos de uso habitual de las quemas. Ambas renovaciones tienen efectos sobre el régimen de incendios, pero las cortas conllevan además una cadena de beneficios socioeconómicos directos y de externalidades ambientales que las quemas no tienen. Si bien la selvicultura no debe caer en "lignocultura" (Sevilla, 2008), su abandono casi total ahonda el efecto de la "paradoja de la extinción".

En el capítulo se tratan primeramente las posibilidades de aplicar quemas de forma generalizada, pero también sus inconvenientes. Seguidamente, se detallan las soluciones que la selvicultura por corte ofrece para rebajar la susceptibilidad al fuego y las sinergias socioeconómicas que produce al estar relacionada usualmente con el aprovechamiento del bosque.

Tabla 9.1. Relaciones generales entre vegetación, tratamientos selvícolas y sus objetivos de manejo para rebajar la peligrosidad del fuego (Finney, 2004).

Estrato en el que intervenir	Tratamiento	Cambio en el comportamiento del fuego
Combustibles superficiales: herbáceas, matas y material leñoso muerto	Quema prescrita y otras intervenciones para eliminar, compactar o reducir los combustibles superficiales	Reduce la velocidad de propagación e intensidad y limita la transmisión a los combustibles situados en altura
Combustibles intermedios: sotobosque, arbolillos y ramas bajas	Cortas por lo bajo, podas o desbroces, o quemas prescritas para eliminar al sotobosque, clarear por lo bajo y realizar poda por necrosis para romper la continuidad vertical con las copas	Limita los entorchamientos y las transiciones a fuegos de copas
Combustibles de la cubierta: follaje, ramillas y similares	Cortas para reducir la continuidad horizontal en las copas	Limita la propagación por las copas

Fotografía 9.2. Un desarrollo de la gestión forestal ayudaría a rearticular el territorio tras la quiebra del sistema agrario tradicional, incluyendo los relativamente extensos terrenos agrícolas abandonados durante las últimas décadas. Esta sería una forma adecuada de conducir a las dinámicas de los ecosistemas y un modo de dar oportunidades socioeconómicas a la población y disminuir los elevados gastos debidos a los esfuerzos de extinción. Extinción de un conato en un antiguo viñedo en el que existen procesos de sucesión silvestre desde hace ya décadas.
San Martín de Valdeiglesias (Madrid).

9.1. LAS QUEMAS EN LA GESTIÓN

9.1.1. EL FUEGO, UN MANEJO SELVÍCOLA CON CABIDA EN LA GESTIÓN

El uso del fuego para el manejo de la vegetación puede tener validez desde cierta perspectiva ecológica (Vélez, 1992), ya que es una herramienta que está en consonancia con los atributos de algunas especies vegetales y comunidades con mecanismos eficientes de regeneración tras los incendios (Lloret, 2004; Oria de Rueda *et al*., 2007; Pausas, 2012). El fuego es un elemento propio de los montes y una fuerza selectiva natural en muchos casos, por lo que se puede decir que su empleo en el manejo de la vegetación es semejante a realizar el control de una población animal potenciando a sus predadores silvestres. Desde el punto de vista legal, la utilización del fuego puede estar justificada desde un determinado enfoque, ya que hay un mandato para el mantenimiento de las estructuras y procesos de la naturaleza (Arilla *et al*., 2005; Grillo *et al*., 2009), de los cuales el fuego es un agente básico en el medio ibérico. Sin embargo, no hay que olvidar que provocar incendios está tipificado como delito en el Código Penal (Ezquerra *et al*., 2011).

El manejo del fuego puede encontrar cierto encaje práctico en el tratamiento de montes desarbolados pirófitos para la regulación de las cargas de combustible y la conducción de su dinámica en algunos casos, incluyendo la conservación de especies y hábitats y el apoyo a actividades silvopastorales entre otros objetivos; también puede servir para manejar rodales arbolados con las prescripciones adecuadas (Ryan, 2000; Pique *et al*., 2007; Villalba, 2007).

Las quemas bajo cubierta son renovaciones parciales que se utilizan para facilitar o adelantar cambios, generalmente estructurales, que rebajen la susceptibilidad de renovación incontrolada en los bosques. Los tratamientos aquí se deben hacer en consonancia con la fase de desarrollo que el rodal tenga en ese momento y los objetivos de gestión perseguidos para lograr un efecto duradero y sinérgico con la evolución de la masa vegetal. Las quemas bajo arbolado se pueden usar para:

- Disminuir la carga de combustible superficial con el objetivo de rebajar la severidad de los posibles incendios futuros y crear estructuras arbóreas más tolerantes al suceso de fuego (Biswell; citado en Molina *et al*., 2009), aunque estas quemas no descargan de combustible al dosel arbóreo (Keeley *et al*., 2009).
- Manejar el desarrollo de rodales arbolados; por ejemplo, con el objeto de lograr una regulación de la densidad arbórea en etapas juveniles, producir podas por calor (Grillo *et al*., 2009; Fernandes, 2010), favorecer el mantenimiento de estructuras arbóreas en grupos irregulares (Vega, 2000) o conducir a la sucesión en cierto sentido.
- Formar determinadas estructuras de habitación de algún animal o para mantener a taxones o comunidades vegetales pirófitas.

Fotografía 9.3. Quema bajo dosel de *Pinus tadea*, *P. palustris* y *P. echinata*. Con este tratamiento se elimina la hojarasca y sotobosque y se rebaja la susceptibilidad del rodal a los incendios.
Bosque Nacional Sabine (Estado de Texas, Estados Unidos).

A pesar de sus posibilidades prácticas, no hay que olvidar que la función táctica de las quemas dentro de un desarrollo forestal eficiente es llenar el hueco en la renovación de los montes que no se puede completar mediante cortas, desbroces, pastoreo o de cualquier otro modo razonable tratando de dar protagonismo al fuego controlado y no a los incendios; lo idóneo es que su necesidad sea mínima dada la peligrosidad de la herramienta.

9.1.2 LOS PROBLEMAS DE LAS QUEMAS

Dejando a un lado que el fuego es una herramienta peligrosa, aspecto que no se debe trivializar, la aplicación de quemas a gran escala o en frecuencias altas presenta problemas en diversos ámbitos (Rigueiro-Rodríguez *et al.,* 2010); por ejemplo, pueden perpetuar o potenciar formaciones piropronas y pirófitas extensas a largo plazo y, por tanto, hacer crónica la situación estructural que favorece a los incendios en algunas regiones. Como proceso de sucesión y selección de especies, favorece a los taxones e individuos mejor adaptados a su efecto: suele beneficiar usualmente a plantas pioneras, heliófilas y pirófitas, lo cual puede mantener o potenciar formaciones de matorral pirófito o sotobosques intolerantes bajo bosques ralos que dominan en las áreas dependientes del fuego. En otras palabras, el uso inadecuado del fuego puede evitar o ralentizar la progresión de la vegetación hacia formaciones más umbrófilas y relativamente menos susceptibles a los incendios hasta determinado umbral meteorológico. Esto es significativo para muchos montes del norte peninsular de carácter atlántico y otras áreas montanas, ya que muchas de las extensas formaciones de matorral pirófito que habitan en esta región podrían pasar a bosques de frondosas sensibles al fuego.

Fotografía 9.4. Existe una "paradoja de las quemas"que tiene dos vertientes:
Una es selvícola, ya que la aplicación de quemas sostenidas y amplias puede provocar el aumento del dominio de la vegetación piroprona y, por tanto, conlleva la irresolución, o falta de atenuación, de los problemas estructurales de la vegetación respecto al riesgo de incendio a medio y largo plazo.
La otra vertiente es la social. Las inercias de costumbre en el manejo de la vegetación y el territorio son fuertes. Cambiar la estrategia de gestión hacia otra que desincentive el uso del fuego tras una época de normalización de las quemas puede ser largo y costoso, como se ha observado durante las últimas décadas en algunas regiones españolas. La gestión de los montes puede quedar hipotecada a la herramienta fuego provocando una espiral de la que sea difícil salir (Torre, 2009).
La imagen muestra una zona ganadera de la comarca de Las Merindades en la que se han efectuado quemas de matorral autorizadas con regularidad hasta hace unos años. Allí se observa que, en pocos años sin aplicar quemas, la susceptibilidad de la vegetación al incendio ha aumentado incluso hasta niveles superiores previos al programa de quemas reguladas. Por otra parte, la prohibición del pastoreo en los quemados de la comarca durante unos años se ha convertido en una de las herramientas más eficaces para disuadir de efectuar prendidos ilegales.

Las Machorras (Burgos).

Las quemas presentan algunas limitaciones a escala táctica. En los montes desarbolados, el fuego tiene un efecto preventivo efímero debido al crecimiento vegetal si no se acompaña con otros tipos de renovación, como el pastoreo regulado, que hace que su efectividad temporal sea de dos a cuatro años usualmente (Fernandes y Botelho, 2003). El fuego bajo arbolado puede tener una repercusión más duradera si el tratamiento se hace en un momento dinámico adecuado de la evolución del rodal. Sin embargo, las quemas bajo cubierta tienen una perspectiva de uso limitada (Vélez, 1992) principalmente para el manejo de espesuras arbóreas, ya que el fuego hace siempre claras por lo "bajo" (Fernandes *et al.*, 2002; Piqué *et al.*, 2007; Vega *et al.*, 2008; Arteaga, 2012) y de forma parcialmente aleatoria. Esto se debe por una parte a que el fuego genera una mortalidad umbral preferentemente sobre el arbolado más pequeño o fino, que es el menos resistente, y por otra a que no se puede tener un control estricto y pormenorizado pie a pie de las variables que inciden sobre la severidad del fuego en toda la superficie de la quema, lo que provoca zonas o golpes con una afección diferencial. Si bien el fuego permite variar la estructura de algunos rodales —sobre todo, para el control del sotobosque y para aumentar la discontinuidad vertical entre el suelo y las copas—, está lejos de la posibilidad de detalle que las cortas ofrecen en el manejo del espaciamiento de los árboles, que es la principal herramienta para conducir a la dinámica del arbolado a largo plazo.

Fotografía 9.5. El mantenimiento de los pastaderos de vacuno o caballar en la cordillera cantábrica ha necesitado la aplicación periódica de fuego para desbastar a estos montes. Con el paso del tiempo, el tojo y otras especies acaban por dominar los predios salvo si la carga pastante es muy elevada.
En la imagen se ve un rodal en el que el tojo ya aparece y el helecho es profuso. Se observa que la estaca del cerramiento está chamuscada debido a que se ha aplicado fuego en alguna ocasión.
Otura, Morcín (Asturias).

Existen posiciones encontradas entre los distintos autores acerca del provecho de las quemas para atenuar el régimen de incendios en el nivel estratégico.

Algunos enfoques ven en las quemas una herramienta selvícola muy eficiente para disminuir la susceptibilidad a los incendios (Martínez 2001; Landrach, 2009); de hecho, esta es la principal causa del renovado interés por las quemas observado en el sur de Europa durante las últimas décadas (Lázaro y Montiel, 2010). En este sentido, se considera que las quemas permiten reducir la superficie global quemada y el nivel de afección a las poblaciones vegetales en un grado significativo siempre que se empleen estratégica e inteligentemente.

Por ejemplo, MacArthur (1967; citado en Ladrach, 2009) pone como muestra los pinares del suroeste francés, donde se aplicaron quemas entre 1922 y 1940 con un resultado medio de 750 ha/año dañadas por incendios, lo que contrasta con la media del período 1941-1949, cifra que fue de 11.300 ha/año. No obstante, este ejemplo está sesgado por un enorme incendio del último año de la serie y porque el contexto de cambio en el modelo socioeconómico se obvia en la explicación. Efectivamente, un incendio catastrófico de 65.000 ha que mató a unas 100 personas (Mesaza, 1957) tuvo lugar el último año de la serie considerada (1949) alterando fuertemente los valores medios comparados. Sobre todo, el problema principal que la región se encontró tras la II Guerra Mundial en el inicio de la decadencia de su modelo forestal resinero (véanse datos de producción en Zinkel y Russell, 1989) —en vigor desde la década de 1860 con la popularización del método Hughes— dada la competencia de las mieras de otras procedencias y el avance socioeconómico de la sociedad francesa, aparte de los problemas de desorganización provocados por la propia guerra. La apertura de los mercados franceses a las mieras portuguesas, españolas y griegas en 1952 —que ya llevaban algunos años compitiendo exitosamente en el mercado internacional— provocó una decadencia rápida de la producción y de la socioeconomía resinera en las Landas gasconas (Canteloup, 2013). Finalmente, a medio plazo, la vía para reestructurar la gestión forestal se encontró en el aprovechamiento maderero intensivo, lo que conllevó una mitigación del problema de los incendios. El de las Landas fue un claro ejemplo de sustitución de los incendios por cortas que generaron otro patrón de renovación del paisaje e intereses socioeconómicos directos para el cuidado del bosque entre los habitantes.

Otro ejemplo de que las quemas no son la panacea es la política de gestión del fuego de los extensísimos montes del oeste de Estados Unidos en los últimos decenios, donde se lleva a cabo uno de los programas de quemas

más ambiciosos del mundo. Allí persisten los problemas de grandes incendios, e incluso se están agudizando en los últimos tiempos. Esto ha abierto debates en EE.UU. para tratar de discernir entre las bondades y los riesgos del uso generalizado del fuego (Lasko, 2010). La experiencia estadounidense muestra que tratar de modificar el régimen de incendios mediante quemas es algo complejo y que las dinámicas sociales, del uso del territorio y de la vegetación se deben tener en cuenta de forma integrada (Jardel, 2010).

Otros autores (Edmonds *et al.*, 1999; Piñol *et al*., 2005; Oliveras *et al*., 2005) muestran una actitud más prudente frente a la efectividad de las quemas. Estos apuntan a que las intervenciones mediante quemas, y/o selvicultura convencional, parecen lograr no tanto disminuir drásticamente las extensiones totales recorridas por el fuego en la misma región, sino reducir la intensidad, severidad y tamaño medio de las combustiones. En este caso, las quemas u otros tratamientos selvícolas aumentan la frecuencia de perturbación para disminuir la afección (Sevilla, 2008).

Se observa que los paisajes más teselados y con menos combustible disponible parecen tener menor susceptibilidad a un cambio brusco, severo y extenso motivado por los incendios, y los análisis de algunos autores (Minnich, 1983; Minnich y Chou, 1997; Minnich, 2001) apuntan en ese sentido. Por ejemplo, Vega (2000) hace un estudio de frecuencias de fuegos en dos rodales de *Pinus pinaster* y *Abies pinsapo* que va en la misma dirección: fuegos más frecuentes tienen una severidad menor por la eliminación periódica de combustible, lo que además favorece la creación de estructuras boscosas irregulares y diversas bajo algunas circunstancias.

Piñol (2001), por su parte, realizó proyecciones de variación del régimen de incendios en la provincia de Tarragona mediante el uso de quemas y el refuerzo de las capacidades de extinción. Concluyó que las quemas prescritas, así como el aumento de las capacidades de extinción, no parecen disminuir la cabida anual quemada. No obstante, todo apunta a que las quemas pueden reducir de forma notable los grandes incendios. También determinó que el refuerzo de las capacidades de extinción —si no media gestión de la biomasa de otra forma— promueve más incendios grandes, pero la ausencia de extinción no los elimina totalmente.

Por otra parte, es interesante destacar que existen estudios que no han encontrado una disminución de grandes incendios en algunas regiones boscosas extensas debida a la aplicación de programas de quemas. En estos lugares, los grandes eventos están regidos por condiciones meteorológicas extremas (Keeley *et al.*, 1999, 2001, 2009). Bajo condiciones atmosféricas de peligrosidad, la cantidad, estructura y grado de tolerancia de la vegetación pasan a tener una importancia relativa menor en el comportamiento del fuego. Por ejemplo, Graham *et al.* (2009) analizaron el comportamiento y utilidad de las quemas y otros tratamientos selvícolas ante un gran incendio en el verano de 2007 en Idaho (EE.UU.). Determinaron que las intervenciones fueron esenciales para la protección de construcciones y zonas habitadas, facilitaron la extinción en esas áreas, sirvieron de apoyo para la ejecución de quemas de control e influyeron de forma positiva en la estrategia de extinción, y los rodales tratados sufrieron una menor severidad que contrastaba con la de las zonas no intervenidas. Sin embargo, reconocieron que los tratamientos no contribuyeron a reducir el área total quemada en el marco de un paisaje boscoso muy extenso.

La efectividad de las quemas, como la selvicultura convencional, en la regulación del régimen de incendios debe ser diferente en función de la realidad del medio geoclimático, del marco paisajístico, de las características de los montes, del régimen global y de incendios imperante, y de los atributos, posición y extensión de los tratamientos que se apliquen (Fernandes y Botelho, 2003). Es decir, el alcance de las intervenciones depende de dónde y cómo se hagan. Hay sitios en los que pueden llegar a ser una acción relativamente efectiva —por ejemplo, en climas templados y húmedos como el de la cornisa cantábrica— y otros —como en el área mediterránea— donde la parcelación del territorio por las quemas puede disminuir el riesgo de sufrir grandes incendios en algún grado (Cassagne *et al*., 2009), aunque estos seguirán ocurriendo en ciertos momentos facilitados por condiciones meteorológicas adversas.

Es necesaria más investigación y análisis de las experiencias empíricas para vislumbrar mejor el alcance del manejo del combustible sobre el régimen de incendios. Existe una carencia en conocimientos de selvicultura preventiva que debe ser remediada. El fuego es un agente del que sabemos poco en la actualidad. Obviamente, este desconocimiento es una limitación, pero también un reto. Comprender mejor la dinámica de los montes en relación con el fuego, saber más sobre la piroecología de las especies y formaciones, conocer más sobre la influencia del tipo, posición y extensión de los tratamientos selvícolas en el desarrollo de los incendios y atisbar regímenes de fuego útiles para la gestión son objetivos que cumplir a largo plazo. Para lograr estas metas, es necesario experimentar e intentar que la propia gestión se convierta en parte del ensayo (Fernandes y Botelho, 2003; Fernandes, 2010).

9.1.3. EL USO TRADICIONAL DEL FUEGO COMO RIESGO

Las quemas son peligrosas por el riesgo de escape del fuego incontrolado. Utilizar el fuego como herramienta forestal generalizada y al alcance de la población entraña dificultades, ya que necesita un control facultativo importante, cierta experiencia acumulada y unos medios de control adecuados para su uso.

Lo mejor sería que la población no utilizase el fuego debido al riesgo que supone, aunque esto va en contra de las costumbres y ciertas necesidades del mundo rural para el manejo de algunos montes y campos agrícolas. Las limitaciones de uso del fuego que se planteen deben valorarse para evitar conflictos y permitir cabalmente las actividades normales de la población, sobre todo la que gestiona el territorio. En caso de presentar alternativas al uso del fuego estas deben ser realmente viables. Los niveles mínimos de manejo ciudadano del fuego serán distintos según la naturaleza de la relación entre el hombre y el territorio en cada comarca. No hay que olvidar que el fuego es una herramienta a veces válida y es usada por particulares en la gestión de sus campos y montes en muchas partes del mundo (véase, por ejemplo, Weir *et al*., 2009; o Marsden-Smedley y Sherriff, 2014).

Fotografía 9.6. La quema de lindes, ribazos y cursos de agua ocasionales para "limpiar" el campo fueron la norma en la agricultura del sistema agrario tradicional.
En momentos de anticiclón invernal, estas quemas aún aparecen en algunas comarcas. Son prácticas poco recomendables en zonas agrícolas extensas, ya que homogeneizan todavía más los paisajes biológicos y visuales.
Quema de una cuneta en un año en que el uso del fuego por parte de los labradores y otros lugareños fue profuso para tratar de contrarrestar una plaga de topillos.
Quintanilla de Trigueros (Valladolid).

A pesar de lo anterior, si bien el estudio de las prácticas tradicionales de quema es una fuente de información cuyos conocimientos útiles deben incorporarse a la gestión, el apoyo a la recuperación o potenciación de las prácticas consuetudinarias de quema *per se*, sin una meta utilitaria clara y bien imbricada en la gestión del territorio, puede ser un error debido a que:

- El uso del fuego como herramienta era común en el sistema agrario tradicional y una técnica necesaria para la socioeconomía agropecuaria de subsistencia de ese momento. La eliminación de restos agrícolas y, sobre todo, las transformaciones pastoriles de los montes implicaban a toda la comunidad, porque todas las familias cultivaban y tenían animales para alimentación o tiro, y esto era esencial para su supervivencia. La economía y la realidad rural española han cambiado radicalmente en el último medio siglo, se están *desagrarizando* (Camarero *et al*., 2009), y se producen cambios en la estructura social y en sus necesidades. Por eso, las herramientas y regulaciones anteriores —entre ellas, muchas de las relacionadas con el fuego— ya no son útiles muchas veces.
- El manejo del fuego —sobre todo, en las quemas en los montes— en muchas ocasiones se llevaba a cabo de forma comunal con la participación de bastantes vecinos del pueblo, porque muchos de ellos tenían interés en la renovación de la vegetación. Actualmente, el posible afán directo por quemar es de unos pocos vecinos en cada localidad, normalmente profesionales de ámbitos agropecuarios. Se deben dar cauces adecuados para estas demandas, que son importantes porque tienen su origen en población que habita en el medio rural y posee intereses directos en el manejo del territorio, pero de una forma que se ajuste a la realidad actual, a los derechos de los otros vecinos sobre los predios públicos y al interés general.
- El uso consuetudinario del fuego no es de por sí algo positivo aunque se puedan extraer conclusiones útiles de su análisis para la gestión en algunos casos. Cabe recordar que la aplicación habitual y popular del fuego, junto con el sobrepastoreo y las cortas por huroneo —también tradicionales en España hasta el siglo XIX—, han degradado significativamente a ecosistemas de muchas partes del mundo. Por otro lado, no se puede renunciar a un manejo multifuncional de los montes que integre la conservación, la producción económica y sus repercusiones sociales positivas y que aplique todo el elenco de conocimientos actuales y posibilidades de manejo de forma razonable.

Fotografía 9.7. Las quemas no son la única opción para el manejo de montes de matorral. Los desbroces mecánicos constituyen otra posibilidad: tienen efectos de despeje similares a las quemas, los tratamientos de mantenimiento son baratos, no presentan el riesgo de los trabajos con fuego y son más respetuosos con el recurso suelo.
Extrañar al fuego durante unos años en algunos lugares muy castigados por quemas e incendios puede ser importante, como en muchas zonas del área cantábrica. Esto facilita la mejora de los suelos y la progresión del arbolado; es decir, el inicio de cambios en las estructuras y dinámicas forestales.
Desbroce para uso ganadero en un terreno antes ocupado por un pinar de repoblación destruido por incendios.
Bárcenas, Espinosa de los Monteros (Burgos).

- El cuerpo actual de los posibles conocimientos tradicionales en el manejo del fuego, quizá interesantes en algún caso, está sobrevalorado. La aproximación técnico-científica a las quemas, acompañada por el empirismo, posiblemente provea con mucho más conocimiento que el que las actuales comunidades rurales españolas pueden aportar. Esto probablemente sea así porque parte de la sabiduría popular se extinguió con las generaciones anteriores y quizá fuera relativamente básica, ya que se realizaban quemas sencillas con unos fines esencialmente agropecuarios y en montes sobreexplotados con poco combustible y muchas discontinuidades. Adicionalmente, los usuarios del fuego que quemaban eran muchos en el ámbito local, de forma que la capitalización de experiencias no resultaba alta dada la competencia por prender y el ámbito geográfico reducido. Nuestros mayores de hoy en día se incorporaron a la vida laboral activa en la década de 1960 coincidiendo con el fin del sistema agrario tradicional en muchas regiones españolas y en pleno inicio de la confrontación entre autoridades y población rural de algunas comarcas por la prohibición o las fuertes limitaciones al uso del fuego. Por desgracia, los habitantes que en el presente practican quemas saben más de iniciar prendidos demorados con mechas de algodón y de controlar las rutinas del *guardabosques* que del comportamiento y la ecología del fuego.
- El fuego es una herramienta peligrosa que desgraciadamente puede tener unos efectos negativos extensos en los montes y otros valores en caso de accidente o negligencia (Bond y van Wilgen, 1996).
- El fuego reiterado, así como las cargas elevadas y sostenidas de ganado, impactan sobre el suelo consumiendo capital edáfico, lo que redunda en facilitar la perpetuación de especies heliófilas y pirófitas. Esta vía dificulta la instalación de especies tolerantes donde se puedan dar y los efectos de atenuación que estas tienen sobre el régimen de incendios.
- Si bien es cierto que el uso del fuego en algunas comarcas de tradición ganadera está muy arraigado y es objeto de demanda, esto se debe más en la mayoría de los casos a un aprecio cultural por los paisajes an-

Fotografías 9.8. (izq.) y **9.9.** (der.) El fuego fue una herramienta fundamental de las actividades agropecuarias que definieron el sistema agrario tradicional, pero la necesidad de quemar de la manera en que se hacía entonces es escasa, ya que las sociedades rurales y la tecnología han cambiado notablemente durante el último medio siglo.

Izquierda: La emigración ha vaciado a muchos pueblos; sobre todo, de jóvenes que buscan oportunidades laborales y un modo de vida más acorde con la cultura predominante actual en las ciudades. En las serranías y en amplias zonas del interior, muchas localidades ya no son funcionales como entidades sociales o lo van a dejar de ser en unos años por la falta de relevo generacional.
Masía rodeada de bancales abandonados usados antes para el cultivo de subsistencia. Hace décadas que la casa y sus infraestructuras no se usan para los fines que fueron ideados, los progresos tecnológicos y económicos los han dejado obsoletos.

Villahermosa del Río (Castellón/Castelló).

Derecha: Si bien durante siglos las funciones principales de los montes han sido la provisión de leñas y el sostenimiento de cabañas ganaderas —actividad que tradicionalmente ha necesitado quemas— las metas que ahora se esperan de los bosques y montes son más numerosas y complejas. Aunque manejos anteriores pueden ser útiles en ciertos lugares o momentos, la gestión de los montes debe cambiar tanto como lo han hecho los paisajes vegetales y las aspiraciones de la sociedad.
Viejo soto de fresnos en un predio público; probablemente, una dehesa comunal para el sostenimiento de los animales de tiro de los vecinos del pueblo. Debido a que la mecanización ha extrañado hace décadas a los animales de las funciones de fuerza y movimiento, el terreno ha sido convertido en un cultivo de chopos para madera (arbolado del fondo de la imagen). El pueblo ha encontrado una actividad productiva moderna alternativa para seguir generando riqueza.

Cifuentes (León).

teriores y/o necesidades de despeje del matorral que a intereses directos del conjunto de la población, ya que allí también se ha producido una desagrarización significativa. Las nuevas situaciones requieren nuevos planteamientos basados en el análisis de las oportunidades novedosas. Se deben aplicar medidas de carácter incentivador e informativo que promuevan cambios en el pensamiento rural, aparte de las de tipo coercitivo. La ganadería tiene cabida en los montes y en los bosques, pero debe ser regulada y respetuosa con los otros usos y los derechos del resto de los vecinos.

- El control o eliminación del matorral es una de las principales causas de quema en España, pero existen alternativas a esta, y los desbroces constituyen una opción viable en muchos casos. Por ejemplo, el desbroce mecánico acompañado por una enmienda caliza y un abonado nitrogenado produce cambios radicales en matorrales hacia herbazales productivos en montes atlánticos peninsulares.
- Hay un riesgo de paradoja de las quemas: La aplicación general de la estrategias de quemas tiene el riesgo de caer en una espiral de necesidad de control de la vegetación y uso del fuego para ello de la que sea difícil salir después (Torre, 2013). La inercia social puede ser muy grande en el asunto de emplear el fuego, como se ha visto en algunas comarcas españolas desde el fin del sistema agrario tradicional.

Por otra parte, también existe cierta corriente de opinión entre los forestales dedicados al problema del fuego en considerar a las quemas como la panacea. Sin embargo, no se debe perder la perspectiva de que el fuego es una herramienta ecológica compleja y peligrosa basada en una tecnología críptica y en parte aún incierta, difícil de transmitir y de una popularización muy difícil. El fuego es relativamente barato, pero no genera directamente productos que la sociedad necesita; entraña riesgos —entre ellos, sociales—, como una oposición fuerte desde la perspectiva urbana o una "barra libre" en el medio rural, y en ocasiones se tiende a poner más énfasis en el instrumento que en los objetivos de gestión.

Fotografía 9.10. El uso del fuego se puede plantear en algún caso si con ello es posible alcanzar metas prácticas en la gestión del territorio. Por ejemplo, las nuevas técnicas agrícolas para el cultivo mediante siembra directa y laboreo mínimo llevan asociadas un uso voluminoso de herbicidas y fungicidas. El vertido sostenido y cuantioso de estas sustancias en los campos puede provocar problemas de contaminación de aguas, suelos y ecosistemas adyacentes a medio plazo. Quizá la reintroducción de las quemas de rastrojos para el control del banco de hierbas silvestres y la esterilización fúngica del suelo puedan ser parte de la solución frente a una posible contaminación por pesticidas. Sin embargo, el problema vuelve a ser el anterior a la prohibición o limitación de la quema de rastrojos en muchas comarcas desde el punto de vista de los incendios: la realización de quemas agrícolas por particulares en muchas parcelas de forma sincrónica y en áreas amplias, donde es fácil que haya escapes de fuego que afecten a los montes, ribazos y enclavados forestales de los campos. Sería necesario desarrollar un sistema de control lo suficientemente intenso y unas herramientas de disuasión o coerción funcionales para el cumplimiento de las normas y, de ese modo, lograr la reintroducción general de las quemas de rastrojos.
Campo de cebada en el que observa escorrentía que puede arrastrar a los agroquímicos usados en el cultivo.
Espinosa de Cerrato (Palencia).

9.1.4. LA GESTIÓN FORESTAL CON FUEGO, REFLEXIONES SOBRE LAS TENDENCIAS NOVEDOSAS

El aumento de los conocimientos sobre la ecología del fuego y la importancia de los regímenes de incendios ha llevado a la observación del proceso fuego como un influyente esencial para el mantenimiento de los ecosistemas dependientes de los incendios desde algunas visiones especializadas (véase, por ejemplo, Pausas, 2012), lo cual debe tenerse en cuenta bajo una política de manejo integrado del fuego para algunos montes (Myers, 2006). Es interesante en este sentido, por ejemplo, ver el libro del Departamento de Parques Nacionales de la región australiana de Queensland[23] donde se detallan las prescripciones y regímenes de fuego a imponer para el manejo de un elenco de tipos de montes variados, mayoritariamente bajo la perspectiva de la mera conservación o mantenimiento.

Con un enfoque relacionado, centrado en la conservación y en la restauración de regímenes de renovación pretéritos, destaca el trabajo de Keeley *et al.* (2009), que expone unas bases para acercarse a la gestión forestal con fuegos dentro de sus regímenes "naturales" en los extensos montes de América del Norte. Aunque esta tendencia de gestión presenta grandes dilemas (Parson *et al*., 2003). Si bien esta perspectiva de es inteligente y novedosa, el traslado directo de estos paradigmas a áreas vastas de la península ibérica se debe considerar con extrema cautela, ya que surgen diversas dudas y problemas desde la realidad del Viejo Mundo; por solo citar algunos:

- Los regímenes de renovaciones han sido y son mucho más que meros incendios; sobre todo, en los lugares en que la influencia humana ha resultado significativa y dilatada en el tiempo. En estos lugares, las distintas cargas demográficas y usos culturales de cada período han creado una gran diversidad de presiones renovadoras y selectivas. Los regímenes han llegado a ser muy complejos y variados (Sevilla, 2008), y el fuego como herramienta no se ha usado solo, sino en íntima relación con otras formas de intervención, como el manejo de herbívoros silvestres o domésticos, la agricultura u otras transformaciones del medio natural. Los montes ibéricos presentan una histéresis con influencia humana larga e intensa que es ineludible y forma, en cierta manera, parte del patrimonio.
- La determinación del monte "normal" desde el enfoque de la conservación orientada a alcanzar estadios "originales" es un debate filosófico clásico y bastante infructuoso, ya que las opciones son múltiples según la postura y referente temporal que se tomen (García y García, 2007). Por ejemplo, Ezquerra (2011) presenta la evolución e influyentes en la dinámica vegetal de las montañas cántabras en el Holoceno mostrando que los cambios han sido continuos. Simplemente

[23] Véase Departament of National Parks, Recreation, Sport and Racing (2013).

Fotografía 9.11. Es necesario conocer muchos datos para poder tratar de hacer una proyección del régimen de renovaciones global y el estado y composición de los montes en épocas pretéritas. Normalmente, esos registros no existen y la información que obtenemos es parca e indirecta gracias a la palinología, dendrocronología u otras técnicas.
Tocón de roble en el que se observan dos anillos más oscuros que probablemente corresponden a cicatrices por fuego, esta información permite inferir los fuegos que ha tenido el rodal en las últimas décadas.

Ribota de Mena (Burgos).

tratar de decidir si se quiere tender a un paisaje renovado por grandes herbívoros silvestres ya extinguidos o por usos cazadores-recolectores o por ganadería y cultivo, o a un medio que recupere los pinares naturales desaparecidos o mantenga a las comunidades que los sucedieron puede provocar vivos debates, pero poco provechosos para los retos de la sociedad actual. En América del Norte, debido a una presión humana previa menos intensa, hay propuestas que se inclinan a tomar como referencia "natural" al estado forestal y regímenes de incendios previos al asentamiento europeo en algunos casos; es decir, de 60 a 300 años atrás en las áreas más remotas (Keeley *et al.*, 2009). No hay que olvidar, sin embargo, que esos montes estuvieron presionados por sociedades humanas de carácter cazador-recolector interrelacionadas íntimamente con el medio, pero formadas objetivamente por personas desde hace milenios; por tanto, esta postura puede tener, como recogen el propio Keeley y sus colegas, buena parte de carga ideológica (véase Spence, 1999; Pyne, 1999; Brown, 2008). Por ejemplo, la presión humana prehistórica —aun con cargas demográficas exiguas— provocó transformaciones significativas en los ecosistemas ibéricos (Sevilla, 1997), tendencia que se está comprobando poco a poco en los montes de todo el mundo, incluso en selvas remotas de la Amazonia (Levis *et al.*, 2017).

- La herramienta principal desarrollada hasta el momento para evaluar la naturalidad de los regímenes de incendios es el "rango histórico de variabilidad" (Keeley *et al.*, 2009). Para usarla, es necesario tener registros suficientes que permitan la toma de decisiones fundamentadas sobre los paisajes naturales incluyendo la época y estado del monte de referencia al que se quiere

enfocar la gestión. Ahora bien, esto no siempre es posible en la actualidad, y los registros —sobre todo, los antiguos— presentan limitaciones (Westerling, 2007). Los significativos cambios en los montes, en el clima y en los regímenes de incendios, así como el peso de otros agentes renovadores en el régimen global desde la perspectiva de una historia natural y humana milenaria, dificultan contar con unos datos claros sobre los posibles regímenes naturales y sus paisajes vegetales asociados en el Viejo Mundo. Estos, además, pueden ser harto irregulares *per se* en función de los constantes cambios en sus determinantes (Carrión *et al*., 2000; Westerling, 2007). De hecho, no hay buenos datos de los regímenes de renovación pretéritos en la cuenca mediterránea por diversos motivos (Terradas, 2001). Dilucidar una información tan difuminada es todo un reto científico que los paleobotánicos perseguirán en la medida de lo posible, aunque la aplicación de este enfoque en la gestión forestal europea actual a gran escala es quimérica debido a muchos imponderables, aparte de que reproducirla con fidelidad es difícil actualmente. Por otra parte, cabe decir también que la evolución natural se nutre de procesos estocásticos y caóticos, entre otros, por lo que los cambios de tendencia en los ecosistemas y en sus regímenes de renovación —incluso abruptos por la influencia humana— pueden ser considerados normales desde cierta perspectiva.

- El medio natural de la península ibérica está sufriendo un cambio radical y sin precedentes tras el fin del sistema agrario tradicional. Los montes y el régimen global de renovaciones están en transición, y hoy en día se parecen poco a los precedentes. La dinámica forestal es novedosa y necesita enfoques de gestión distintos a los del pasado, por lo que se pueda aprender de tiempos pretéritos en España en este ámbito, con idea de reproducirlo, va a tener una importancia menor en la gestión frente a la realidad actual y futura.
- Una de las limitaciones habituales de los programas de quemas es que tienen unas prescripciones normalizadas, homogéneas y poco diversas. Parece ser que la variabilidad del régimen de incendios dentro de un rango, como pasa con casi todos los factores ecológicos, puede ser más significativa que los valores promedio (Myers, 2006), que son los que suelen aplicarse.
- La gestión del medio natural ha de ser múltiple para alcanzar un elenco de objetivos variados, no solo biológicos, sino también metas sociales y económicas que beneficien a las generaciones actuales y futuras, y ayuden a paliar los problemas ambientales y socioeconómicos globales de forma holística y sinérgica. El medio natural no se puede apartar del resto de subsistemas que sostienen a las sociedades humanas y, por ello, deben buscarse estrategias integradas para que sean efectivas. Además, las respuestas para el manejo del medio natural no solo se encuentran en el pasado aunque este provea de una valiosa información. Se debe actuar con pragmatismo considerando que la histéresis de los montes actuales es mayor que en tiempos anteriores, con lo bueno y malo que eso conlleva, y empezar a construir hacia el futuro con los valores naturales presentes en función de las demandas y necesidades de la sociedad y la capacidad de manejo alcanzable.

Tabla 9.2. Categorización de probabilidad de cambio en los montes por modificación del régimen de incendios histórico (modificado de Schmidt *et al*., 2002; citado en Keeley *et al*., 2009)

Clase	Probabilidad de cambio en el ecosistema	Régimen de incendios actual	Tendencia habitual de cambio en el ecosistema
1	Bajo	Dentro del rango histórico de variabilidad (R.H.V.)	El ecosistema se mantiene en su nivel de dependencia del fuego
2a	Moderado	Frecuencia de los incendios en el extremo inferior del R.H.V.	Tendencia hacia menor dependencia del fuego
2b		Frecuencia de los incendios en el extremo superior del R.H.V.	Tendencia hacia mayor dependencia al fuego
3a	Alto	Los incendios son excluidos durante varios intervalos de suceso habitual del evento	Cambios hacia menor dependencia del fuego
3b		La frecuencia de incendios aumenta hasta superar los umbrales de resiliencia, lo que produce la conversión del tipo	Cambios hacia mayor dependencia del fuego

Fotografías 9.12. (arriba) y **9.13**. (abajo). Una gestión de los incendios "cercana a la naturaleza" es atrayente en determinados lugares, pero la realidad histórica, del territorio, de tenencia de la tierra y socioeconómica de los montes del Viejo Mundo y de otros lugares donde se aplican estas estrategias de gestión es dispar. Trasladar a estos enfoques de modo generalizado a Europa no parece muy razonable ni fácil de implementar por diversos motivos.
Arriba: Rodal intervenido con una quema intensa. El comportamiento del fuego es irregular y puede generar severidades contrastadas en espacios cercanos, inclusive bajo prescripción. El tratamiento en la zona de la imagen ha generado prácticamente un raso. Los pocos árboles supervivientes tienen ahora campo para desarrollarse vigorosamente y hay oportunidades para que un nuevo regenerado se instale. Mariposa Grove, Parque Nacional de Yosemite (Estado de California, Estados Unidos).
Abajo: Pinar de *Pinus ponderosa* quemado por un incendio. En algunas reservas norteamericanas se siguen políticas de libre presencia y evolución de incendios como un proceso natural más que preservar. El ejemplo más paradigmático y controvertido de este enfoque fue el incendio de Yellowstone de 1988. Parque Nacional del Cañón de Bryce (Estado de Utah, Estados Unidos).

9.2. LA SELVICULTURA COMO HERRAMIENTA BÁSICA PARA LA GESTIÓN DEL RÉGIMEN DE INCENDIOS

La selvicultura se basa en la regulación de la concurrencia de las plantas para lograr un comportamiento deseado en la vegetación, y esto se alcanza mediante la eliminación o muerte de algunos individuos buscando modificar la estructura del ecosistema, el espacio disponible y el reparto de los recursos tróficos de la estación para los supervivientes. Las intervenciones selvícolas son mayoritariamente renovaciones, normalmente parciales, con severidades y extensiones heterogéneas según el tipo de monte, los objetivos del manejo y los tratamientos elegidos, que permiten alcanzar determinados hitos de gestión; entre ellos, rebajar la susceptibilidad de cambio indeseado en el devenir del ecosistema mediante las modificaciones estructurales y la conducción de la sucesión.

Las quemas constituyen un tipo de tratamiento selvícola, aunque el fuego y la selvicultura convencional por corte son agentes renovadores distintos. A pesar de lo anterior, se observa en muchas ocasiones que la sucesión y diversidad de los bosques es similar bajo estos agentes renovadores diferentes (Keeley *et al.,* 2009). Los incendios acostumbran a tener un efecto homogeneizador y simplificador como eventos severos y extensos que suelen ser, aunque a veces crean patrones de renovación complejos y heterogéneos en los bosques debido a que la perturbación queda determinada por diferenciales de los componentes del triángulo del fuego. La selvicultura por corte, debido a que sus posibilidades son amplísimas, puede imitar a los patrones más complejos producidos por los incendios si esto se considera conveniente y fácilmente provocar reacciones en el ecosistema similares a las causadas por incendios severos (Weatherspoon, 1996). Las cortas pueden sustituir a los incendios en la renovación de los montes y son la vía más factible para la rebajar el impacto indeseado del fuego en los bosques.

Existen bastantes casos en Europa del desplazamiento de los incendios en los bosques por la ejecución de cortas. Por ejemplo, la dinámica de los bosques nórdicos estaba dominada por la influencia del fuego hasta hace varias décadas y los incendios eran comunes, como ocurre en otros bosques boreales actualmente. El fuego resultaba una herramienta esencial en la agricultura de subsistencia tradicional, que se basaba en la tumba y quema de modo similar a como aún se usa en algunas regiones tropicales (Hamilton, 1997), y las quemas fueron un manejo selvícola de primer orden hasta que se vieron desplazadas por una mecanización intensa de las operaciones de explotación forestal (Hagner, 1995). El régimen de renovaciones de los bosques dominado por el fuego cambió hasta ser regido por las cortas (Kuusela, 1992) con un gran aprovechamiento para esas sociedades por la creación de cadenas de valor y empleo, y desaparición del problema del fuego de forma general y sin cambiar significativamente la naturaleza de sus ecosistemas.

Fotografía 9.14. Como todo ser vivo, las plantas también mueren. La forma en que terminan sus días se basa en la gestión del medio que se haga. La explotación forestal es la manera de llevar a cabo unas transiciones entre generaciones de forma controlada y provechosa para la sostenibilidad socioeconómica y, además, lograr cambios a largo plazo en las formaciones vegetales y en el problema de los incendios. Asimismo, la selvicultura permite conseguir objetivos ecológicos muy variados. Corta preparatoria de un aclareo sucesivo uniforme para garantizar la regeneración del bosque.

Coca (Segovia).

Fotografías 9.15. (arriba), **9.16.** (en medio) y **9.17.** (abajo) Los incendios de copas en pinares suelen producir la renovación de casi todo el arbolado del quemado, pudiéndose en ocasiones regenerar la masa por germinación de forma natural. Este es el efecto de perturbación profunda que imitan las cortas a hecho.

Las cortas a hecho no son el único tratamiento posible de regeneración de los bosques debido al amplio elenco de posibilidades selvícolas que existen ni el más adecuado en la mayoría de los casos. No obstante, el ejemplo de la imagen demuestra que pueden servir para sustituir al fuego en el régimen de renovaciones de los bosques.

Los bosques escandinavos son una conocida muestra de ese cambio en el régimen de renovaciones: la sustitución de los incendios por las cortas.

Arriba: Pinar de *Pinus sylvestris* con baja presencia de *Picea abies* sobre sotobosque de *Vaccinium myrtillus* en una solana. Los raigales de los pinos muestran numerosas heridas por incendios de superficie. Aquí, el fuego ha tenido bastante importancia en la dinámica del bosque.

Parque Nacional Norra Kvills (Suecia).

En medio: Rodal en el que, por ausencia de fuego o de cortas intensas, se observa la decrepitud de los ejemplares de *P. sylvestris*, que tienen heridas por fuego, y el inicio del acceso a la dominancia de *P. abies*.

Parque Nacional de Hamra (Suecia).

Abajo: Corta a hecho de un pinar de *P. sylvestris* que imita a una renovación natural de gran intensidad, como un incendio de copas o un derribo masivo. Las cortas pueden tener patrones diferentes, desde intervenciones muy ligeras hasta imitar a eventos renovadores severos. La corta mostrada permitirá la regeneración del pinar sin problemas al ser el pino silvestre en esta latitud un árbol con temperamento marcadamente intolerante a la sombra.

Hallviken (Suecia).

Hay otros ejemplos más cercanos de comarcas donde el problema de los incendios fue importante en tiempos pretéritos, pero que se ha difuminado por efecto de los intereses en la explotación maderera; por ejemplo, las Landas francesas o los bosques del Urbión.

Por otra parte, se debe hacer hincapié en que el fuego y las cortas son diferentes desde el punto de vista de las presiones selectivas. Esto ocurre principalmente porque la selvicultura por corte no pone en valor parte de los atributos vitales que hacen que algunos ecotipos e individuos estén más adaptados al fuego. Tal aspecto debe considerarse en la gestión mediante la integración de eventos renovadores diferentes y con regímenes disparejos y/o irregulares en ciertas zonas que faciliten el mantenimiento no solo de los taxones vegetales, sino también de la diversidad genética de estos de modo que fomente la capacidad de las poblaciones para adaptarse a los procesos de cambio ambiental en diferente grado y forma (Sevilla, 2008). Esto resulta relativamente sencillo en el caso del fuego, ya que los incendios son una constante en el medio ibérico y lo van a seguir siendo, aunque su preponderancia podría atenuarse mediante esta estrategia de gestión.

La activación del manejo selvícola y de la explotación maderera de los bosques podría producir unos beneficios notables en el problema de los incendios forestales generando, además, sinergias positivas en diversos aspectos:

- El manejo de espesuras lleva a la modificación del patrón de renovación de muchos montes dando en algunos casos menos oportunidades de actuación al agente fuego: la selvicultura induce cambios estructurales en los bosques dificultando la propagación en determinadas situaciones o momentos, y la falta de fuego durante cierto tiempo —distinto según la productividad del lugar y las características de los montes— provoca una disminución de la presencia de plantas pirófitas, lo que redunda asimismo en una menor susceptibilidad de la vegetación a los incendios.
- La activación de la selvicultura y el aprovechamiento maderero conllevan la creación de una red vial suficiente en los montes tanto en densidad como en esfuerzos de mantenimiento. Una malla caminera adecuada aumenta las probabilidades de extinción temprana de los incendios al facilitar el acceso terrestre y ayuda a tener más oportunidades de control de los fuegos usando los caminos y trochas como líneas de defensa en las que apoyar quemas y contrafuegos. Existe una atenuación del régimen de incendios por el desarrollo de la red para su uso en el aprovechamiento forestal.
- La integración socioeconómica entre las personas y el arbolado se ve facilitada con la selvicultura y la explotación —aspecto que ahora es inexistente en muchas regiones españolas— mediante el empleo y oportunidades de negocio en la selvicultura, en los aprovechamientos y en la industria asociada, y en la generación de rentas para la propiedad de los montes. Todo ello tiene un poder preventivo sobre los incendios formidable.
- Se mantendrían con más facilidad servicios esenciales de los bosques, como protección contra la erosión y conservación biológica, y se obtendrían productos transables de carácter orgánico y renovable (madera, biomasa, pastos, alimentos, etc.) con carácter sustitutivo de otros materiales ambientalmente "no amigables" (acero, aluminio, petróleo, abonos químicos, etc.). Estos productos crean una economía primaria y secundaria en el mundo rural y disminuyen el problema del abandono de los pueblos.
- La estrategia de gestión selvícola es probablemente bastante rentable desde el punto de vista económico si se consideran a largo plazo los costes evitados en enormes esfuerzos de extinción de incendios y en la recuperación de áreas quemadas, así como los beneficios obtenidos mediante la conservación del suelo, gestión del ciclo hídrico y del carbono y conservación biológica.

La gestión del problema de los incendios ha adolecido usualmente de una planificación racional a largo plazo. La forma de crecimiento del gasto ha sido expansiva y a demanda (Rodríguez y Silva, 2005b) sin someterse a criterios de eficiencia económica (Campos *et al.*, 2005). Si bien la evaluación económica del tema de los incendios forestales es compleja y los modelos actuales presentan limitaciones (Mavsar *et al.*, 2010), la toma de decisiones se ha hecho usualmente de forma reactiva. Ello ha beneficiado el refuerzo de la extinción frente a la planificación y gestión forestal, lo cual no ataja el problema al no enfrentarse a la raíz de la cuestión. Es necesario un replanteamiento de las políticas en pro del buen uso de los recursos públicos, que son siempre limitados y tienen un coste de oportunidad asociado (Azqueta, 2007), sobre la base de una toma de decisiones proactiva y una planificación racional a largo plazo (Tickner, 2007) que permita la búsqueda de una sostenibilidad que considere una cadena holística y sinérgica de aspectos ecológicos, sociales y económicos.

Fotografías 9.18. (izq.), **9.19.** (der. arriba) y **9.20.** (abajo). La mortandad grupal por fuego es normal en muchos bosques ibéricos, ya que el medio es relativamente inestable. Hay, no obstante, estaciones en que el agente fuego u otros renovadores masivos apenas aparecen, por lo que los cambios de las poblaciones ocurren a escala de detalle, pie a pie. La forma sencilla para imitar a esta dinámica "tranquila" que limite las grandes fluctuaciones grupales es mediante las cortas. Estas son extracciones selectivas de biomasa que ayudan a deprimir al régimen de fuegos y permiten la conducción al detalle de las dinámicas de los bosques, ya que con ellas es posible llevar a cabo una regulación pormenorizada de las relaciones de concurrencia de la población arbolada remanente.

Las quemas prescritas bajo arbolado pueden tener efectos similares en algunos casos, pero son menos selectivas, más complejas de utilizar y con mayores limitaciones, ya que dependen fuertemente de la época del año y del momento atmosférico.

Izquierda: Rodal de *Pinus pinaster* muerto en su totalidad en un incendio.

Valencia de Alcántara (Cáceres).

Derecha arriba: Rodal de *Abies alba* en el que la renovación ocurre pie a pie por senescencia o competencia en una estación relativamente estable en la que el ser humano solo hace intervenciones de "policía".

Parque Nacional de Ordesa
y Monte Perdido, Torla (Huesca).

Derecha abajo: Segunda clara en un rodal regular de *P. pinaster*. El ser humano elimina individualmente a los árboles imitando lo que ocurre en el caso anterior.

Coca (Segovia).

9.2.1. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DEL MANEJO DE ESPESURAS ARBÓREAS SOBRE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS INCENDIOS EN LOS BOSQUES

Como se ha comentado anteriormente, el alcance de la selvicultura convencional —así como el de las quemas— regulando el régimen de incendios debe ser diferente en función de las propiedades del escenario forestal: medio geoclimático, matriz paisajística, características de los montes, régimen de renovaciones global y de incendios imperante, y de los atributos, posición y extensión de los tratamientos que se apliquen (Fernandes y Botelho, 2003). A pesar de esta indefinición general, sin embargo, se observa en muchos casos que las cortas y otras intervenciones selvícolas tienen un efecto positivo atenuando el régimen de incendios en bosques y montes. Si bien actualmente no se conocen adecuadamente las relaciones de las estructuras boscosas sobre el comportamiento del fuego y la severidad de la combustión debido a la complejidad de las conexiones (Jain y Graham, 2004), los estudios realizados hasta el momento indican la importancia de los manejos selvícolas en muchos bosques para dificultar la propagación del fuego, aumentar la resistencia del arbolado y facilitar las labores de extinción, aunque estos efectos aún no se han podido valorar cuantitativamente (Finney, 2004; Graham *et al.*, 2004; Agee y Skinner, 2005; Graham *et al*., 2009; Stephens *et al*., 2009). Tratar de variar el régimen de incendios interviniendo los montes con la selvicultura no es sencillo y los efectos de hacerlo de una u otra manera pueden ser diferentes. Los posibles resultados a nivel de paisaje quedan en la frontera del conocimiento, aunque se puedan estimar ciertos resultados (véase la complejidad del asunto en una reflexión a escala de monte en la **tabla 9.3.**).

Este posible efecto de que la selvicultura rebaje la incidencia de los incendios guarda relación con las ideas de Sevilla (2008 y 2013) en el sentido de que los montes parecen funcionar en el ámbito descrito en la teoría de sistemas complejos. Desde este enfoque, la selvicultura y los aprovechamientos generan una "paradoja multiescalar": permiten mantener una relativa constancia y a los atributos esenciales del ecosistema al implementar cambios en un nivel organizativo inferior y previenen eventos de mayor intensidad. Las actividades selvícolas no suponen solo extracción de productos, sino que son la herramienta de manejo que conforma a los bosques para que cumplan con las metas que se espera de ellos.

Fotografías 9.21. (arriba) y **9.22.** (abajo). Las cortas producen una redistribución de los recursos tróficos y del espacio físico del medio que garantiza el adecuado desarrollo de los árboles remanentes adelantándose al proceso de autoaclareo y reduciendo el riesgo de daños por incendio y otras renovaciones masivas.

Arriba: Bosquete de *Pinus pinaster* clareado mediante corta. Los pies con punto verde han sido escogidos para permanecer y los tocones de los árboles ya extraídos se observan en el suelo. La zona intervenida contrasta con la situación del fondo de la imagen, que aún no ha sido tratada, con alta densidad y algunos pies mal conformados. El riesgo de daños por incendio ha disminuido en la zona clareada y los árboles seleccionados crecerán en diámetro más rápidamente y con mayores garantías mecánicas.

Ciruelos de Coca (Segovia).

Abajo: Un caso parecido al anterior. Estado de un rebollar (*Quercus pyrenaica*) tras una primera clara. En ambos casos, además de mejorar el bosque, se ha obtenido madera y leñas útiles para la sociedad y se ha generado empleo de forma sostenible y renovable.

Palacios de Sanabria (Zamora).

Tabla 9.3. Ejemplo de aproximación a la complejidad de las relaciones entre cortas de arbolado y régimen de incendios a escala de monte. Observación de 2 modelos contrapuestos de manejo del arbolado.

Tipo de corta	Cortas a hecho (≈ desbroces extensos en montes desarbolados).	Cortas irregulares pie a pie.
Dinámica ecológica que imita el tratamiento selvícola	Gran evento renovador: incendio; derribos masivos de arbolado por vientos, nevadas o aludes; corrimientos de tierra; gran mortandad por plagas o dolencias.	Ajuste de la densidad del rodal por competencia: autoaclareo.
Vegetación dominante sobre la que se suele aplicar el método de regeneración	Arbolado intolerante a la concurrencia. Con características pioneras y frugales capaces de medrar en ambientes despejados. Algunas especies de tendencias pirófitas.	Arbolado tolerante a la concurrencia. Con características competidoras y bien adaptadas a rodales ambientalmente evolucionados. Especies sensibles al fuego.
Forma principal de masa resultante tras corta	De coetánea a irregular según los ritmos de rearbolado. Normalmente se buscan regenerados regulares.	Irregular pie a pie
Dinámica espacial a nivel de monte	Alternancia de rodales con desarrollo vegetal contrastado: de zonas casi rasas en regeneración (con presencia de restos y herbáceas) hasta rodales de arbolado adulto e inclusive senescente, pasando por rodales juveniles con densidades trabadas de gran susceptibilidad al fuego.	Masas estructuralmente amenas a nivel de grupo o golpe por la mezcla de clases de edad, pero masas homogéneas a nivel de monte.
Comportamiento frente al fuego	Paisaje teselado con comportamientos contrastados del fuego: zonas donde puede haber fuegos intensos (montes bravos y latizales) y otras de menor intensidad (regenerados incipientes y fustales). La estructura dificulta el progreso del fuego hasta cierto umbral y da oportunidades a la extinción. Las especies dominantes son más susceptibles al fuego.	Masa homogénea a escala de incendio. La estructura irregular facilita los entorchamientos y fuegos de copas en toda la superficie. Aunque esto último depende de la densidad: por ejemplo esta estructura se usa en pinares de *Pinus nigra* o *P. pinea* con espesuras defectivas que dificultan las propagaciones de copas. La menor inclinación a quemarse de las especies tolerantes típicas dificulta la propagación donde dominan.
Severidad de los fuegos	Quedan teselas con baja afección o no quemadas frente a otras afectadas severamente. Suele haber fuentes de semillas.	Daños homogéneos en todo el monte. Si la combustión ha sido fuerte puede haber problemas de regeneración. Depende de la autoecología de las especies.

La selvicultura debe ser flexible e imaginativa, y es posible hacer cortas que sigan patrones contrastados y logren manejos diversos y complejos (véase, por ejemplo, Vericat *et al.*, 2012). Estructuralmente, el sentido y alcance de los efectos de las cortas sobre el régimen de incendios puede ser diferente según el modo, peso y extensión de la intervención, el tipo de bosque y la gestión de la vegetación cortada que se haga, así como el patrón espacial que esta tenga en el paisaje. Un planteamiento adecuado de la selvicultura podría lograr cierto efecto preventivo sobre los incendios que puede llegar a ser notable junto a la red viaria necesaria y la integración socioeconómica del bosque.

En sí mismas, las cortas suelen variar temporalmente la susceptibilidad de la vegetación al fuego por su influencia sobre el combustible, el microclima y las sinergias entre estos dos aspectos (Weatherspoon, 1996) de forma contrastada entre el estrato superficial y el dosel arbóreo.

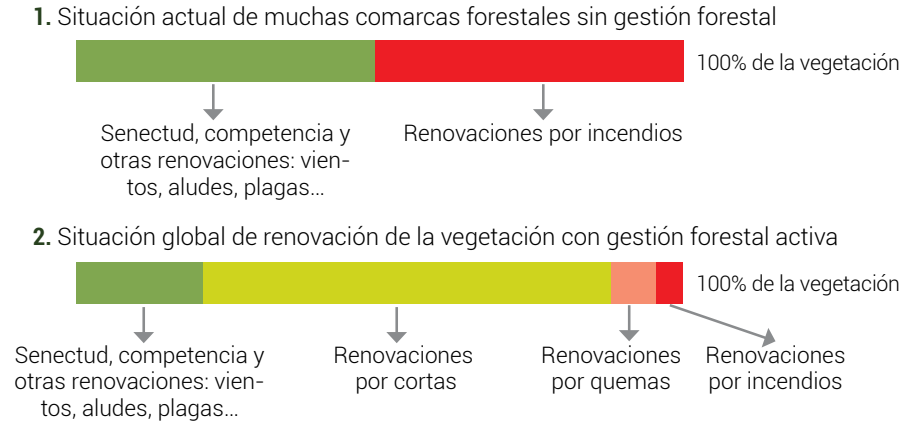


Figura 9.1. Conceptualización de un cambio del régimen de renovación global por preponderancia de la selvicultura en el manejo de los bosques. Los vegetales tienen un ciclo vital largo en algunos casos a escala humana, como los de la mayoría de los árboles. Cómo mueren las plantas define en buena medida la dinámica del monte. El problema de los incendios forestales está generado en parte porque no hay manejo forestal, de modo que existe campo abierto para que otros agentes renovadores actúen. El fuego es preponderante en la península ibérica dadas las características del medio y sus montes, y este problema se puede resolver en parte mediante el manejo de la vegetación; es decir, siendo proactivos con los montes antes del hipotético fuego y no reactivos actuando después del incendio.

Cortas y quemas: renovaciones que permiten en mayor o menor medida la conducción de las dinámicas y los cambios estructurales a largo plazo.

Incendios y otras renovaciones que no permiten la conducción de las dinámicas arbóreas

Fotografía 9.23. La selvicultura puede hacer a los bosques más resistentes al fuego debido a que influye en el desarrollo de los árboles que integrarán el bosque en la etapa adulta. Suele buscar que estos tengan un desarrollo vigoroso y una estructura más cercana a su genotipo, lo que les hace arquitectónicamente más fuertes frente al fuego.
En la imagen se observa un fustal de *Pinus pinea* incendiado hace unos años en el que hubo un buen número de árboles supervivientes. La regulación de la densidad y las podas ayudaron a conseguirlo.
Aldeamayor de San Martín (Valladolid).

El balance de las cortas sobre la susceptibilidad a los incendios es confuso, ya que hay efectos contrapuestos de distinta duración e intensidad que hacen que el resultado sea diferente según las características del monte y de la intervención. No existen patrones generales del efecto estructural de las cortas sobre la susceptibilidad, aunque se pueden encontrar tendencias para cada área, tipo de monte y características de la intervención selvícola.

La selvicultura por corte presenta claras ventajas sobre las quemas en cuanto a la disminución de la susceptibilidad de los bosques, como:

- Al ser un proceso de renovación puntual de los árboles, las cortas permiten el control pormenorizado de la sucesión vegetal. Esta capacidad de la selvicultura por corte puede servir para facilitar el avance de las especies tolerantes bajo las colonizadoras si se pretende esto y en las estaciones en que sea posible. Como ya se ha repetido, los bosques de especies tolerantes tienen menor susceptibilidad al incendio hasta determinado umbral meteorológico, por lo que la potenciación de esta vegetación en los lugares que sea posible ayuda a atenuar el problema del fuego a largo plazo.

- La selvicultura por corte no consume el suelo como hace el fuego, de forma que las sucesiones vegetales que tienden hacia una mayor nemoralidad se dan con mayor facilidad en las cortas que con quemas. Además, el extrañamiento del fuego de los montes de determinadas regiones durante cierto tiempo facilita la depresión poblacional de las plantas pirófitas.
- La regulación de la espesura por cortas se hace pie a pie, lo que permite seleccionar a los árboles remanentes y su espaciamiento. Las claras bien ejecutadas producen generalmente una "maduración" más rápida de los árboles, que crecen más en grosor al disponer de espacio y recursos adecuados al medrar en densidades reguladas que equilibran los efectos de la luz y de la competencia, lo que se refleja en un aumento de la resistencia del arbolado al fuego. Por otra parte, las claras suaves intervienen de forma positiva sobre el sotobosque, ya que la modificación del dosel dominante provoca cambios sobre la vegetación superficial generalmente disminuyendo su susceptibilidad a medio plazo dada la aceleración del desarrollo arbóreo en grosor y el sombreo asociado.

Probablemente, el uso generalizado de las cortas y otras técnicas selvícolas puede inducir una mejora estructural y en la composición específica de muchos bosques y montes ibéricos, que además ganarían robustez frente a los incendios (Soriano, 2007). Ello se debe a que buena parte de los bosques españoles son relativamente jóvenes, provenientes de los esfuerzos repobladores del siglo XX o de regeneración natural surgidos desde el fin del sistema agrario tradicional y se hallan en la fase de expulsión del sotobosque intolerante. Se trata de una fase juvenil del bosque, normalmente de gran densidad de pies, en la que el sotobosque heliófilo está siendo eliminado por sombreo, pero son bosques que aún tienen elevada susceptibilidad al incendio.

Por último, cabe destacar que la organización espacial de los rodales que suelen ser intervenidos periódicamente tiene mucha relevancia en la posible propagación de un hipotético incendio. La disposición de los mismos depende, además del momento en que el fuego ocurra respecto al ciclo de gestión, de la geografía física y legal del predio, de las teselas de vegetación que componen el monte y de cuáles sean las decisiones de planificación forestal finales, que son multifuncionales y que suelen tratar de aunar tal número de criterios que desborda al mero problema del incendio.

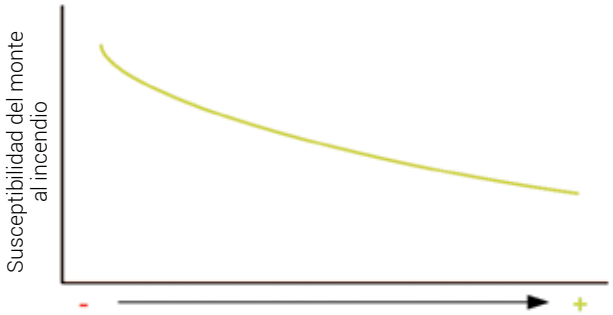


Figura 9.2. Relación conceptual entre la susceptibilidad de la vegetación al incendio y el manejo forestal. Si la selvicultura se activa, ocupa más espacio en el conjunto del régimen global de renovación de los montes y hay un manejo de la estructura, extracción de combustibles, mantenimiento de la red viaria e integración socioeconómica del bosque. Sin embargo, la realidad no es tan simple debido a que existen sinergias y retroalimentaciones en las cuales —mediante un tratamiento concreto— se puede aumentar o rebajar la susceptibilidad al fuego a corto y medio plazo. La tendencia que se observa a escalas amplias y periodos dilatados en los montes es la representada.
El patrón entre severidad por fuego y gestión es similar a esta simplificación. Si hay manejo de espesuras, el arbolado engrosa más rápidamente y más sano, de forma que los rodales arbolados adultos están en mejor situación para sobrevivir a un incendio. La resistencia al fuego de los bosques mejora con la gestión en el nivel de monte o macizo forestal.

Fotografía 9.24. Las cortas también sirven para dirigir a la sucesión vegetal, y esto tiene efectos en la susceptibilidad al fuego a largo plazo.
En la imagen se observa el resultado de una corta selectiva en una repoblación de *Pinus sylvestris* con un sotobosque compuesto por regenerado de *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Sorbus aria*, *Sorbus aucuparia* y *Fraxinus excelsior*. El tipo de corta, si se sigue repitiendo, tenderá a crear una masa irregular pie a pie. La intervención ha dejado cierta cantidad de ramaje en descomposición, que puede aumentar el riesgo de incendio a corto plazo. Sin embargo, también es una corta que ha abierto poco el dosel, por lo que permitirá a las frondosas ir ganando espacio y conquistar la dominancia a medio plazo. Los bosques de frondosas arden con mayor dificultad que los pinares en esta estación, pero no hay que olvidar que también son más frágiles al efecto del fuego.
Las Machorras (Burgos).

Fotografías 9.25. (arriba) y **9.26.** (abajo). La gestión selvícola es la manera de conducir a la dinámica cíclica de rodales arbolados y permitir tener poblaciones estructural y específicamente diversas que formen rodales contrastados que hacen al conjunto del bosque más tolerante al suceso de fuego y que dan mayores oportunidades en la extinción de incendios.

Arriba: Fustal de *Pinus pinaster* en el inicio de la fase de relevo. Los árboles son bastante tolerantes al fuego en esta situación, como muestran las heridas de los raigales de los pies. Además, la extinción bajo estas cubiertas es generalmente sencilla. Para alcanzar esta fase de desarrollo, antes ha de haber habido regulación de espesuras durante la juventud de la población.

Almedijar (Castellón/Castelló).

Abajo: Latizal enmarañado de *P. pinaster* proveniente de regeneración natural. Rodal cercano al de la imagen anterior. Presenta una situación peligrosa respecto al suceso fuego. Los clareos y claras aquí ayudarían a disminuir el riesgo y, sobre todo, a acortar los momentos en que el rodal pueda llegar a estructuras diferentes y de menor probabilidad de cambio brusco por fuego.

Alcudia de Veo (Castellón/Castelló).

Fotografía 9.27. Los efectos de los tratamientos selvícolas a veces aumentan la susceptibilidad al fuego, aunque no hay que olvidar que la vegetación es dinámica y que estos efectos son siempre temporales. Los clareos constituyen el tratamiento paradigmático de este hecho.

Rodal de *Pinus pinaster* en el que se realizó un clareo dos años atrás. Más de la mitad de los pimpollos fueron cortados para facilitar espacio al arbolado remanente. La intensidad de la intervención encuadra con el temperamento de la especie dominante y también está justificada desde el punto de vista de la economía del manejo.

En el lugar, la susceptibilidad al incendio y la severidad en caso de producirse ha aumentado fuertemente. Esto será así por unos años, hasta que los restos de los arbolillos se descompongan y el dosel se cierre de nuevo.

Actualmente se realizan algunos clareos mecanizados con saca de los árboles para producción de astilla, por ejemplo en plantíos de *Pinus pinea*, que eliminan el problema de los restos en este tipo de intervención selvícola.

Cantabrana (Burgos).

Fotografías 9.28. (arriba) y **9.29.** (izq.). La carga de combustible determina en buena medida la intensidad y severidad del fuego. El abandono del manejo selvícola provoca la concentración de grandes cantidades de biomasa en los bosques, lo que facilita que los incendios sean intensos y severos. Es interesante y necesario tener algunas partes de los montes sin gestión activa, pero aplicar esta política en áreas amplias aumenta el riesgo de eventos catastróficos y cambios bruscos e indeseados en los ecosistemas.

Arriba: Bosquete de juveniles de *Pinus pinaster* en que se está dando un proceso de autoaclareo aumentando la necromasa y, por tanto, el combustible disponible.

Nogarejas (León).

Izquierda: Cuartel de no intervención en pinar de *P. sylvestris* acompañado de *P. uncinata* con fuerte acumulación de combustibles pesados.

Vinuesa (Soria).

Fotografías 9.30. (arriba) y **9.31.** (abajo). Un enfoque en un manejo proactivo es fundamental para tener éxito en la gestión de sistemas complejos. Reque *et al.* (2013) muestran el planteamiento de la gestión forestal suiza en masas con carácter protector, lo que contrasta con los paradigmas españoles. Debido al riesgo de aludes y desprendimientos, allí hay bastantes bosques protectores. La gestión es activa, se hace manejo de espesuras y saca comercial de madera para lograr estructuras selvícolas que garanticen la continuidad del bosque y sus servicios: se hacen cambios a pequeña escala para que el bosque permanezca. Schmidt (2015) habla del caso austriaco y muestra que la gestión selvícola de los bosques protectores es económicamente viable al tener en cuenta otros gastos evitados y porque produce utilidades que no se generarían de otra forma. Como reflexionan Reque *et al.* (2013), la categorización de un monte como protector en España es un eufemismo del abandono de la gestión. Los montes son sistemas dinámicos y complejos, y sujetos por tanto a una dinámica caótica en la que hay que participar proactivamente para mantener o mejorar los caracteres del ecosistema y para alcanzar los objetivos de gestión que se busquen. El enfoque alpino es más avanzado y cercano a la realidad: reconoce los valores que proteger y los procesos implicados, y actúa proactivamente para lograr los hitos de gestión. La actuación española típica es reactiva: los procesos y la dinámica de los bosques se abandonan; por tanto, la estrategia no es capaz de salvaguardar a los valores objetivo, luego tratan de recuperarse una vez perdidos. Un manejo proactivo de los montes españoles —sobre todo, para disminuir su susceptibilidad al fuego—, en la protección hidrológica y en la conservación de especies sería un avance de alcance en el planteamiento de la gestión.

Arriba: Vista de los bosques que cubren la ladera de la montaña sobre una población. Las adecuadas vitalidad y estructura del bosque ayudan a evitar que haya procesos geomorfológicos o nivales que puedan afectar al área urbana.

Ringgenberg (Distrito administrativo de Interlaken-Oberhasli, Suiza).

Abajo: *Pinus halepensis* caídos por falta de vigor vegetativo, y quizá también como efecto de alguna nevada, que han abierto un claro en la masa. Son de una repoblación para la corrección de la erosión de las laderas del tramo final del río Voltoya hecha con gran esfuerzo en la década de 1950. La repoblación en sí fue un éxito, pero los árboles están llegando al final de su vida en algunos lugares. El rodal ha tenido espesuras excesivas para que cumpliera su función protectora del suelo (véase la proporción de copa seca en la foto), además de que es una especie que está en su límite de su habitación por frío, todo lo cual dificulta su regeneración. En un sitio así, un manejo activo —como la siembra o plantación bajo cubierta de *Quercus faginea, Q. ilex, Pinus pinea* y *Juniperus thurifera* y cierto manejo de espesuras— alargaría la vida del esfuerzo repoblador del siglo XX durante cientos de años.

Coca (Segovia).

9.2.2. LA SINERGIA DE LA SELVICULTURA FRENTE A LOS INCENDIOS: EL EFECTO PREVENTIVO DE LOS ENTRAMADOS SOCIECONÓMICOS FORESTALES

El régimen de incendios es un sistema complejo en el que las variaciones de sus reguladores no producen cambios lineales en el patrón de suceso, sino que alteraciones ligeras pueden suponer importantes modificaciones en la distribución de los mismos. Predecir los cambios que se producirán en un régimen de incendios es difícil y venturoso, ya que a veces ocurren situaciones insospechadas entre los influyentes. A pesar de la incertidumbre, no obstante, existen esquemas de cambio medianamente reconocibles.

Si bien los bosques gestionados presentan limitaciones físicas frente al desarrollo de algunos incendios debido a la influencia del clima y la topografía, la selvicultura y la explotación tienen otro gran efecto sobre el régimen de incendios: la desincentivación del uso del fuego por parte de la población al ser un riesgo que amenaza a una fuente directa de riqueza y bienestar.

El comportamiento de las sociedades humanas es una variable ecológica de enorme trascendencia. No hay que olvidar que parte del problema español de los incendios es que la población rural de algunas comarcas continúa teniendo poco aprecio por los bosques (Ezquerra *et al*., 2011) al no existir casi ninguna relación socioeconómica con ellos. Son unos paisajes en conflicto (García, 2011b; Guerra, 2011) por el choque entre una realidad cada vez más forestal, pero desarticulada, y la persistencia de una mentalidad agropecuaria tradicional y esencialmente arboricida (Blanco, 2003; Muñoz, 2012) en un mundo rural quebrado y desorientado donde los incendios son un signo visible de la pugna en ciertas áreas. Otra parte de los problemas de los incendios tiene su origen en el desprestigio de la gestión forestal en algunas regiones —sobre todo, las de mayor carácter urbano y posmoderno— motivada por una confrontación maniquea entre los conceptos de gestión forestal y conservación. En muchas ocasiones, dicho conflicto fuerza el abandono —mejor dicho, el inicio *sine die*— de la gestión forestal, lo que colabora, entre otros aspectos, en crear unas situaciones que favorecen el suceso de incendios forestales.

Uno de los factores que más sutilmente logran cambiar la incidencia de los incendios en una región es la vinculación socioeconómica de la población con el arbolado. Si los árboles son un recurso directo apreciado por los

Fotografía 9.32. El aprovechamiento forestal es parte del régimen global de renovaciones y genera sinergias sociales, económicas y ambientales positivas que llevan a un mutualismo entre la gente y los bosques. Su potenciación afecta al peso de otros agentes que provocan perturbaciones en los montes y, por tanto, el régimen de incendios varía; normalmente, deprimiéndolo.
Tractor apilando ramaje de encina procedente de un clareo en una plantación trufera añeja para su astillado. El tratamiento selvícola busca naturalizar el aspecto de la masa y dar espacio para el desarrollo a las encinas remanentes. La mecanización de las tareas y el desarrollo de cierto mercado dendroenergético permiten valorizar estos restos, que de otra manera se hubieran eliminado por quema en montones en el propio monte. De esta forma, se ha producido empleo, un beneficio económico local asociado al monte, energía renovable con balance de emisión de CO_2 nulo a medio plazo y que tiene efecto de sustitución sobre el petróleo u otras fuentes no sostenibles y un bosque se ha mejorado. El principal efecto negativo de la intervención es que se están extrayendo ramillos y hojas verdes, lo que supone cierta descapitalización en nutrientes del ecosistema.
Villaciervos (Soria).

pobladores del medio, el interés por no dañar a los bosques aumenta significativamente y la incidencia de los incendios tiende a caer (Torre, 2009); a veces, de forma drástica. El alcance del estado de *consolidación de los bosques* en regiones europeas desarrolladas está asociado a una baja incidencia de los incendios, si bien es cierto que estos medios son más húmedos que los mediterráneos españoles (Sevilla, 2008).

Fotografía 9.33. Como ya se ha repetido, existe una oposición ancestral entre actividad agropecuaria y bosque. No obstante, esa realidad se puede cambiar en medios europeos, ya que el proceso de uso del territorio es ahora beneficioso para la expansión de las forestas. Además, los campos y los montes son partes esenciales de la economía primaria. Se deben y se pueden buscar encuentros en la gestión para compatibilizar sus usos.
Pradera adehesada para el ganado vacuno, al fondo se ven los cerros quemados.
Las Machorras (Burgos).

Fotografía 9.34. La ganadería, sobre todo las razas autóctonas, son parte del patrimonio natural ibérico y han estado desde la revolución neolítica en los montes. Y los herbívoros, tanto domésticos como los silvestres, son otra herramienta esencial de manejo de la vegetación, enfoque que no debe olvidarse. Además la ganadería extensiva provee de alimentos de calidad y es un recurso indispensable para muchas economías rurales por lo que debe tratar de integrarse en la gestión.
Un vaquero y su vaca.
Arani (Departamento de Cochabamba, Bolivia).

Tal es la influencia de este incentivo que incluso se observa en algunas áreas forestales que tienen gran superficie boscosa con una alta susceptibilidad al fuego —en las que se ha logrado llegar a cierto desarrollo de un entramado socioeconómico forestal— que la incidencia de los incendios es muy baja. En estas circunstancias, el peso de los prendidos antrópicos es mínimo y la respuesta popular contundente ante cualquier conato (Sevilla y Torre, 2013). Se produce un cambio en el régimen de incendios porque hay una depresión fuerte de las igniciones, que son un regulador clave del mismo. Se puede decir que, en estos sitios, se llega a crear un vínculo mutualista entre la gente y los bosques.

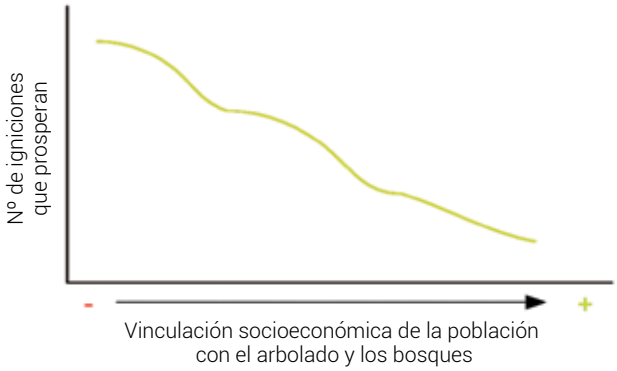


Figura 9.3. Relación conceptual entre el número de igniciones que prosperan y la vinculación socioeconómica de la población con los bosques. Se observa que el cuidado de los mismos es mayor cuanto más importantes son los árboles para el modo de vida de la gente. Esta integración es más intensa en las sociedades rurales que viven del bosque —que intervienen en su dinámica— que en las urbanas posmodernas, que pueden vivir en matrices suburbanas en los montes, pero no interactúan con los ecosistemas, y su medio de vida está desligado de la vegetación y del territorio en que habitan. Alcanzar situaciones de desarrollo forestal y lograr que haya gente que viva de los árboles tiene un efecto preventivo sobre los incendios fuerte.

Este es otro gran atributo de la selvicultura por corte para disminuir la frecuencia de incendios: está generalmente asociada a extracción maderera o biomásica, o a modificaciones de los bosques con las que obtener otras rentas derivadas de frutos u otros productos, lo que tiene una repercusión social y económica beneficiosa para la prevención de incendios. La generación de rentas, prosperidad y empleo rurales basados en el bosque tiene la inigualable ventaja de que conlleva armar sistemas socioeconómicos que generan cambios psicológicos y en el comportamiento social de la población, con un efecto preventivo de los incendios sin parangón en algunos casos. Los beneficios directos del bosque bajo control

Fotografía 9.35. A pesar de que se haga una gestión adecuada de los montes, quedará hueco para los incendios. Siempre habrá igniciones y estructuras forestales con susceptibilidad al fuego.
Fustal bajo de *Quercus pyrenaica* en el que se ha hecho al menos una clara bastante intensa. La caída de la densidad arbórea por la intervención junto a la magra sombra del rebollo han facilitado el desarrollo de un homogéneo sotobosque de *Cytisus scoparius*. El crecimiento del rebollo y el sombreo resultante tardarán aún bastantes años en deprimir a la escoba. Este sotobosque hace que el bosque sea muy susceptible a sufrir incendios durante unos años.
Por otra parte, las claras suaves en estos medios húmedos suelen permitir regular la densidad del arbolado adecuadamente y mantener el sombreo suficiente para deprimir y eliminar al sotobosque heliófilo. No solo se trata de aplicar selvicultura, sino de hacerlo de una manera determinada para conseguir los objetivos perseguidos; en este caso, han podido consistir en maximizar la extracción de leñas vecinales en un tratamiento.
Cistierna (León).

facultativo se han mostrado como una herramienta eficaz en el adecuado manejo y conservación de los bosques, ya que el hecho de que haya personas cuya prosperidad está ligada directamente a ellos hace que pongan celo en su cuidado. Está ampliamente reconocido que el aumento de la explotación y producción de los bosques resulta en una disminución de los incendios (Sebastián *et al.*, 2011), aunque lamentablemente no ha sido una estrategia de prevención seguida en España durante las últimas décadas (véase, por ejemplo, Plan Forestal Español; MMA, 2002).

También hay que tener en cuenta que no todos los modelos socioeconómicos forestales poseen la misma capacidad disuasoria y que existen otras variables que pueden alterar a los resultados esperados. Por ejemplo, Galicia es la región española en la que hay más actividad maderera, pero el problema de los incendios sigue siendo grave en buena medida debido a otros factores estructurales, demográficos y culturales. En Portugal ocurre algo parecido, la explotación es elevada, pero el problema con los incendios forestales es severo. Los mejores sistemas de desarrollo forestal son aquellos que facilitan la participación efectiva y reparten más los beneficios directos entre los propietarios de las tierras y la gente del medio, y tienen unas normas congruentes de asunción de los beneficios y de los costes de las externalidades (Ostrom, 1997).

En contraposición, los beneficios indirectos de los montes presentan una importancia diluida para los habitantes del medio rural como entes difusos que son. Así, los vecinos de los pueblos pueden acudir en tromba para atajar un incendio que pone en jaque empleos y rentas, pero no suelen tener la misma motivación si solo se trata de defender a la función hidrológica del monte o a la diversidad biológica.

Es interesante señalar que muchos montes son propiedad pública o de un colectivo (municipales, juntas o agrupaciones vecinales) y los beneficios de la producción y el aprovechamiento maderero repercuten de una forma directa o indirecta en todos los integrantes de la propiedad, que suelen ser habitantes del medio. Esto provoca un efecto socioeconómico fundamental para la apreciación de los bosques sobre el conjunto de la población rural y hace importante a la función productiva de los ecosistemas como herramienta de disuasión del uso del fuego y para el cuidado del monte.

9.2.2.1. Algunos ejemplos de atenuación del régimen de incendios

Los cambios en el régimen de incendios por la creación de una economía forestal, preferentemente vinculada al arbolado, se han logrado en España en algunas pocas comarcas, pero aun así hay ejemplos patentes de la importancia preventiva de los intereses socioeconómicos sobre los incendios. En este sentido, es conocido el texto de Breñosa (1869) que describe una situación de gran conflictividad de incendios en los montes de la Ciudad y Tierra de Soria de su tiempo que contrasta con la realidad presente, en la que son una referencia positiva ineludible en el ámbito español (véase Fernández, 1999). El paso de una economía pastoril a otra maderera fue la causa de un cambio tan radical. Sánchez (2005), por su parte, muestra sucintamente la enorme y rápida progresión del arbolado en la Sierra del Teleno desde el inicio de la explotación resinera en la comarca a partir del ocaso del siglo XIX, cuando los bosques estaban limitados por el uso ganadero del territorio, hasta un siglo después. En su exposición, destaca el veloz cambio de enfoque en el pensamiento vecinal hacia lo forestal en aquel momento, motivado por el empleo y la prosperidad asociada. A su vez, Rey y Ruiz (2005) describen el aumento de los incendios en esa misma sierra en las décadas de 1980 y 1990 debido al fin de la resinación y al vacío generado por la falta de otro sistema de gestión exitoso ligado al arbolado posteriormente. Este patrón —el colapso de los sistemas socioeconómicos resineros y el aumento enorme del problema de los incendios en pinares— se ha producido en España, Grecia y Portugal entre las décadas de 1970 y 1990 (Xanthopoulus, 2008; Williams *et al.*, 2011; Cortés, 2013; Picardo y Pinillos, 2013).

Azpitarte (2013) señala el caso del País Vasco, donde los árboles cubren el 55 % de la superficie debido a la pujanza del madereo e industrialización de *Pinus radiata* durante los últimos cien años, lo que también ha arrastrado a los bosques autóctonos a doblar su cabida en ese periodo. Todo ello está relacionado con un cambio social profundo debido a la fuerte industrialización del área y al abandono temprano de muchas prácticas agropecuarias de subsistencia que necesitaban del fuego. Cambios positivos similares se están dando en la actualidad con menor incidencia de los incendios en otras zonas tradicionalmente bastante castigadas, como la provincia de Lugo (Torre, 2009) o la de Zamora, donde los incendios golpean menos a las repoblaciones desde que se han puesto en valor muchas de ellas mediante el inicio de las cortas de mejora.

Fotografía 9.36. Los incendios son raros y combatidos con denuedo por la población local en los lugares donde hay una socioeconomía forestal que llega a parte de la población y/o existe una vinculación cultural del manejo del bosque.
Los pinares del Urbión son un ejemplo clásico de la importancia de los intereses madereros, cinegéticos, ganaderos, micológicos y turísticos frente al fuego, aunque esto no siempre fue así.

Vista de Covaleda y sus bosques (Soria).

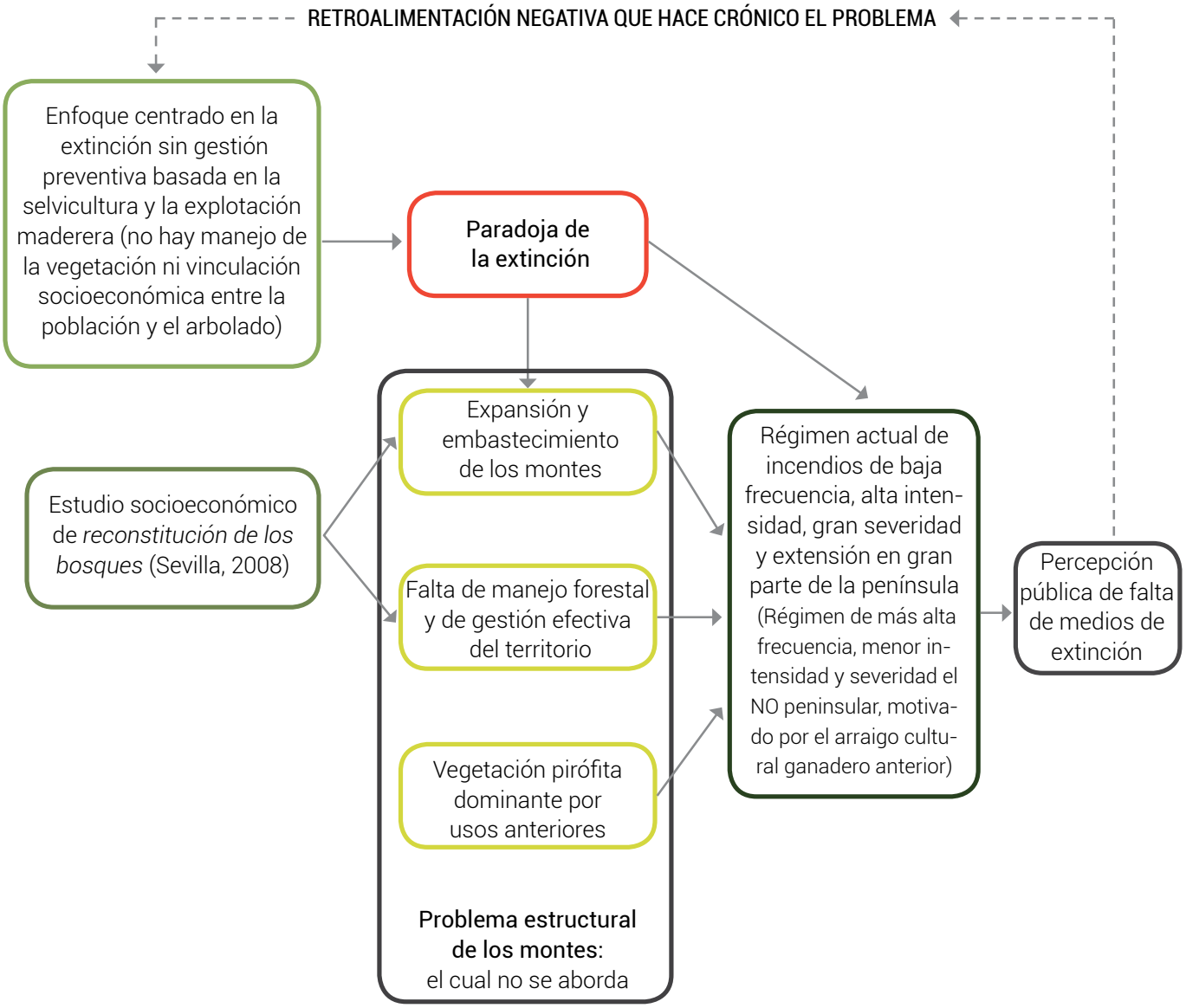


Figura 9.4. El abordaje del problema de los incendios forestales en España es casi siempre reactivo. Se sigue insistiendo en la extinción cuando el problema básico es estructural y socioeconómico. Es un modelo en el que existe una retroalimentación que hace que se profundice en esta estrategia.

9.2.2.2. Algunas sinergias ambientales y sociales positivas

No hay que olvidar que los problemas ambientales son complejos y las acciones que se realizan sobre una parte del sistema repercuten sinérgicamente en el conjunto. La huella ecológica española es de casi tres veces la capacidad del país (MARM, 2007). Aparte de racionalizar el consumo y otras medidas en pro de la eficiencia, se debe potenciar prioritariamente el aprovechamiento racional de los recursos renovables propios con el objeto de reducir la factura ambiental. Asimismo, el alto desempleo es una tragedia social crónica en España, y esta estrategia puede ayudar a largo plazo a crear una cantidad apreciable de trabajo productivo y sostenible en determinadas comarcas con recursos forestales. Buena parte de los montes españoles están subutilizados, y se les puede sacar más partido desde el punto de vista socioeconómico y seguir manteniendo los procesos, funciones y estructuras de la naturaleza ayudando a aliviar los problemas ambientales globales y los sociales, lo cual no es solo un objetivo práctico, sino también una obligación moral.

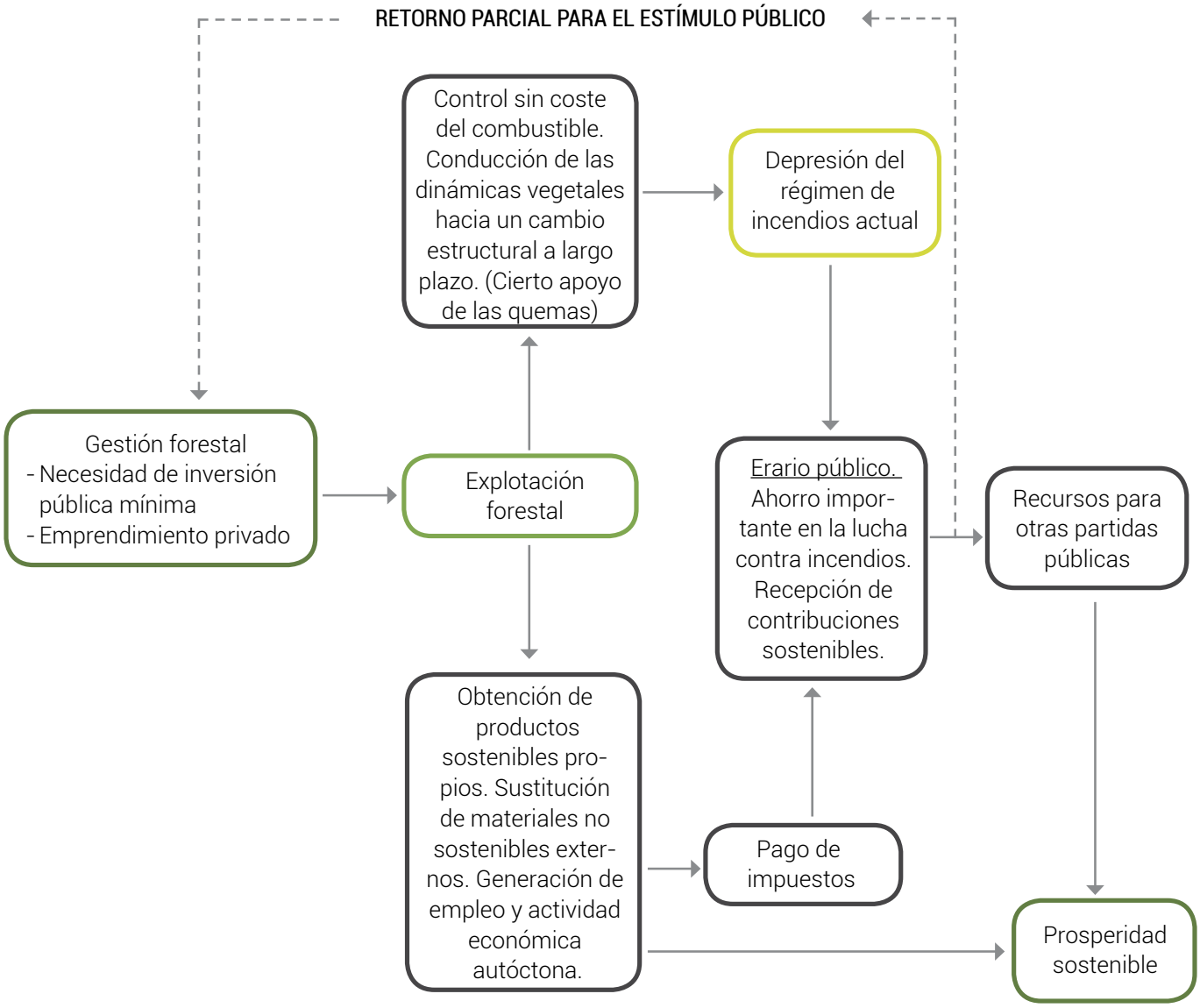


Figura 9.5. La opción de desarrollo forestal tiene la ventaja de rebajar los costes de manejo de la vegetación y disminuir la incidencia de incendios. Además, genera unas externalidades sociales y económicas significativas.

Probablemente, la mejor solución en medios europeos para afrontar el problema de los incendios forestales en la actualidad sea la opción del desarrollo socioeconómico forestal, ya que, siguiendo a Tickner (2007), *es una estrategia holística, integrada y diseñada para prevenir el problema desde sus fuentes, evita el traslado de riesgos, establece metas ambientales de largo alcance y estimula la innovación en formas más seguras y limpias de producción y en la realización de actividades*. El problema del fuego no es tanto ecológico como de organización territorial; los aspectos sociales y económicos son quizá los más importantes. Para tratar de configurar regímenes de incendios admisibles, se necesita atender a las vertientes ecológicas, sociales y económicas del problema dentro de un sistema socio-ecológico complejo.

Fotografías 9.37. (arriba) y **9.38.** (izq.). Resulta necesario tratar de abordar reformas estructurales de la vegetación y del comportamiento social con el fin de limitar el problema del fuego en la península ibérica a largo plazo.

Arriba: Todo el sector del noroeste peninsular, el más problemático respecto al número de incendios, tiene condiciones de habitación para sostener a frondosos bosques de especies tolerantes que sustituyan a las extensas superficies de matorral pirófito actual, dominantes gracias a la anterior cultura pastoril. Para llegar a ello, hay que tomar medidas de gestión a largo plazo que permitan la instalación de esa vegetación.
Incendio en un monte de matorral de *Erica* y *Ulex*.
Pentes (Orense/Ourense).

Izquierda: Pinares de los arenales de la meseta norte: vegetación relativamente pirofita bajo unas condiciones de estío de altas temperaturas y sequedad, y con un régimen de igniciones por rayo activo; que raramente sufren incendios de consideración. La vinculación socioeconómica de la población rural con los bosques tiene una capacidad preventiva formidable; es un modelo que se debe extender. No obstante, hay que señalar que la rusticidad extrema de la estación en esta comarca facilita la laxitud del sotobosque, lo que simplifica la extinción de los incendios (Tapias y Gil, 2000). *Pinus pinaster* preparados para iniciar su segunda campaña de explotación resinera.
Bernardos (Segovia).

Fotografías 9.39. (arriba) y **9.40.** (abajo). Ampliando la visión más allá del ámbito español, se observa otra motivación importante para la explotación de nuestros montes y bosques: una gestión facultativa activa que incluya el aprovechamiento facilita el mantenimiento de ecosistemas distantes al rebajar la presión productiva en esos lugares. Esto tiene mayor importancia en regiones donde existe peligro de esquilmación de los recursos dado que hay sistemas de control laxos y fuerzas socioeconómicas que presionan fuertemente contra el bosque; normalmente, buscando cambios hacia desarrollos agropecuarios (*véanse, por ejemplo, fotografías 1.6., 1.14. o 7.15.*). Todo esto suele ocurrir en contextos de problemas sociales, económicos y/o políticos importantes y complejos.
Por otra parte, no hay que perder de vista que el aprovechamiento de estos bosques —aunque se haga con fuertes deficiencias— es esencial como medio de vida para los habitantes de esos lugares. Su estrangulación comercial no resulta socialmente deseable, sino la racionalización de la explotación.

Arriba: Plantación de *Hevea brasiliensis* para la obtención de látex con el objetivo de producir neumáticos para automoción. Es una de las explotaciones más grandes y antiguas del mundo que ha suministrado materia prima a las economías avanzadas durante décadas. El marco actual del comercio mundial hace que las interdependencias entre lugares distantes sean fuertes.
Harbel (Condado de Margibi, Liberia).

Abajo: Carga de un tronco desemboscado de okume (*Aucoumea klaineana*) para su transporte.
Los problemas de aprovechamiento en cada lugar son particulares y normalmente complejos. Por ejemplo, en Guinea Ecuatorial hay actualmente una presión maderera mediana de en torno a medio millón de m^3/año (Ministerio de Agricultura y Bosques y World Resources Institute, 2013). La explotación se hace con normas selvícolas y legales bienintencionadas, pero simples; sobre todo, observando la complejidad de las pluvisilvas ecuatoriales. En general, los agentes del sector cumplen las normas de aprovechamiento por su sencillez, la vigilancia de la Administración y la inutilidad de la madera fina en ese mercado. Pocos de ellos, sin embargo, consideran el largo plazo que la gestión de los bosques necesita, excepto la Administración Pública del ramo. Esto se debe a las incertidumbres de todo tipo presentes en el contexto de trabajo y a las inercias anteriores. El enfoque está puesto en la explotación más que en la gestión, lo que paradójicamente impacta negativamente sobre la calidad de los productos obtenidos por la falta de una selvicultura que busque troncos con calidades tecnológicas elevadas y potencie a las especies más valiosas. Por otra parte, la ausencia de presiones agropecuarias intensas, hasta el momento, hace que casi todo el país permanezca en forma de bosque.
Akora (Provincia Litoral, Guinea Ecuatorial).

9.2.3. LIMITACIONES DEL ENFOQUE PROPUESTO

El objetivo principal de la selvicultura (que puede incluir quemas) frente a los incendios es conseguir rebajar la dependencia al fuego de muchos de los paisajes ibéricos mediante cambios estructurales, y también de composición específica en algunos casos, lo que se logra principalmente modificando el régimen de renovaciones. No obstante, esta es una obra que necesita plazos largos y que se debe emprender en territorios extensos. Si bien es una meta alcanzable con una acción decidida durante varias décadas en las zonas húmedas y de hasta un siglo en las regiones xéricas —lapso de trabajo normal para el fluir de los montes y la mentalidad forestal—, constituye un período de tiempo dilatado desde el punto de vista humano en el que se generan hartas incertidumbres; sobre todo, en las dinámicas sociales (Torre, 2011). Ciertas experiencias observadas en la península ibérica, como el aumento espectacular de la cubierta vegetal desde la situación de semidesierto del siglo XIX o las aceleraciones de la sucesión ocurridas en algunos lugares en los últimos decenios, confirman que las grandes transformaciones a mejor son posibles en los montes, pero que llevan un tiempo y no están exentas de riesgos y cambios de tendencia. Tales mejoras se han constatado también en otras partes del mundo bajo la influencia de la ingeniería forestal (véase Liu, 2009).

La clave para el éxito del manejo forestal como opción y el alcance de los objetivos de gestión a largo plazo es una planificación adecuada. Esta tiene que estar basada en un marco ecológico, social y económico realista, lo que no siempre ocurre, y ser adaptable dentro de un rango para dar respuesta a la incertidumbre futura. Las acciones que se deriven de la planificación —que escapan del ámbito del manejo biológico— deben ser pragmáticas dentro de la capacidad de gestión alcanzable, y las actuaciones usualmente más importantes serán aquellas que incidan sobre la población humana y el uso del territorio. Es necesario considerar que muchos de los cambios inducidos por el manejo, tanto en los montes como en la sociedad, no son inmediatos porque los desfases son normales. En aquellos lugares en que está claro dónde conduce la gestión —y esta se sostiene durante el tiempo necesario—, se logra alcanzar depresiones del régimen de incendios mediante la modificación del régimen global de renovaciones y una ordenación territorial más eficaz (véase, por ejemplo, Muñoz, 2011, o Torre, 2011).

Sin embargo, no hay que perder de vista que los incendios seguirán siendo normales en la península ibérica, ya que la naturaleza de los montes y del clima —así como el comportamiento humano— determina en ocasiones regímenes de incendios activos. El fuego continuará siendo una realidad habitual e importante en todo el medio ibérico al menos durante décadas (Lloret, 2004), e incluso podrán producirse grandes incendios aunque se realicen importantes actuaciones en selvicultura general y preventiva (Rodríguez y Silva, 2005a). Esto obedece a la combinación de los factores siguientes:

- El fuego es un agente ecológico básico de la dinámica natural actual (ICONA, 1981a). Muchos de los taxones ibéricos más comunes y significativos tienen cierto grado de pirofitismo, tienden a generar formaciones más o menos piropronas y es imposible variar los atributos vitales de las especies salvo a escala evolutiva, lo que además puede no ser adecuado por distintas razones.
- El medio geoclimático ibérico —sobre todo, el mediterráneo— es propenso a generar y favorecer los fuegos.
- Buena proporción de los grandes incendios tienen una correlación con situaciones climáticas y meteorológicas desfavorables, contextos que es posible que se acentúen por el cambio climático actual (Lloret, 2004; Vega *et al*., 2009; Moreno, 2010).

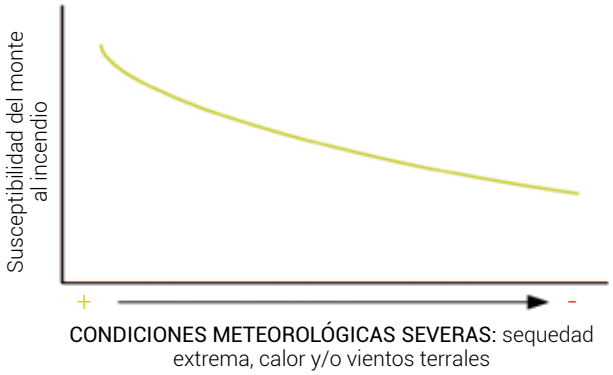


Figura 9.6. Relación conceptual entre la susceptibilidad de la vegetación al incendio y condiciones climáticas y meteorológicas adversas que facilitan la propagación del fuego. Algunas de estas situaciones ambientales extremas tienen una duración breve, de apenas unos días, pero son muy peligrosas, porque las superficies quemadas son amplísimas cuando se producen. Si bien el manejo selvícola puede entorpecer algo la propagación de estos incendios y facilitar la extinción bajo estas condiciones, no se puede esperar un efecto significativo sobre la limitación de las áreas quemadas en estos episodios. La temperatura, el viento y, sobre todo, la humedad de los combustibles tienen una importancia capital en estos momentos. El fuego continuará siendo ineludible en el medio ibérico, salvo en las regiones más húmedas o semidesérticas.

- Hay una acumulación de combustible constate (Vélez, 1990a) —de material ligero principalmente— que no es posible gestionar en su totalidad mediante otras formas que no sean quemándolo.
- La continuidad del combustible en muchos macizos forestales es la norma tras el fin del sistema agrario tradicional. Además de su acumulación en cantidad, la disminución de la fragmentación de los montes en muchas regiones resulta evidente: el aumento de la conectividad facilita que haya incendios extensos.
- No es posible eliminar totalmente a las igniciones. Además de los prendidos de origen natural, el fuego es un útil que se va a seguir usando en algunas labores rurales y en diferentes grados, y las negligencias seguirán apareciendo, aunque su incidencia se puede disminuir con la observación de determinadas normas de seguridad.
- Mediante la intervención selvícola se logran cambios estructurales y en la composición específica que reducen el peso del fuego como renovador y conformador de los paisajes forestales, pero esta vía de intervención es a largo plazo. No es esperable obtener cambios de tendencia constatables, si se siguen las políticas adecuadas, hasta dentro de dos o tres décadas a escala de región.

La experiencia de otras regiones mediterráneas con bosques gestionados es útil en este sentido (Vélez, 2013). Por ejemplo, Francia es un país con gran tradición selvícola y de explotación maderera, pero tiene problemas de incendios forestales en sus departamentos mediterráneos en la actualidad (Colaço y Molina, 2010), lo que enfatiza que el manejo de la vegetación no es la solución total en estas áreas. Aunque en general, los incendios galos son más moderados que los que se producen en los ecosistemas ibéricos homólogos, lo que también muestra que la selvicultura en las regiones relativamente áridas es parte de una gestión adecuada para atenuar la prevalencia de los incendios (Rigolot *et al.*, 2009). Los trabajos de Minnich (1983 y 2001; Minnich y Chou, 1997), en los que se compara a los regímenes de incendios californianos —aunque discutidos por algunos autores (Piñol *et al.*, 2005)—, muestran que regímenes de renovación globales y distribuciones espaciales de uso del territorio distintas producen regímenes de incendios contrastados para el mismo medio geoclimático.

El fuego continuará siendo una renovación normal en los montes ibéricos si bien el tamaño, intensidad y efectos de los eventos se pueden atenuar mediante el uso rutinario de la selvicultura y de la explotación maderera y silvo-ganadera.

Fotografía 9.41. Una herramienta que se debe considerar para la atenuación del régimen de incendios consiste en apoyar la sucesión hacia montes en que los fuegos se desarrollen con mayor dificultad. Esto sería especialmente importante en los montes de matorral, que son los más susceptibles a arder y a ser quemados. Es una estrategia de varias décadas que necesita la exclusión del fuego al menos en los montes donde se pretenden esos cambios. La dinámica forestal actual de la península ibérica, tras el fin del sistema agrario tradicional, en los lugares con un clima más oceánico y donde el fuego es excluido durante cierto tiempo facilita esta tendencia. Es una situación que hay que gestionar con el objeto de asegurar la dinámica e implementar un sistema socioeconómico adecuado para su manejo y beneficio.
Ejemplar de *Quercus faginea* que ha sucumbido al dominio de las hayas (*Fagus sylvatica*), más vigorosas y que han alcanzado mayor talla. Este proceso se ha observado en un rodal donde la tendencia dominante es la sustitución de *Pinus sylvestris* por las fagáceas.
Robredo de Losa (Burgos).

Tabla 9.4. Comparativa de posibles influencias sobre el régimen de incendios de distintas estrategias de gestión de los montes.

Reguladores del régimen de incendios	Sistema de vigilancia y extinción de incendios	Sistema de manejo del fuego	Sistema de desarrollo forestal
Medio geoclimático	No hay modificaciones.	No hay modificaciones.	No hay modificaciones.
Población humana	No hay modificaciones, salvo por el efecto disuasorio de los sistemas de vigilancia. Se mantiene a la población fuera del manejo de los montes.	No hay modificaciones, salvo que aumenta la tolerancia pública al agente fuego en el monte.	Hay modificaciones: los bosques comienzan a convertirse en fuentes de empleo y riqueza. La población participa y se beneficia de la gestión. El interés en que haya cualquier incendio se desploma.
Susceptibilidad de la vegetación al fuego	No hay manejo activo y la vegetación sigue sus procesos de forma relativamente aleatoria bajo un régimen de renovaciones no gestionado, salvo para tratar de evitar los incendios. La mejora de la composición o estructura depende de los procesos no gestionados que se den en el área. Paradoja de la extinción.	Hay un régimen de renovaciones manejado por fuego: el efecto puede variar según el contexto, pero en general lleva a, o perpetúa, simplificaciones estructurales y composiciones adaptadas al agente principal. No hay rebaja de la dependencia del fuego ni de sus efectos en muchas ocasiones.	El régimen de renovaciones pasa a ser regido en buena parte por la selvicultura y explotación y hay un cambio de patrón en los incendios, que se quedan con menos "hueco" para actuar. No obstante, esto último también depende de la influencia del clima y de otras variables. En general, tiene lugar una mejora estructural y especifica hacia estructuras más umbrófilas, lo cual deriva en mejoras en el nivel de rodal. Las quemas en algunos montes dependientes del fuego pueden ser una posibilidad.
Régimen global de renovaciones	El sistema se va cargando globalmente de más energía al no haber otros métodos importantes de renovación de la vegetación. Es el modelo típico de la paradoja de la extinción, hay un aumento de la susceptibilidad que, llegado el momento, puede desembocar en un gran incendio.	Hay descarga periódica de combustible por fuego, pero el dominio de las adaptaciones pirófitas refuerza la importancia del fuego en la dinámica.	Hay un aumento general de la cantidad de combustible, pero el control de la estructuras y de la sucesión limitan el aumento de la susceptibilidad, que inclusive puede disminuir en algunos bosques. La acción de la selvicultura y la explotación puede desplazar en parte a la renovación por incendios.
Patrón de ignicio-nes	No hay variaciones en los patrones de encendido, salvo por efecto de la vigilancia y la disuasión.	El fuego es reconocido como un agente principal de la dinámica, puede que haya un efecto contagio y cierta imitación popular. Además, no hay intereses socioeconómicos que desincentiven quemar.	Hay un interés laboral y económico en el bosque que hace que la población rural se preocupe del recurso. Los incendios se convierten en inconvenientes serios y suele producirse una reducción del número de ignic-iones.

ANEXOS

Rodal que tiene una frecuencia de incendios alta por rayos. Muchos de los pinos (*Pinus pinaster*) muestran fendas debidas a este meteoro. El dominio de *Erica arborea* en el estrato superficial y el dosel arbóreo muy abierto, solo compuesto por árboles grandes y robustos, revelan que el fuego es importante en la dinámica actual del monte. Alcudia de Veo (Castellón/Castelló).

a1 CLASIFICACIÓN DE ALGUNAS ESPECIES IBÉRICAS SEGÚN SU INFLAMABILIDAD Y COMBUSTIBILIDAD

Tabla A1.1. Clasificación de algunas especies ibéricas según su inflamabilidad (Elvira y Hernando, 1989)

1. Especies muy inflamables todo el año:	**2.** Especies muy inflamables durante el verano:	**3.** Especies medianamente inflamables:	**4.** Especies poco inflamables:
Calluna vulgaris	*Anthyllis cytisoides*	*Arbutus unedo*	*Buxus sempervirens*
Erica arborea	*Brachypodium ramosum*	*Cistus albidus*	*Cytisus multiflorus*
Erica australis	*Cistus ladanifer*	*Cistus crispus*	*Daphne gnidium*
Erica scoparia	*Lavandula latifolia*	*Cistus laurifolius*	*Halimium commutatum*
Eucalyptus ssp.	*Lavandula stoechas*	*Cistus salvifolius*	*Olea europaea*
Genista falcata	*Pinus pinaster*	*Cytisus scoparius*	*Pistacia lentiscus*
Genista hirsuta	*Pinus pinea*	*Erica multiflora*	*Rhamnus alternus*
Phyllirea angustifolia	*Pinus radiata*	*Genistella tridentata*	*Rubia peregrina*
Pinus halepensis	*Quercus suber*	*Juniperus oxycedrus*	
Quercus ilex	*Rubus idaeus*	*Ononis tridentata*	
Rosmarinus officinalis	*Stipa tenacissima*	*Osyris alba*	
Thymus granatensis	*Thymus zigys*	*Pinus pinaster*	
Thymus vulgaris	*Ulex parviflorus*	*Quercus coccifera*	
		Quercus faginea	
		Retama sphaerocarpa	
		Rhamnus lycioides	
		Rubus ulmifolius	
		Stauracanthus boivinii	
		Teline linifolia	

Tabla A1.2. Clasificación de algunas especies ibéricas según su poder calorífico (Elvira y Hernando, 1989)

1. Especies con poder calorifico alto:		**2.** Especies con poder calorífico medio:	
Arbutus unedo	*Erica scoparia*	*Calycotome villosa*	*Quercus ilex*
Buxus sempervirens	*Genista falcata*	*Cystus albidus*	*Quercus suber*
Calluna vulgaris	*Genista tridentata*	*Cystus laurifolius*	*Rhamnus lycioides*
Cistus ladanifer	*Juniperus oxycedrus*	*Cystus salvifolius*	*Rubus idaeus*
Cytisus multiflorus	*Phyllirea angustifolia*	*Lavandula stoechas*	*Rubus ulmifolius*
Cytisus scoparius	*Pinus radiata*	*Olea europaea*	*Stipa tenacissima*
Erica arborea	*Rosmarinus officinalis*	*Phlomis purpurea*	*Thymus vulgaris*
Erica australis	*Stauracanthus boivinii*	*Pinus pinea*	*Ulex parviflorus*
Erica multiflora	*Teline linifolia*	*Quercus coccifera*	
3. Especies con poder calorifico bajo:			
Anthyllis cytisoides	*Cistus crispus*	*Eucalyptus camaldulensis*	*Pteridium aquilinum*
Rubia peregrina			

a2 METODOLOGÍA PARA EVITAR MOLESTIAS A LA POBLACIÓN POR EL HUMO DE LAS QUEMAS

Si bien actualmente existen varias formas de prever el comportamiento del humo de un fuego y planificar las quemas adecuadamente, tales metodologías no están exentas de complejidad e incertidumbre (Ferguson, 2001).

La sistemática elaborada por Wade y Lunsford (1989) proporciona unas pautas sencillas con las que prevenir el impacto del humo en las zonas sensibles basadas principalmente en la táctica de evitación. Está pensada para terrenos llanos, por lo que su efectividad en comarcas montañosas puede ser baja al haber una circulación del aire más compleja. Dicha sistemática se expone seguidamente.

1) Determinación de la posible zona de afección de la columna de humo

   a) La zona de afección del humo está usualmente dentro de unos 60º grados de anchura horizontal, ángulo cuya bisectriz y orientación quedan determinadas por la dirección y sentido del viento, y tiene su vértice en el lugar de la quema. Conviene emplear un ángulo de 90º, más conservador, si no se usan observaciones de viento en el rodal de quema en momentos atmosféricos similares a los de la prescripción y se trabaja directamente con predicciones meteorológicas.

   b) En caso de que se estime que la quema vaya a durar más de tres horas se debe estudiar otra dirección del viento probable, ya que es esperable al menos un cambio de dirección en ese periodo en función de las variaciones diarias.

   c) La zona de afección nocturna por humos encerrados en inversiones térmicas es la mitad de la distancia de afección total indicada en la **tabla A2.2.**., dentro de la proyección del ángulo utilizado, excepto en depresiones y fondos de valle, por los que la masa de aire sucio puede deslizarse por la noche y llegar más lejos. Esta hipótesis contempla quemas que terminan hasta tres horas antes del ocaso y en noches que se esperan sin viento o con brisas ligeras y variables.

2) Localizar zonas de uso humano sensibles a la columna de humo y tomar decisiones sobre la conveniencia de la quema según la **tabla A2.2.**

3) Evaluar el combustible principal que será reducido en la quema. Las características del humo son diferentes dependiendo del tipo, cantidad y estado del combustible.

La **tabla A2.1.** muestra las distancias totales que la columna de humo puede recorrer antes de disiparse en función del tipo de combustible y la técnica de quema, así como longitudes críticas con las que existe riesgo de impacto del humo en el nivel del suelo.

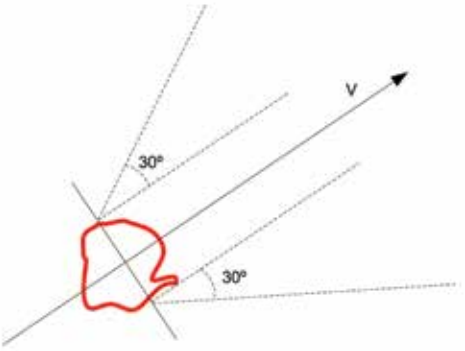


Figura A2.1. Croquis de planta de la zona de afección de humos de un rodal de quema.

Tomado de Mobley (1976) y Wade y Lunsford (1989).

4) El humo de la quema y sus impactos son responsabilidad del equipo de trabajo. Se deben tomar las precauciones necesarias para limitar las molestias y los riesgos. Estas son algunas recomendaciones para disminuir los problemas por humo de forma genérica:

- Quemar con alturas de mezcla del humo de 500 m sobre el suelo o mayores.
- Velocidades de transporte del humo en altura de al menos 15 km/h.
- Visibilidad de al menos 8 km en el sentido de evacuación del humo.
- Usar preferentemente quemas a la contra. La velocidad del viento ha de ser al menos de 6 km/h y la HR inferior al 80 % en caso de realizarse por la noche. Si no hay zonas humanas sensibles en el área de evacuación o si la quema termina 3 horas antes del ocaso, es posible emplear otras técnicas de quema.
- Los remates intensos limitan las emisiones. Se deben apagar siempre tocones, raíces u otros restos pesados que puedan estar ardiendo en la fase de ascuas largo tiempo tras terminar el tratamiento.

Tabla A2.1. Distancias estimativas del movimiento de columnas de humo (modificado de Wade y Lunsford, 1989)[a]

Tipo de combustible y técnica de quema	Distancia de afección total (km)	Distancia crítica: afección superficial directa (km)
Herbáceas y hojarasca independientemente del tipo de quema	8	1
Matorral o sotobosque, quemas a la contra o por puntos	16	2
Matorral o sotobosque, quemas a favor	32	3
Quemas de restos gruesos de cortas a hecho	48	5
Resto de combustibles, quemas en contra	8	1
Resto de combustibles, quemas a favor y/o parcelas de quema de más de 100 ha	16	2

Tabla A2.2. Decisorio según afección a zonas de habitación humanas cercanas (modificado de Wade y Lunsford, 1989)

Áreas críticas respecto al impacto del humo	Decisiones según situación en la zona de afección	
	1ª mitad de la distancia de afección total	2ª mitad de la distancia de afección total
Zonas humanas sensibles, como pueblos, carreteras transitadas, aeródromos, etc. dentro del ángulo de afección crítico	Suspender la quema y usar otra forma de tratamiento o quemar con vientos dominantes en otra dirección[11]	Suspender la quema y usar otro método de tratamiento o quemar la mitad de la parcela terminando tres horas antes del ocaso y haciendo un remate intenso Evaluar antes la quema según tipo de humo por combustibles (**tabla A2.3.**)
Zonas humanas con problemas de visibilidad o contaminación del aire dentro del ángulo de afección total		
Zonas humanas sin problemas de visibilidad o contaminación del aire entre el ángulo de afección crítico y el total	Buena posibilidad de realizar la quema tras evaluar los tipos de humo por combustibles (**tabla A2.3.**).	
Ángulo de afección sin zonas de uso frecuente por la población	Realizar la quema.	

Tabla A2.3. Gestión del humo en función de los combustibles (modificado de Wade y Lunsford, 1989)

Tipo de combustibles		Recomendaciones
Combustibles ligeros con cargas inferiores a 22t/ha	Herbáceas (bajo cubierta o no), rastrojos u otras quemas agrícolas de plantas anuales	Quema sin limitación. En caso de cargas superiores a 22 t/ha, se recomienda multiplicar por 2 las distancias de afección (total y crítica) y reevaluar, porque la columna de humo será más voluminosa e intensa. En caso de cargas solo algo superiores, hay que usar el factor multiplicador 1,5.
	Matorral	
	Hojarascas y/o sotobosques bajo arbolado	
	Restos ligeros de corta o poda con hojarasca y/o sotobosques bajo arbolado	
Restos de cortas dispersos y secos, esencialmente limpios de tierra y en pequeños montones		No deben quemarse más de 50 ha a la vez. No quemar si hay zonas sensibles en 5 km en el ángulo de afección, aunque esta distancia puede reducirse a 2,5 km si las condiciones nocturnas son de una HR inferior al 80 % y brisas de al menos 6 km/h.
Pilas o hileras de restos gruesos		No ejecutar la quema si hay zonas de uso humano frecuente en el ángulo de afección. Emisiones voluminosas que pueden durar días.
Otros combustibles		Asimilar al que se considere más parecido de los anteriores. Ejecutar la quema con precaución y de modo experimental.

[a] La metodología se presenta tal y como la concibieron los autores para Estados Unidos. Su aplicación directa en España es compleja debido a que el contexto territorial es muy diferente, ya que hay regiones españolas con una elevada densidad de pueblos. Las referencias de distancias deben amoldarse a cada lugar para poder hacer quemas, ponderando la necesidad del tratamiento y las posibles molestias que puede provocar el humo.

Tabla A.3.1. Reacciones de la vegetación frente a la renovación por fuego según los atributos del evento (Sevilla, 2008) (1/2)

	Atributos del regimen de incendios			Mecanismos de ocupación		Tendencias en la ocupación de algunas plantas			
	Severidad	Extensión	Frecuencia	De la vegetación dominante	Secundarios	Dominantes	Favorecidas	Perjudicadas	Excluidas, o casi
1	Muy alta	Cualquiera	Alta	Semilla enterrada	Semilla ligera, rebrote de raíz o lignotúber	Herbáceas	Matas pirófitas		Arbóreas
2	Muy alta	Grande	Media	Semilla protegida	Semilla enterrada, rebrote de raíz o lignotúber	*Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *Quercus* spp.	Matas pirófitas *Eucalyptus* spp.	*Acer* spp., *Tilia* spp., *Fagus sylvatica*	*Abies* spp., *Juniperus* spp.
3	Muy alta	Grande o mediana	Baja	Semilla protegida	Rebrote de raíz	Pinus pinaster, P. halepensis	*Betula* spp.	*Abies* spp., *Juniperus* spp.	
4	Muy alta	Mediana	Media	Semilla protegida	Semilla ligera, semilla enterrada, rebrote de raíz o lignotúber	*Pinus* spp.	Matas pirófitas *Betula* spp.	*Acer* spp., *Tilia* spp., *Fagus sylvatica*	*Abies* spp., *Juniperus* spp.
5	Muy alta	Mediana	Baja	Semilla protegida	Semilla ligera, rebrote de raíz	*Pinus* spp.	*Betula* spp.	*Abies* spp., *Juniperus* spp.	
6	Muy alta	Pequeña	Baja	Semilla ligera, semilla protegida		*Pinus* spp.		*Abies* spp.	
7	Alta	Cualquiera	Alta	Rebrote de raíz, de cepa o lignotúber, semilla enterrada	Semilla ligera	Herbáceas y matas pirófitas			Arbóreas excepto *Q. pyrenaica*, *Q. ilex* y *Eucalyptus* spp.
8	Alta	Grande	Media	Rebrote de raíz, de cepa o lignotúber, semilla protegida	Semilla enterrada	*Quercus* spp., *Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *Eucalyptus* spp.	Matas pirófitas	*Pinus uncinata*, *P. sylvestris*, *P. nigra*, *Fagus sylvatica*	*Abies* spp., *Juniperus* spp.
9	Alta	Grande	Media o baja pero con un intervalo entre dos fuegos muy corto	Rebrote de raíz o de cepa		*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp.		*Fagus sylvatica*; en general, árboles que rebrotan mal	*Pinus* spp., *Abies* spp., *Juniperus* spp.
10	Alta	Grande	Baja	Semilla protegida, rebrote de raíz o de cepa	Semilla enterrada	*Pinus* spp., *Quercus* spp.		*Fagus sylvatica*, Abies spp., Juniperus spp.	
11	Alta	Mediana	Media	Rebrote de raíz o de cepa	Semilla ligera, semilla enterrada, rebrote de raíz o lignotúber	*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp.	Matas pirófitas *Betula* spp.	*Fagus sylvatica*, Abies spp., Juniperus spp.	
12	Alta	Mediana	Baja	Semilla protegida, rebrote de raíz o de cepa	Semilla ligera	*Pinus* spp., *Quercus* spp.		*Fagus sylvatica*, *Abies* spp., *Juniperus* spp.	

Tabla A.3.1. Reacciones de la vegetación frente a la renovación por fuego según los atributos del evento (Sevilla, 2008) (2/2)

	Atributos del regimen de incendios			Mecanismos de ocupación		Tendencias en la ocupación de algunas plantas			
	Severidad	Extensión	Frecuencia	De la vegetación dominante	Secundarios	Dominantes	Favorecidas	Perjudicadas	Excluidas, o casi
13	Alta	Pequeña	Media	Semilla protegida, semilla ligera, rebrote de raíz o de cepa, semilla enterrada	Semilla pesada	*Quercus* spp., *Pinus pinaster*, *P. halepensis*, *Eucalyptus* spp.	*Betula* spp.	*Fagus sylvatica*, *Abies* spp., *Juniperus* spp.	
14	Alta	Pequeña	Baja	Semilla protegida, semilla ligera, rebrote de raíz o de cepa	Semilla pesada, semilla enterrada	*Pinus* spp., *Quercus* spp.	*Betula* spp.	*Fagus sylvatica*, *Abies* spp., *Juniperus* spp.	
15	Media	Cualquiera	Alta	Rebrote de raíz, de cepa o de tronco, semilla enterrada		Herbáceas y matas pirófitas	*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp.	*Pinus* spp.	*Fagus sylvatica*, *Abies* spp.
16	Media	Cualquiera	Media	Semilla protegida, semilla ligera, rebrote de raíz, de cepa o de tronco	Semilla enterrada, rebrote de lignotúber	*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp.	Matas pirófitas	*Fagus sylvatica*	
17	Media	Cualquiera	Baja	Semilla de supervivientes, rebrote de raíz o de cepa	Expansión de supervivientes	*Pinus* spp., *Quercus* spp.		*Fagus sylvatica*, *Abies* spp.	
18	Baja	Cualquiera	Alta	Rebrote de raíz o de cepa	Expansión de supervivientes, semilla enterrada, rebrote de lignotúber	*Quercus pyrenaica*, *Q. ilex*, *Q. suber*, *Eucalyptus* spp.	Otros *Quercus*, herbáceas y matas pirófitas		*Fagus sylvatica*, *Abies* spp.
19	Baja	Cualquiera	Media	Rebrote de raíz o de cepa, expansión de supervivientes	Semilla enterrada, rebrote de lignotúber	*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp.	Matas pirófitas	*Fagus sylvatica*	
20	Baja	Cualquiera	Baja	Expansión de supervivientes	Semilla enterrada, semilla de supervivientes, rebrote de raíz o de cepa	*Quercus* spp., *Eucalyptus* spp.	Matas pirófitas	*Fagus sylvatica*	
21	Muy baja	Cualquiera	Alta	Expansión de supervivientes, rebrote de raíz o de cepa	Semilla enterrada, rebrote de lignotúber	*Quercus* spp., *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp.	Herbáceas y matas pirófitas	Abies spp.	*Fagus sylvatica*
22	Muy baja	Cualquiera	Media o baja	Expansión de supervivientes		*Quercus* spp., *Pinus* spp.		Fagus *sylvatica*, *Abies* spp.	

* En el trabajo original el autor muestra otras reacciones de la vegetación frente a otros agentes renovadores y procesos: derribos, repoblación forestal, desbroces, aludes, granizadas, movimientos en masa, plaga o enfermedad, efecto de grandes fitófagos, cultivo agrícola, alteración intensa del suelo, avance dunar, muerte por elevada concurrencia y decrepitud.

a4 ESPECIES Y FORMACIONES VEGETALES SEGÚN ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DOMINANTES

Los siguientes listados se han tomado del libro *Guía técnica para la gestión de montes quemados* de Alloza *et al.* (2013). Recogen las especies consideradas en el Mapa Forestal Español 1:25.000 ordenadas por su estrategia reproductiva preferente tras el fuego según los trabajos de Pausas y Paula (2005) y Paula y Pausas (2009), más algunas aportaciones de los autores de esta interesante obra. Hay recogidas especies tanto ibéricas como macaronésicas. El investigador Juli G. Pausas mantiene y mejora una base de datos en línea de esta temática disponible en: http://www.uv.es/jgpausas/brot.htm

Los taxones aquí se han ordenado desde el punto de vista estructural o fisonómico para darle más utilidad en la gestión forestal. Está clasificación estructural tiene límites borrosos en función del desarrollo que alcanzan las mismas especies en estaciones ecológicas distintas.

Se ha añadido al listado original del libro el género *Eucaliptus* ssp. de fuerte carácter rebrotador ante el fuego, común en ciertas regiones ibéricas.

Tabla A4.1. Relación de especies con estrategia germinadora (1/2)

ÁRBOLES (h > 5m)			ARBUSTOS (2 m < h < 5m)
Abies alba	*Cupressus sempervirens*	*Pinus nigra*	*Juniperus communis*
Abies pinsapo	*Juniperus cedrus*	*Pinus pinaster*	*Juniperus phoenicea*
Cedrus atlantica	*Juniperus thurifera*	*Pinus pinea*	*Juniperus sabina*
Cedrus deodara	*Larix deciuda*	*Pinus radiata*	
Cedrus libani	*Larix leptolepis*	*Pinus strobus*	
Chamaecyparis lawsoniana	*Larix X eurolepis*	*Pinus sylvestris*	
Cupressus arizonica	*Picea abies*	*Pinus uncinata*	
Cupressus glabra	*Pinus brutia*	*Pseudotsuga menziesii*	
Cupressus macrocarpa	*Pinus halepensis*	*Taxus baccata*	
MATAS (h < 2 m)			
Asplenium onopteris	*Fumana thymifolia*	*Helianthemum syriacum*	*Salsola vermiculata*
Cistus albidus	*Genista cinerea*	*Helianthemum marifolium*	*Satureja cuneifolia*
Cistus clusii	*Genista polyanthos*	*Helichrysum italicum*	*Satureja montana*
Cistus crispus	*Gymnocarpium* spp.	*Herniaria fruticosa*	*Satureja obovata*
Cistus ladanifer	*Halimione portulacoides*	*Herniaria glabra*	*Satureja salzmannii*
Cistus laurifolius	*Halimium atricifolium*	*Lavandula angustifolia*	*Saxifraga oppositifolia*
Cistus libanotis	*Halimium commutatum*	*Lavandula dentata*	*Sideritis angustifolia*
Cistus monspeliensis	*Halimium halimifolium*	*Lavandula stoechas*	*Sideritis incana*
Cistus populiflorus	*Halimium ocymoides*	*Lavandula latifolia*	*Sideritis mugronensis*
Cistus psilosepalus	*Halimium viscosum*	*Lepidium subulatum*	*Staehelina dubia*
Echinospartum horridum	*Halimium umbellatum*	*Limonium dichotomum*	*Thymus baeticus*
Erica cinerea	*Helianthemum almeriense*	*Lotus creticus*	*Thymus hyemalis*
Erica umbellata	*Helianthemum apenninum*	*Ononis aragonensis*	*Thymus leptophyllus*
Fumana ericoides	*Helianthemum cinereum*	*Origanum vulgare*	*Thymus mastichina*
Fumana hispidula	*Helianthemum hirtum*	*Phagnalon rupestre*	*Thymus zygis*
Fumana laevipes	*Helianthemum lavandulifolium*	*Phagnalon saxalite*	*Ulex parviflorus*
Fumana procumbens	*Helianthemum squamatum*	*Rosmarinus officinalis*	

Tabla A4.1. Relación de especies con estrategia germinadora (2/2)

HERBÁCEAS (h < 2 m)			
Agrostis capillaris	*Convolvulus siculus*	*Lactuca serriola*	*Resada suffruticosa*
Aira caryophyllea	*Conyza canadensis*	*Lactuca viminea*	*Ruta angustifolia*
Althea hirsuta	*Cortaderia selloana*	*Lamarckia aurea*	*Salsola kali*
Alyssum alyssoides	*Coronilla scorpioides*	*Lamium amplexicaule*	*Sambucus ebulus*
Anagallis arvensis	*Crepis pulchra*	*Leontodon taraxacoides*	*Sanicula europaea*
Anthyllis tetraphylla	*Crepis sancta*	*Leucanthemopsis pallida*	*Scirpus holochoenus*
Anthyllis vulneraria	*Crepis vesicaria*	*Leucanthemum vulgare*	*Scorpuirus muricatus*
Antirrhinum barrelieri	*Crucienalla angustifolia*	*Linaria simplex*	*Senecio gallicus*
Asperula aristata fil.	*Cynosurus echinatus*	*Linaria spartea*	*Senecio jacobaea*
Asplenium onopteris	*Desmazeria rigida*	*Linum strictum*	*Senecio vulgaris*
Asterolinon linum-stellatum	*Dianthus hispanicus*	*Logfia minima*	*Sherardia arvensis*
Astragalus incanus	*Diplotaxis erucoides*	*Lolium perenne*	*Silene italica*
Atractylis cancellata	*Diplotaxis harra*	*Lophochloa cristata*	*Silene latifolia* ssp. *alba*
Biscutella laevigata	*Drosophyllum lusitanicum*	*Malva sylvestris*	*Silene nutans*
Bombycilaena erecta	*Echium vulgare*	*Medicago lupulina*	*Silene sclerocarpa*
Brassica tournefortii	*Erodium cicutarium*	*Medicago marina*	*Silene secundiflora*
Briza maxima	*Erophila verna*	*Medicago minima*	*Silybum marianum*
Briza media	*Erucastrum virgatum*	*Medicago polymorpha*	*Sixalix atropurpurea*
Bromus erectus	*Euphorbia exigua*	*Medicago minuta*	*Sonchus asper*
Bromus hordeaceus	*Euphorbia nicaeensis*	*Mercurialis annua*	*Sonchus oleraceus*
Bromus medritensis	*Euphorbia peplus*	*Micropyrum tenellum*	*Stipa capillata*
Bromus rubens	*Festuca hystrix*	*Minuartia hybrida*	*Taraxacum officinale*
Bupleurum baldense	*Filago pyramidata*	*Misopates orontium*	*Teedalia nudicaulis*
Bupleurum praealtum	*Filago vulgaris*	*Onobrychis supina*	*Telephium imperati*
Bupleurum spinosum	*Galactites tomentosa*	*Ononis ornithopodioides*	*Teucrium expansum*
Cakile maritima	*Galium aparine*	*Ornithopus compressus*	*Torilis nodosa*
Calencula arvensis	*Galium divaricatum*	*Ornithopus perpusillus*	*Tragopogon porrifolius*
Cardamine hirsuta	*Galium pumilum*	*Pallenis spinosa*	*Trifolium angustifolium*
Carduus pycnocephalus	*Galium setaceum*	*Papaver capitata*	*Trifolium arvense*
Carrinchtera annua	*Gastridum ventricosum*	*Paronychia capitata*	*Trifolium campestre*
Centaurea antennata	*Geranium columbinum*	*Petrorhagia prolifera*	*Trifolium glomeratum*
Centaurea boissieri	*Geranium purpureum*	*Picris comosa*	*Trifolium stellatum*
Centaurea hyssopifolia	*Geranium robertianum*	*Picris hieracioides*	*Tuberaria lignosa*
Centaurium erythraea	*Heliotropium europaeum*	*Piptatherum miliaceum*	*Tuberaria guttata*
Centranthus calcitrapae	*Hippocrepis bourgaei*	*Plantago afra*	*Urospermum picroides*
Centranthus ruber	*Hippocrepis ciliata*	*Plantago crassifolia*	*Verbascum rotundifolium*
Cephalaria leucantha	*Hippocrepis scabra*	*Plantago ovata*	*Veronica arvensis*
Cerastium glomeratum	*Hornungia petraea*	*Potentilla cinerea*	*Veronica polita*
Cerastium pumilum	*Hypericum humifusum*	*Potentilla erecta*	*Veronica triphyllos*
Chaenorhinum minus	*Iberis crenata*	*Prunella grandiflora*	*Vicia cracca*
Chondrilla juncea	*Inula conyza*	*Rapistrum rugosum*	*Vicia parviflora*
Cirsium arvense	*Jasione montana*	*Reichardia tingitana*	*Vulpia myuros*
Cirsium vulgare	*Juncus bufonius*	*Resada phyteuma*	*Vulpia unilateralis*

Tabla A4.2. Relación de especies con estrategia rebrotadora (1/2)

ÁRBOLES (h > 5m)			
Eucaliptus spp.	*Phoenix dactylifera*	*Quercus faginea*	*Sophora japonica*
Fagus sylvatica	*Pinus canariensis*	*Quercus humilis*	*Sorbus aria*
Fraxinus angustifolia	*Platanus hispanica*	*Quercus ilex*	*Sorbus aucuparia*
Fraxinus excelsior	*Platanus orientalis*	*Quercus petraea*	*Sorbus domestica*
Fraxinus ornus	*Populus alba*	*Quercus pyrenaica*	*Sorbus latifolia*
Gleditsia triacanthos	*Populus nigra*	*Quercus robur*	*Sorbus torminalis*
Junglans nigra	*Populus tremula*	*Quercus rubra*	*Tetraclinis articulata*
Junglans regia	*Populus X canadensis*	*Quercus suber*	*Thuja* sp.
Juniperus oxycedrus	*Prunus avium*	*Robinia pseudoacacia*	*Tilia cordata*
Laurus nobilis	*Prunus dulcis*	*Salix alba*	*Tilia platyphyllos*
Laurus novocanariesis	*Prunus lusitanica*	*Salix atrocinerea*	*Ulmus glabra*
Malus sylvestris	*Pyrus bourgaeana*	*Salix babylonica*	*Ulmus minor*
Morus alba	*Pyrus* ssp.	*Salix caprea*	*Ulmus pumila*
Morus nigra	*Quercus caraniensis*	*Salix fragilis*	
Persea indica	*Quercus x cerrioides*	*Salix* ssp.	
ARBUSTOS (2 m < h < 5m)			
Arbutus canariensis	*Myrica faya*	*Quercineas* arbóreas en monte bajo degradado o recepadas recientemente	*Salix viminalis*
Arbutus unedo	*Ocotea phoetens*		*Sambucus nigra*
Crataegus lacinata	*Olea europaea*		*Sambucus plamensis*
Crataegus laevigata	*Pistacea atlantica*	*Quercus coccifera*	*Sambucus racemosa*
Crataegus monogina	*Pistacea lentiscus*	*Rhamnus alaternus*	*Tamarix africana*
Ficus carica	*Pistacea terebinthus*	*Rhamnus alpinus*	*Tamarix boveana*
Ilex aquifolium	*Prunus mahaleb*	*Salix canariensis*	*Tamarix canariensis*
Ilex canariensis	*Prunus padus*	*Salix eleagnos*	*Tamarix gallica*
Ilex platyphylla		*Salix purpurea*	
HERBÁCEAS (h < 2 m)			
Brachypodium resutum	*Galium lucidum*	*Hypericum perforatum*	*Medicago suffruticosa*
Brachypodium phoenicoides	*Galium pinetorum*	*Hypochoeris radicata*	*Mesembryanthemum nodiflorum*
Euphorbia characias	*Galium verum*	*Inula montana*	*Melica ciliata*
Euphorbia serrata	*Gladiolus illyricus*	*Iris pseudacorus*	*Melica uniflora*
Festuca arundinacea	*Gladiolus italicus*	*Jasonia tuberosa*	*Molinia caerulea*
Festuca elegans	*Globularia alypum*	*Juncus conglomeratus*	*Muscari comosum*
Festuca indigesta	*Globularia vulgaris*	*Knautia arvensis*	*Muscari neglectum*
Festuca menanii	*Helictotrichon filifolium*	*Koeleria crassipes*	*Narcissus requienii*
Festuca nevadensis	*Helleborus foetidus*	*Koleria vallesiana*	*Nardus stricta*
Festuca paniculata	*Hieracium castellanum*	*Limodorum abortivum*	*Ophrys scolopax*
Festuca rubra	*Hieracium pilosella*	*Linum narbonense*	*Ophrys sphegodes*
Foeniculum vulgare	*Hippocrepis scorpioides*	*Luzula lactea*	*Orchis morio*
Galium album	*Holcus lanatus*	*Luzula lutea*	*Oxalis acetosella*
Galium corridifolium	*Holoschoenus vulgaris*	*Lygeum spartum*	*Pancratium maritimum*
Galium fruticescens	*Hyparrhenia hirta*	*Marrubium vulgare*	*Paronychia argentea*

Tabla A4.2. Relación de especies con estrategia rebrotadora (2/2)

HERBÁCEAS (h < 2 m)			
Phragmites australis	*Rumex acetosella*	*Silene legionensis*	*Thymelaea dioica*
Plantago albicans	*Sanguisorba minor*	*Silene mellifera*	*Thymelaea tartonraira*
Poa angustifolia	*Santolina chamaecyparissus*	*Simethis planifolia*	*Thymelaea tinctoria*
Polygala calcarea	*Santolina rosmarinifolia*	*Spartina densiflora*	*Trifolium pratense*
Polygala microphylla	*Scabiosa triandra*	*Stachys officinalis*	*Tuberaria globulariifolia*
Polygala rupestris	*Scabiosa turolensis*	*Stellaria holostea*	*Typha angustifolia*
Polygala vulgaris	*Schoenus nigricans*	*Stipa gigantea*	*Typha latifolia*
Polypogon viridis	*Scilla autumnalis*	*Stipa offneri*	*Urginea maritima*
Potentilla neumanniana	*Scilla monophyllos*	*Stipa parviflora*	*Vincetoxicum nigrum*
Prunella laciniata	*Scirpus maritimus*	*Stipa pennata*	*Viola alba*
Pseudarrhenatherum longifolium	*Scorzonera graminifolia*	*Stipa tenacissima*	*Viola reichenbachiana*
Ranunculus bulbosus	*Sedum sediforme*	*Suaeda maritima*	
Reichardia picroides	*Seseli elatum*	*Thapsia villosa*	
Rubia peregrina	*Sideritis hirsuta*	*Thymelaea calycina*	
TREPADORAS			
Hedera helix	*Lonicera implexa*	*Smilax aspera*	
Lonicera etrusca	*Lonicera periclymenum*	*Vitis vinifera*	

Tabla A4.3. Relación de especies sin asignación reproductiva frente al fuego

ÁRBOLES (h > 5m)	MATAS (h < 2 m)		
Cupressus lusitanica	*Artemisia canariensis*	*Genista balansae*	*Rhododendron ponticum*
Dracaena drago	*Artemisa reptans*	*Genista linifolia*	*Ribes alpinum*
Phoenix canariensis	*Berberis vulgaris*	*Genista monspessulana*	*Ribes rubrum*
Picconia excelsa	*Cistus symphytifolius*	*Genista patens*	*Rosmarinus tomentosus*
Pleiomeris canariensis	*Coronilla emerus*	*Genista tridentata*	*Rumex lunaria*
Visnea mocanera	*Cytisus baeticus*	*Genista triflora*	*Cytisus scoparius*
ARBUSTOS (h < 5m)	*Cytisus malacitanus*	*Genista versicolor*	*Sideroxylon marmulano*
Anagyris foetida	*Cytisus tribracteolatus*	*Herbedenia bahamensis*	*Thymus albicans*
Euonymus europaeus	*Dhapne mezereum*	*Hypericum canariensis*	*Thymus granatensis*
Euphorbia canariensis	*Echinospartum boissieri*	*Kleinia neriifolia*	*Ulex canescens*
Maytenus canariensis	*Erica erigena*	*Launaea arborescens*	*Ulex eriocladus*
Paliurus spina-christi	*Euphorbia aphylla*	*Lavandula lanata*	*Vella spinosa*
HERBÁCEAS (h < 2 m)	*Euphorbia handiensis*	*Maytenus senegalensis*	
Buplerum gibraltaricum	*Genista baetica*	*Pleiomeris canariensis*	

Tabla A4.4. Montes de matorral y arbustedos según su reacción al fuego

MATORRALES CON ESTRATEGIA GERMINADORA DOMINANTE	
Aliagares, aulagares y afines (clima mediterráneo)	Mezcla de matorrales de labiadas y tomillares s.l. (incluyendo estepas leñosas, pastizales leñosos y afines)
Cantuesares (*Lavandula stoechas, L. pedunculata, L. viridis*)	
Erizonales, erizales y abrojales (media-alta montaña)	Romerales
Jaguarzales y jaral-carpazales menores (*Halimium* spp. pl.)	Sabinares (*Juniperus sabina*)
Jarales mixtos o mezclados (*Cistus* spp. pl.)	Sabinares y enebrales rastreros.
Matorrales halo-xerófilos (suelos ricos en sal: zonas áridas)	
MATORRALES CON ESTRATEGIA REBROTADORA DOMINANTE	
Arandanales (*Vaccinium myrtillus* u otras)	Garrigas (matorrales pluriespecíficos calcícolas más termófilos)
Arbustedos de *Phyllirea angustifolia*	Garrigas baleares con *Euphorbia dendrides*
Arbustedos de *Phyllirea latifolia*	Gayubares (*Arctostaphylos uva-ursi*)
Argomonales (tojares) atlanticos o subatlanticos (*Ulex* spp.). Clima atlántico	Lentiscares/charnecales (*Pistacia lentiscus*)
	Bojares (*Artemisia* spp.)
Bolinares (*Santolina* spp. y *Helicrysum* spp.)	Matagallares (*Phlomis purpurera*)
Brezales (sub)hidrofilos (*Erica mackaiana, E. tetralix, E. cliarix*) y brezales mixtos de hidrófilas y subxerófilas	Matorrales de leguminosas aulagoideas y afines
Brezales de mesofilos a xerófilos y biercolares, puros o mixtos (incluyendo matorrales mixtos de *Ericáceas*)	Matorrales halo-hidrófilos (suelos húmedos ricos en sal: marismas, litorales)
Brezales orófilos y matorrales bajos de erináceas de alta montaña (*Loiseleuria, Arctaphylos alpina, Pyrola, Empetrum nigra*)	Matorrales y cubiertas gypsófilas
Brezales , matorrales de Ericaceae y agrupacioes afines	Mezcla de laguminosas rematoideas
Bujedos (*Buxus sempervirens, B. balearica*)	Orlas, espinares mesófilos mixtos y afines (dominadas por *Rosaceae*)
Carquesales (carqueixales) (*Genista tridentata*)	Palmitares/garrigas con plamito (*Chamaerops humilis*)
Codesares (*Adenocarpus complicatus, A. hispanicus*)	Piornales de montaña
Cornicabrales (*Pistacia terebinthus*)	Piornales y matorrales ratamoideos afines, no estrictamente de alta montaña
Coscojares más puros (*Quercus coccifera*)	Retamares
Cubiertas arbustivas y subarbustivas glicoifrófilas o freatófilas	Salcedas y bardagueras (*Salix* spp.pl.)
Enebrales (*Juniperus communis* subp. *alpina*)	Setos, orlas, bardas, salcedas, galerias arbustivas, etc.
Escobillares y matorrales mistos con predominio de *Dorycnium pentaphyllum* , *Coronilla minima*, etc.	Talabardales/neretares (*Rhododendron ferrugineum*)
Escobonales/xesteiras	Tojares mixtos (incluyendo tojo-brezales, tojo-escobonales y tojo-carpazales)
Espartizales (*Stipa tenacissima, Lygeum spartium*)	Tomillares y formaciones fisionómicamente afines
Espinares subxerófilos y xerófilos (*Hippophae rhamnoides, Rhamnus saxatilis, R. lycioides* -este no es área hiperárida-)	

Tabla A4.5. Montes de herbáceas según su reacción al fuego

Herbazales del MFE	
Herbazal/pastizal	Germinadora/rebrotadora
Pastizal de alta montaña	Rebrotadora
Espartal	Rebrotadora
Juncal y carrizal	Rebrotadora
Helechal	Rebrotadora

BIBLIOGRAFÍA

de ABRÉU, J.Mª. y MONSERRAT, P. 1975. Valor de los pastos en la conservación del ambiente. Los pastos en el paisaje mediterráneo seco y de montaña. En: Revista Pastos: vol. 5 (nº 2), pp. 483 – 492. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

ACOT, P. 2003. *Histoire du climat*. Paris. Éditions Perrin. 309 pp.

AFIF, E. y OLIVERIRA, J.A. 2006. Efectos del fuego prescrito sobre matorral en las propiedades del suelo. En revista: Invest. Agrar.: Sist. Recur. For., nº 15(3), pp. 262-270. Madrid. INIA. Disponible en: www.inia.es

AGEE, J.A. 2000. Wilderness Fire Science: A State-of-Knowledge Review. In Cole, D.N.; McCool, S.F.; Borrie, W.T.; O´Loughlin, J. (comps.). Wilderness ecosystems, threats, and management; 1999 May 23-27; Missoula, MT. Proceedings RMRS-P-15-VOL-5. Ogden, UT. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp. 5-22. Disponible en: www.treesearch.fs.fed.us

AGEE, J. y SKINNER, C. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. Forest Ecology and Management, 211(1-2): 83-96. Disponible en: http://www.elsevier.com/

AGUIRRE BRIONES, F. 2001. *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas.* Madrid. Gobierno de Aragón. 343 pp.

AJAYI, S.S. y HALSTEAD, L.B. (editores) 1979. *Wildlife management in savannah woodland*. Londres. Taylor & Francis LTD. 238 pp.

ALBINI, F.A. 1976. *Estimating wildfire behavior and effects.* Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 pp. Disponible en: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr030.pdf

ALBINI, F. A. y BAUGHMAN, R. G. 1979. *Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior.* Res. Pap. INT 221. Ogden, Utah: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 12 pp.

ALCANDA VERGARA, P. 2007. Los paradigmas de la gestión forestal en el siglo XXI: biodiversidad, multifuncionalidad y sostenibilidad. En Camprodon y Plana (Editores): *Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal. Segunda edición revisada y ampliada*. Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona. Pp. 41-75.

ALCARAZ ARIZA, F.J. 2009. Fundamentos de la clasificación de la vegetación (en línea). Apuntes de Geobotánica. Tema 12. Universidad de Murcia. Disponible en: www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema12.pdf.

ALEXANDER, M.E. y CRUZ, M.G. 2012. Modelling the effects of surface and crown fire behaviour on serotinous cone opening in jack pine and lodgepole pine forests. En International Journal of Wildland Fire, 21, pp. 709–721. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1071/WF11153

ALEXANDER, M.E. y THOMAS, D.A. 2006. Prescribed fire case studies, decision aids, and planning guides. En *Fire Management Today. Prescribed Fire case studies, decision aids, and planning guides*. Vol. 66, nº 1, winter. Pp. 5-20. USDA. Forest Service. Disponible en: http://www.fs.fed.us/fire/fmt/

ALFONSO, P.; ANDRADE, M.; CASTRO, F.; DÍEZ, J.L.; FRANCISCO, M.; GRAS, J.M.; HERRERA, E.; JIMÉNEZ, V.; LÓPEZ, P.; MARCHENA, F.; MINIÑO, V.; PADÍN, N.; RECAMÁN, R.; RINCÓN, V.; SARABIA, A. y TABOADA, Mª.J. 1997. El empleo de las quemas controladas en la prevención de incendios forestales en la provincia de Pontevedra. II Congreso Forestal Español-I Congreso Forestal Hispano-Luso. Pp. 31-36. Iratí. Disponible en: www.secforestales.org

ALÍA, R., ALBA, N., AGÚNDEZ, D., IGLESIAS, S. (coord.) 2005. *Manual para la comercialización y producción de semillas y plantas forestales. Materiales de base y de reproducción.* Serie Forestal. DGB. Madrid. 384 pp.

ALÍA MIRANDA, R.; MARTÍN ALBERTOS, S.; DE MIGUEL Y DEL ÁNGEL, J.; GALERA PERAL, R.M.; AGÚNDEZ LEAL, D.; GORDO ALONSO, J.; SALVADOR NEMOZ, L.; CATALÁN BACHILLER, G. y GIL SÁNCHEZ, L.A. 1996. *Regiones de procedencia de Pinus pinaster Aiton*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. MMA. 75 pp.

ALLOZA, J.A.; GARCÍA, S.; GIMENO, T.; BAEZA, J.; VALLEJO, V.R.; ROJO, L. y MARTÍNEZ, A. 2013. *Guía técnica para la gestión de montes quemados. Protocolos de actuación para la restauración de de zonas quemadas con riesgo de desertificación*. MAGRAMA. Madrid. 188 pp.

ALONSO, R.; BARRIO, J.M. y ROIG, S. 2008. Selvicultura del *Juniperus thurifera* L. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 229-258. Madrid. INIA. MEC.

ANDERSON, H.E. 1982. *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. Gen. Tech. Rep. INT-122. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 20 pp.

ANDERSON, H.E. 1985. Moisture and fine fuel response. En Donoghue y Martin: *Wheater-The drive train connecting the solar engine to forest ecosystem*. Eighth conference on fire and forest meteorology. Pp. 192-199. Detroit. April 29-May 2. Disponible en: digitalcommons.usu.edu

ANGUITA, F.; MÁRQUEZ, A.; CASTIÑEIRAS, P. y HERNÁN, F. 2002. *Los Volcanes de Canarias. Guía geológica e itinerarios*. Madrid. Rueda. 240 pp.

ARAGONESES, C. y SENDÍN, R. 2007. Uso de la biomasa forestal con fines energéticos. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. 10 pp. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR.

ARÁNZAZU PRADA, M. 1992. Viabilidad y letargo en semillas de conos serotinos de *Pinus pinaster* ait. De la procedencia Sierra del Teleno (León). Revista Montes, nº 28, pp. 59-60. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

ARAQUE JIMÉNEZ, E. (Coord.) 1999. *Incendios históricos. Una aproximación multidisciplinar.* Universidad Internacional de Andalucía. Baeza. 422 pp.

ARAQUE JIMÉNEZ, E.; SÁNCHEZ MARTÍNEZ, J.D.; PULIDO MÉRIDA, R. y GARRIDO ALMONACID, A. 2000. *Jaén en llamas. Presencia histórica de los incendios forestales en los montes provinciales*. Diputación Provincial de Jaén. Instituto de Estudios Giennenses. 355 pp.

Área de defensa contra incendios forestales (ADCIF) 2012. *Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010.* Informe técnico divulgativo, 134 pp. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: www.magrama.gob.es

Área de defensa contra incendios forestales (ADCIF) 2013. *Incendios forestales en España 1 de enero – 31 de diciembre 2012. Avance informativo*. Informe técnico divulgativo, 52 pp. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: www.magrama.gob.es

ARELLANO PÉREZ, S. 2011. Modelos de combustibles forestales de Galicia (resumen). Proyecto final de carrera de Ingeniería de Montes. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. Disponible en: www.secforestales.org

ARÉVALO CARRETERO, C. 1968. El contrafuego. Su utilización para cortar y extinguir los incendios forestales. Revista Montes, nº 142, pp. 307-323. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

ARILLA, É.; CASTELLNOU, M. y MOLINA, D.M. 2005. Tipologías de grandes incendios forestales: herramientas para la gestión del fuego y la dinámica forestal. 7 pp. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. Disponible en: www.secforestales.org

ARNALDOS, J.; NAVALÓN, X.; CASTELLÒ, J.I. y GIMÉNEZ, A. 2004. *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. 414 pp. Madrid. Mundi-Prensa.

ARROYO, J.; CARRIÓN, J.S.; HAMPE, A. y JORDANO, P. 2004. La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales. En Valladares, F. *et al.*: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp. 27-67. Madrid. OAPN. MMA.

ARTEAGA LÓPEZ, C. 2012. Estudi de l'ecologia del foc del *Quercus suber* L. Trabajo final de carrera. Universidad de Lleida. 84 pp. Disponible en: http://repositori.udl.cat/

AULLÉ ANDRADE, J.L. 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías.* Madrid. MAPA. INIA. 221 pp. y 10 mapas.

AZPITARTE ANDRINUA, J. 2012. Presidente de COSE, una de las entidades creadoras de PROBIOMASA (entrevista). En Montes, revista de ámbito forestal. Nº 110. 3er trimestre. Pp. 11-13. Colegios y asociaciones de ingenieros de montes e ingenieros técnicos forestales.

AZPITARTE ANDRINUA, J. 2013. Evolución del macizo y del asociacionismo forestal vasco. En Montes, revista de ámbito forestal. Nº 113. 2º trimestre. Pp. 15-17. Colegios y asociaciones de ingenieros de montes e ingenieros técnicos forestales.

AZQUETA, D. 2007. El análisis económico y su aplicación a la prevención de desastres naturales. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 118-136. Santiago de Compostela. Disponible en: http://www2.uah.es/clima/publications/doc/Previendo_los_desastres_ambien.p

BAEZA, M.J.; SANTANA, V.M.; PAUSAS, J.G. y VALLEJO, V.R. 2011. Dinámicas del combustible muerto en formaciones vegetales post-fuego. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 63-73. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

BAIGES, T.; CASALS, P. y TAÜLL, M. 2007. Gestión silvopastoral en Catalunya, de sistema productivo a herramienta de conservación. Actas de la III Reunión sobre Sistemas Agroforestales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 22, pp. 11-16. Disponible en: www.secforestales.org

BARÁ, S. y VEGA, J.A. 1983. Effects of wildfires on forest soils in the northwest of Spain. DFG Symposium Feuerökologie. Freibuger Waldschutz-Abhandlungen. Freiburg Univ. Pp. 181-195.

BAROJA Y NESSI, P. 1909. *Zalacaín el aventurero*. Colección Austral nº 346. Quinta edición (1967). Madrid. Editorial Espasa-Calpe. 156 pp.

BARTHOD, C. 1996. La gestion durable des forêts tempérées: quelques défis pour le XXIe siècle. En Revue Forestière Française, XLVIII: 235-252. Disponible en: http://documents.irevues.inist.fr

BARTHOD, C. 2001. Politique forestière et patrimoines naturels forestiers. En Revue Forestière Française, LIII, nº especial: 29-36. Disponible en: http://documents.irevues.inist.fr

BENGOA MARTÍNEZ DE MANDOJANA, J. 2011. Cambios en el paisaje en la cordillera cantábrica (Asturias, Cantabria y Castilla y León) en los últimos 40 años: comparativa de superficies arboladas. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 217-224. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

BENITO, B.; ROIG, S. y SAN MIGUEL, A. 2000. *Especies de gramíneas y leguminosas de interés pastoral. Morfología y características ecológicas y pascícolas.* Madrid. ETSIM. Fundación Conde del Valle de Salazar. 188 pp.

BIROT, Y. y MAVSAR, R. 2009. Impacto de los incendios en 3D: medio ambiente, economía, sociedad. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 35-40. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

BIROT, Y. y RIGOLOT, E. 2009. La necesidad de estrategias que anticipen al cambio climático…entre otros. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 81-85. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

BLANCO ABRIL, J. 2003. *Nuestros bosques en Castilla y León. Su historia y evolución.* Junta de Castilla y León. León. 435 pp.

BLANCO ANDRAY, A. 1986a. La degradación del suelo como consecuencia de los incendios. I Mecanismos de degradación. Revista Montes, nº 11, pp. 25-30. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

BLANCO ANDRAY, A. 1986b. La degradación del suelo como consecuencia de los incendios. II Repercusiones en los distintos suelos españoles. Revista Montes, nº 12, pp. 29-33. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

BLANCO, E.; CASADO, M.E.; COSTA, M.; ESCRIBANO, R.; GARCÍA-ANTÓN, M.; GÉNOVA, M.; GÓMEZ-MANZANEQUE, A.; GÓMEZ-MANZANEQUE, F.; MORENO, J.C.; MORLA, C.; REGATO, P. y SAINZ, H. 1997. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica.* Barcelona. Geoplaneta. 597 pp.

BLANCO, J; RAMÍREZ, J.; CERRILLO, A.; MARQUÉS, G.; VALCARCE, R. y LLORDÉN, J.M. 2013. Generación de cartografía de modelos de combustible a partir de datos LiDAR y análisis de imágenes orientado a objetos para su integración en Wildfire Analyst. 6º Congreso Forestal Español. Referencia 6CFE01-314. 14 pp. Vitoria. SECF. Disponible en: http://www.congresoforestal.es/

BOND, W. J. y KEELEY, J. E. 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. En revista: TRENDS in Ecology and Evolution Vol. 20, Nº 7, Julio, pp. 387-394.

BOND, W. J. y van WILGEN, B. W. 1996. *Fire and plants*. Londres. Chapman & Hall. 263 pp.

BORMANN, D.B. y LIKENS, G.E. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem.* New York. Springer-Verlag. 253 pp.

BRANTLEY, S.R.; LOWENSTERN, J.B.; CHRISTIANSEN, R.L.; SMITH, R.B.; HEASLER, H.; WAITE, G. y WICKS, C. 2004. Tracking changes in Yellowstone's restless volcanic system. USGS Fact Sheet 100-03. U.S. Geological Survey and the National Park Service. 4 pp. Disponible en: http://pubs.usgs.gov/fs/fs100-03/

BRAVO, F. 2009. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Presentación Power point de la "Jornada sobre bosques sumidero de carbono y cambio climático". 30 de junio. World Trade Center Zaragoza. Gobierno de Aragón.

BRAVO OVIEDO, F. (coord.) 2007. *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Fundación Gas Natural. Barcelona. 308 pp.

BRAVO, F.; SEGÚR, M. y MORO, O. 2007. Impacto de la planificación forestal sobre la fijación de CO_2. En Bravo (coord.) *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Capítulo 9. Pp. 289-308. Fundación Gas Natural. Barcelona.

BRAVO, J.A.; ROIG, S. y SERRADA, R. 2008. Selvicultura en montes bajos y medios de *Quercus ilex* L., *Q. pyrenaica* Willd. y *Q. faginea* Lam. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 656-744. Madrid. INIA. MEC.

BREÑOSA, R. 1869. Noticias sobre los incendios en la Ciudad y Tierra de Soria. Revista Forestal, pp. 168-176. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

BROWN, J.K. 1974. *Handbook for inventorying downed woody material*. USDA Forest Service. General Technical Report INT-16. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden. 24 pp. Disponible en: www.fs.fed.us

BROWN, H. 2008. American Indian fire use: policy implications of the debate. En *Fire Management Today. Firefighting equipment*. Vol. 68, nº 1, winter. Pp. 33-39. USDA. Forest Service. Disponible en: http://www.fs.fed.us/fire/fmt/

BYRAM, G. M. 1959. Combustion of forest fuels. En Davis: *Forest fire control and use*. Charper 3. Pp. 61-90. Ed. McGraw-Hill Book Co., New York. Disponible en: http://www.firemodels.org

BYRAM, G.M. 1963. An analysis of the drying process in forest fuel material. Unpublished paper presented at the International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, D.C., May 20-23. 38 pp.

BYRAM, G.M. 2006. Vegetation temperature and fire damage in the Southern Pines. En *Fire Management Today. Prescribed Fire case studies, decision aids, and Planning guides*

prescribed fire case studies, decision aids, and planning guides. (Reedicción de un artículo original de 1948). Vol. 66, nº 1, winter. Pp. 26-27. USDA. Forest Service. Disponible en: www.fs.fed.us/fire/fmt/

CAAMAÑO, J.; SAMPER, D.; CUÑAT, E. y RUBIO, P. 2004. Mejora del sistema de localización de incendios forestales mediante toponimia sobre imágenes panorámicas de la Comarca Cuarta, Sección Segunda (valle de Cabuérniga) . Trabajo técnico. Servicio de Montes de Cantabria y EPRIF de Cantabria (MMA). 5 pp. y 34 fotografías panorámicas. No publicado.

CALVO, L.; VALBUENA, L.; TORRES, O.; ÁLVAREZ, R.; MARCOS, E.; TÁRREGA, R. y de LUIS, E. 2005. Efectos de los incendios de la Sierra del Teleno en la población de *Pinus pinaster*. En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno*. Pp. 126-137. Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

CAMARERO, L. (coordinador); CRUZ, F.; GONZÁLEZ, M.; del PINO, J.A.; OLIVA, J. y SAMPEDRO, R. 2009. *La población rural de España. De los desequilibrios a la sostenibilidad social*. Fundación La Caixa. Barcelona. 190 pp. Disponible en: www.laCaixa.es/ObraSocial

CAMPOS, P.; OVIEDO, J.L. y CAPARROS, A. 2005. Un sistema de cuentas para la valoración de los efectos comerciales y ambientales del gasto público en la mitigación del fuego en el bosque mediterráneo. Invest Agrar: Sist Recur For 14(1), pp. 110-121. Madrid.

CANTELOUP, D. 2013. Los bosques de pino marítimo en Francia: situación y perspectivas. En: II Simposio Internacional de Resinas Naturales, del 16 al 18 de abril de 2013, Coca – Segovia. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. Pp. 138-141. Disponible en: http://www.sust-forest.eu/

CANTERO AMIANO, A. 2003. Socioeconomía y paisaje forestal de la Sierra de Gredos. El caso de El Arenal (Ávila). *Actas de la II reunión de historia forestal*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 16, pp. 309-313. Disponible en: www.secforestales.org

CARDILLO AMO, E.; BERNAL CHACÓN, C. y ENCINAS BARDADO, M. 2007. *El alcornocal y el fuego*. IPROCOR. Junta de Extremadura. 91 pp.

CARRACEDO MARTÍN, V.; DIEGO LIAÑO, C.; GARCÍA CODRON, J.C. y RASILLA ÁLVAREZ, D.F. 2009. *Los incendios forestales*. Editorial Davinci. Barcelona. 250 pp.

CARRIÓN GARCÍA, J.S. 2003. Sobresaltos en el bosque mediterráneo: incidencia de las perturbaciones observables en una escala paleológica. En Ecosistemas. Año XII, Nº3. 13 pp. Disponible en: http://www.revistaecosistemas.net

CARRIÓN, J.S. (coord.) 2012. *Paleoflora y paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid; Universidad de Murcia, Murcia. 972 pp. Disponible en: http://roderic.uv.es/handle/10550/33959

CARRIÓN, J. S.; MUNUERA, M.; NAVARRO, C. y SÁEZ, F. 2000. Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico. Viejas falacias y nuevos paradigmas. Complutum 11. Pp. 115-142.

CARRIÓN, J.S.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, P.; MOTA, J.F.; YLL, R. y CHAÍN, C. 2003. Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gádor, southern Spain. En: The Holocene 13,6 (2003) pp. 839–849. Disponible en: www.jscarrion.com/.../2003_carrion_holocene.pdf

CASAL JIMÉNEZ, M.; BASANTA ALVES, M. y GARCÍA NOVO, F. 1984. *La regeneración de los montes incendiados en Galicia*. Santiago de Compostela. Universidad de Santiago de Compostela. 113 pp.

CASCOS MARAÑA, C. 2011. La simplificación y la uniformidad crecientes en los paisajes ganaderos de la montaña húmeda de Castilla y León. El ejemplo de Babia y Luna. En Polígonos: Revista de Geografía, nº 21, pp. 149-178. Monográfico: Paisajes agrarios de Castilla y León. Universidades de León, Salamanca y Valladolid. Disponible en: http://revpubli.unileon.es

CASERO RODRÍGUEZ, F. 2007. Función de la participación social y educación e información de la opinión pública respecto a los incendios forestales. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 3 pp.

CASSAGNE, N.; MANTZAVELAS; A., DUPUY, J.L.; LAZARIDOU, T.; PIMONT, F.; PARTOZIS, T.; FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. y RIGOLOT, E. 2009. Report on the effects of broad scale and long-term application of prescribed burning on fire risk components. Deliverable D5.3-1 of the Integrated Project "Fire Paradox", FP6-018505. European Commission. 88 pp. Disponible en: www.fireintuition.efi.int

CASTELLANO, A.; REYNA, S.; GIL, N. y GIMENO, T. 2009. Criterios para la formación de masas con reserva anti-incendios (MARAI). 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-209. Ávila. SECF. 10 pp. Disponible en: www.secforestales.org

CASTELLNOU, M.; NEBOT, E. y MIRALLES, M. 2007. El papel del fuego en la gestión del paisaje. Wildfire 2007. Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 15 pp. Disponible en: http://www.fire.uni-freiburg.de/

CASTELLNOU, M.; PAGÉS, J.; MIRALLES, M.; PIQUÉ, M. 2009. Tipificación de los incendios forestales en Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila. 16 pp. Disponible en: www.secforestales.org

CATALÁN, G. 1990. Plantaciones de *Pinus pinea* en zonas calizas para la producción precoz de piñón. En Ecología, fuera de serie nº 4. pp. 105-120. Madrid. ICONA.

CATRY, F.X.; REGO, F.C.; SILVA, J.S.; MOREIRA, F.; CAMIA, A.; RICOTTA, C. y CONEDERA, M. 2010. Fire Starts and Human Activities. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 9-22. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

CAZAU, P. 2002. La teoría del caos. Documento en pdf. En: redpsicología. 31 pp. Disponible en: www.galeon.com

CEBALLOS Y FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, L. 1941. *Series de vegetación de España*. Manuscrito inédito.

CEBALLOS Y FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, L. 1945. Los matorrales españoles y su significación. En: CEBALLOS Y FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, L.; 1996. *Luis Ceballos, homenaje en su centenario. Tres trabajos forestales.* Pp. 391-428. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.

CEBALLOS Y FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, L. 1959. Pasado y presente del bosque en la región mediterránea. En: CEBALLOS Y FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, L.; 1996. *Luis Ceballos, homenaje en su centenario. Tres trabajos forestales.* Pp. 429-445. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.

CEBALLOS, L. y ORTUÑO, F. 1949. Un volcán en actividad en la más forestal de las islas Canarias. Revista Montes nº 28, pp. 293-306. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L. y WILLIAMS, D. 1983. *Fire in Forestry*. Vol I. *Forest Fire Behaviour and Efects*. New York. John Wiley & Sons. 450 pp.

CHANG, C-R. 1996. Ecosystem responses to fire and variations in fire regimes. En: Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, cap. 39, pp. 1071-1099. Assessments and scientific basis for management options. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources.

CHUVEICO SALINERO, E. y MARTÍN ISABEL, M.P. (edit.) 2004. *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Colección estudios ambientales y socioeconómicos. CSIC. Instituto de economía y geografía. MEC. Madrid. 190 pp.

CISNEROS, O.; CABRERA, M. y MONTERO, G. 2008. Selvicultura de *Castanea sativa* Mill. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España*. Pp. 83-116. Madrid. INIA. MEC.

CISNEROS, O.; MARTÍNEZ, V.; MONTERO, G.; ALONSO, R.; TURRIENTES, A.; LIGOS, J.; SANTANA, R.; LLORENTE, R. y VAQUERO, E. 2009. *Plantaciones de frondosas en Castilla y León. Cuaderno de campo.* FACYLE, Junta de Castilla y León, INIA CESEFOR, PROFOR y FEDR. 74 pp.

CLEMENTS, F.E. 1916. *Plants succession, an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institution of Washington. Publication nº 242. Washington. 512 pp.

COLAÇO, C. y MOLINA, D. 2010. Learning and training on the use of prescribed burning techniques. En: EFI Research Report nr. 23. Fire Paradox, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 161-173. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

CORBERA MILLÁN, M. 2011. Sobre los agentes de la deforestación en Cantabria entre los siglos XVI y XIX. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 172-184. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

CORTÉS, P. 2007. Abandono del espacio agro-forestal y los procesos de defensa contra incendios forestales a escala municipal - presentación del proyecto y de algunos resultados intermedios. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 17 pp. Disponible en: http://www.fire.uni-freiburg.de/

CORTÉS, P. 2013. O contributo da resinagen para a defesa da floresta contra incêndios no oeste da Península Ibérica. En: II Simposio Internacional de Resinas Naturales, del 16 al 18 de abril de 2013, Coca – Segovia. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. Pp. 104-119. Disponible en: http://www.sust-forest.eu/

COSTA PÉREZ, J.C. 2006. El incendio forestal como modelador del ecosistema mediterráneo. En Costa *et al.*: *Restauración de zonas incendiadas en Andalucía*. Pp. 11-14. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

COSTA ALCUBIERRE, P.; LARRAÑAGA OTXOA DE EGILEOR, A.; CASTELLNOU RIBAU, M.; MIRALLES BOVER, M. y KRAUS, P.D. 2011. *Prevención de los grandes incendios forestales adaptada al incendio tipo.* Generalitat de Catalunya, Bombers de la Generalitat de Catalunya, EFI, Fire Paradox. Cerdanyola del Vallès. 88 pp.

COSTA, M.; GARCÍA, M.; MORLA, C. y SAINZ, H. 1990. La evolución de los bosques de la península ibérica: una interpretación basada en datos paleobiogeográficos. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 31-58. Madrid. ICONA.

CURRAS, R. y GUARA, M. 1993. Propuesta de medidas de defensa de las masas forestales contra incendios. I Congreso Forestal Español. Ponencias y comunicaciones, tomo III, pp. 179-184. Lourizan. Disponible en: www.secforestales.org

DAGUE, D. y HIRAMI, P. 2015. El Sistema de mando de incidentes del Servicio Forestal de los Estados Unidos 40 años después: de los incendios forestales nacionales a la respuesta internacional a los desastres. En Unalsiva. Vol. 66 2015/1–2. Pp. 79-85. FAO. Roma.

DE RONDE, C., 2009. *Guidelines for the integration of prescribed burning in the FIRE PARADOX environment: within natural vegetation, industrial forest land and the urban interface.* Deliverable D13.1-2 of the Integrated project "Fire Paradox", Project FP6- 018505. European Commission, 26 pp. Disponible en: http://fireintuition.efi.int/

Departament of National Parks, Recreation, Sport and Racing 2013. *Planned burn guidelines. Southeast Queensland Bioregion of Queensland*. Queensland Government. 188 pp. Disponible en: http://www.npsr.qld.gov.au/managing/pdf/pbg-seq.pdf

DI BLASI, C. 1994. Numerical simulation of cellulose pyrolysis. En: Biomass and energy. 7(1), pp. 87-98.

DÍAZ, J. 2012. La bioenergía garantiza 15 veces más empleo que los combustibles fósiles (entrevista). En Montes, revista de ámbito forestal. Nº 110. 3er trimestre. Pp. 53-54. Colegios y asociaciones de ingenieros de montes e ingenieros técnicos forestales. Madrid.

Dirección general de Biodiversidad (M.M.A.). 2007. Estadística nacional de incendios decenio 1996-2005. En apuntes del "V Curso superior de prevención de incendios forestales (2007)". Madrid. (No publicado).

DOPAZO, C.; ROBLES, A.B.; RUIZ, R. y SAN MIGUEL, A. 2009. Efecto del pastoreo en el mantenimiento de cortafuegos en la Comunidad Valenciana. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-208. Ávila. SECF. 13 pp. Disponible en: www.secforestales.org

DUHAMEL DU MONCEAU, H. L. 1773. *Tratado de las siembras y plantíos de árboles y de su cultivo.* Madrid. Joachin Ibarra, Impresor de Cámara de S.M. a expensas de la Real Compañía de Impresores y Libreros del Reyno. 379 pp. Fascimil editorial Maxtor, 2008.

DUPUY, J.L. 2009. Inicio y propagación de los incendios. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 29–34. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

DUPUY, J.L. y ALEXANDRIAN, D. 2010. Fire modelling and simulation tools. En: EFI Research Report nr. 23. Fire *Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 61-69. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

DUPUY, J.L. LINN, R. KONOVALOV, V. PIMONT, F. VEGA, J.A. y JIMÉNEZ, E. 2011. Exploring threedimensional coupled fire/atmosphere interactions downwind of winddriven surface fires and their influence on backfiring using the HIGRADFIRETEC model. En: International Journal of Wildland Fire 20(6). Pp. 734–750.

EDMONDS, R.L.; AGEE, J.K. y GARA, R.I. 1999. *Forest. Health and protetion*. McGraw-Hill Companies. 630 pp.

EGNELL, G. 2000. Silviculture and management of Scots pine in Sweden. En revista: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Fuera de serie nº 1, pp. 165-174. Madrid. INIA.

ELVIRA, L.M. y HERNANDO, C. 1989. *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque*. Monografía INIA nº 68. 99 pp. MAPA.

Equipo técnico de Geògraf Salvador Llobet Ediciones Cartogràfiques S.L. 2003. *LA MONTAÑA. Métodos de orientación.* Barcelona. Editorial Alpina. 96 pp.

ESPELTA, J.M.; LLORET, F.; DÍAZ-DELGADO, R.; PONS, X.; CALVO, E. y RETANA, J. 2001. Interacció entre estructura del paisatge, usos dl sòl i régim d´incendis. En *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecología del foc*. Actes de les Jornades sobre Incendis Forestals i Recerca de la xarxa ALINFO. 34-37 pp. Xarxa ALINFO.

ESTESO VICTORIO, J.E. 1997. Obtención y tabulación de datos sobre pastoreo controlado en labores de prevención de incendios forestales. II Congreso Forestal Español-I Congreso Forestal Hispano-Luso. Pp. 155-159. Iratí. Disponible en: www.secforestales.org

Eurofire 2008. Unit EF06: *Training: apply vegetation ignition techniques*. 23 pp. Disponible en: http://www.fire.uni-freiburg.de

EZQUERRA BOTICARIO, F.J. 2007a. La recuperación del espacio forestal. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. Pp. 349-374. Junta de Castilla y León. Valladolid.

EZQUERRA BOTICARIO, F.J. 2007b. El bosque protector: la función ecológica. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. Pp. 463-469. Junta de Castilla y León. Valladolid.

EZQUERRA BOTICARIO, F.J. 2011. La revolución neolítica y su influencia en los paisajes forestales en las áreas montañosas de Cantabria. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 91-108. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

EZQUERRA, F.J.; BARRIEGO, P. y PASTRANA, M.E. 2011. Conservación y gestión de los paisajes en el marco de la Red Natura 2000. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 325-343. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

FABABÚ, D.D.; GRILLO, F.; GARCÍA-MARCO, D.M. y MOLINA-TERREN, D.M. 2007. Caracterización de las quemas prescritas en Gran Canaria. Valoración de 5 años de experiencia. En IF Incendios Forestales, nº 16, abril, pp. 4-17.

FELICÍSIMO, Á. M. (coord.) 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación.* Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 552 pp.

FERGUSON, S.A. 2001. Smoke dispersion prediction system. En Hardy *et al.*: *Smoke management guide for prescribed and wildland fire. 2001 Edition.* National Wildfire Coordinating Group. Fire use working team. Pp. 163-175. Boise, Idaho. Disponible en: www.nwcg.gov

FERNANDES, P.M. 2000. Desarrollo de modelos para la gestión del fuego controlado. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 183-187.

FERNANDES, P.M. 2010. Scientific knowledge and operational tools to support prescribed burning: recent developments. En: EFI Research Report nr. 23. Fire Paradox, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 151-159. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

FERNANDES, P.M. y BOTELHO, H.S. 2003. A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction. International Journal of Wildland Fire. 12: 117–128.

FERNANDES, P.M.; BOTELHO, H.S. y LOUREIRO, C. 2002. *Manual de formaçao para a técnica do fogo controlado.* Vila Real. Departamento Florestal. Universidade de Tras-os Montes e Alto Douro. 140 pp.

FERNANDES, P.M.; DAVIES, G.M.; ASCOLI, D.; FÉRNANDEZ, C.; MOREIRA, F.; RIGOLOT, E. STOOF, C.R.; VEGA, J.A. y MOLINA, D. 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. Frontiers in Ecology and the Environment. August. DOI: 10.1890/120137.

FERNANDES, P.M. y LOUREIRO, C. 2010. *Handbook to plan and use prescribed burning in Europe.* Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB) y Departamento de Ciências Florestais e Arquitectura Paisagista. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. Proyecto *Fire Paradox*. 40 pp.

FERNANDES, P.M., VEGA, J.A., JIMÉNEZ, E. y RIGOLOT, E. 2008. Fire resistance of European pines. En Forest Ecology and Management 256: 246–255. Disponible en: http://www.floresta.ufpr.br/firelab/artigos/artigo185.pdf

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; BARA, S.; ALONSO, M. Y FORTUBEL, T. 2011. Effects of the sequence wildfire-clearcutting-thinning on nutrient export via streamflow in a small *E. globulus* watershed in Galicia (NW Spain). En revista: Forest Systems, nº 20(2), pp. 218-227. Madrid. INIA. Disponible en: www.inia.es/forestsystems

FERNÁNDEZ DE ANA, F.J. 2000. El fuego y los hongos del suelo. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 101-107.

FERNÁNDEZ DE ANA, F.J. y RODRÍGUEZ, A. 1992. El fuego y la respuesta de los macromicetos del suelo en pinares de *Pinus pinaster* Ait. En revista: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Vol. 1 (2), pp. 137-150. Madrid. INIA.

FERNÁNDEZ-LANDA, A.; RODRÍGUEZ, F.; LÓPEZ, D.; GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R.; MOLA-YUDEGO, B.; LASALA, D.; ARJONILLA, F. y GÓMEZ, A. 2013. Los sensores aerotransportados LiDAR y multiespectrales en la descripción y cuantificación de los recursos forestales. Revista Montes, nº 112, pp. 31-35. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

FERNÁNDEZ MUÑOZ, S. 1999. Cambio y continuidad en los incendios forestales: estudio de casos en las provincias de Soria y Valencia. En ARAQUE JIMÉNEZ, E. (Coord.): *Incendios históricos. Una aproximación multidisciplinar.* Universidad Internacional de Andalucía. Baeza. Pp. 111-147.

FERRER, C.; BARRANTES, O. y BROCA, A. 2001. La noción de biodiversidad en los ecosistemas pascícolas españoles. En: Revista Pastos: XXXI (2), pp. 129 – 184. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

FILLAT, F. y VILLAR, L. 1975. Valor de los pastizales en la recuperación de los terrenos deforestados y erosionados. En: Revista Pastos: vol 5 (nº 2), pp. 492 – 499. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

FINNEY, M.A. 2004. Landscape fire simulation and fuel treatment optimization. En: *Methods for Integrated Modeling of Landscape Change. Interior Northwest Landscape Analysis System. Chaper 9.* General Technical Report PNW-GTR-610. (Eds JL Hayes, AA Ager, JR Barbour) pp. 117– 131. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Portland, Oregon.

Firesmart 2012. *Forest and land management options to prevent unwanted forest fires. Technical report: work package 3.* 52 pp. Comisión europea. Disponible en: www.firesmart-project.eu/

FLORES GARNICA, J.G.; RODRÍGUEZ TREJO, D.A.; ESTRADA MURRIETA, O. y SÁNCHEZ ZÁRRAGA, F. (Coord.) 2006. *Incendios Forestales. Definiendo el problema, Ecología y manejo, Participación social, Fortalecimiento de capacidades, Educación y divulgación*. Mundi-Prensa México. Zapopan. 254 pp.

FONT TULLOT, I. 1988. *Historia del clima de España*. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de transportes, turismo y comunicaciones. Madrid. 297 pp.

FONTÚRBEL, M.T., VEGA, J.A. BARÁ, S. y BERNÁNDEZ, I. 1995. Influence of prescribed burning of pine stands in N.W. Spain on soil microorganisms. European Journal of Soil Biology 31. Pp.13-20.

FRAILE, R.; FERNÁNDEZ, B.; GÓMEZ, G.; PEÑALVER, F.; OLAIZOLA, J.; MARTÍN-PINTO, P. y ORIA DE RUEDA, J.A. 2009. Influencia del fuego en la evolución de las comunidades fúngicas asociadas a *Cistus ladanifer* español. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-448. Ávila. SECF. Disponible en: www.secforestales.org

FRANCO, F.; GARCÍA, M.; MALDONADO, J.; MORLA, C. y SAINZ, H. 2005. Primeros resultados paleopolínicos en la Sierra del Teleno: arroyo de Valdefondo (Tabuyo del Monte, León). En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno.* Pp. 33-42 Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

de FUENTES, L. 1966. Prevención de incendios forestales. En *Diez temas sobre árboles forestales*, pp. 187-205. Madrid. Ministerio de agricultura.

FUEYO, F. y DE LA MADRID, J.C. 2010. *Una mirada natural III. Rocas, suelos y paisajes de Burgos*. Banca Cívica/Caja de Burgos. 73 pp.

GANDULLO, J.M. 1990. Edafología, ecología y reforestación. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 129-138. Madrid. ICONA.

GARCÍA DE CELIS, A.J. 2011a. Dinámica reciente de los abedulares en la comarca de Omaña (León). En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 225-236. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

GARCÍA DE CELIS, A.J. 2011b. Los paisajes ganaderos "mediterráneos" de Castilla y León: pastizales y matorrales. En Polígonos: Revista de Geografía, nº 21, pp. 205-222. Monográfico: Paisajes agrarios de Castilla y León. Universidades de León, Salamanca y Valladolid. Disponible en: http://revpubli.unileon.es

GARCÍA-DOMÍNGUEZ, C.; ARÉVALO, J.R. y CALVO, L. 2010. Short-term effects of low-intensity prescribed fire on ground-dwelling invertebrates in a Canarian pine forest. En revista: Forest Systems, nº 19(1), pp. 112-120. Madrid. INIA.

GARCÍA LATORRE, J. y GARCÍA LATORRE, J. 2007. *Almería: hecha a mano. Una historia ecológica*. Fundación Cajamar. El Ejido. 362 pp. Disponible en: http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/sociedad/almeria-hecha-a-mano-una-historia-ecologica/

GARCÍA LÓPEZ, J.M. y AULLÉ-ANDRADE, M. 2007. Ordenación y permanencia del monte. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. pp. 397-414. Valladolid. Junta de Castilla y León.

GASTÓ, J. 2008. Producción animal y paisaje cultural. En Fernández *et al.* (editores): *Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas*. Actas de la XLVII Reunión Científica de la SEEP. Pp. 509-523. Córdoba. Junta de Andalucía. Disponible en: www.seepastos.es

GAVIN *et al.* 2007. Forest fire and climate change in western North America: insights from sediment charcoal records. En Front Ecol Enoriron; 5(9): 499-506. doi:10.1890/060161. The Ecological Society of America. Disponible en: www.fs.fed.us/pnw/pubs/journals/pnw_2007_gavin001.pdf

Generalitat Valenciana y Tragsatec 1996. *Plan de selvicultura preventiva de incendios en los ecosistemas forestales de la Comunidad Valenciana. Memoria.* Valencia. GVA. 106 pp.

Gestión y estudios ambientales (GEA), scl. 2004a. *Educación ambiental en la prevención de incendios forestales*. Valladolid. Unión Europea, Fundación Biodiversidad, Junta de Castilla y León. 90 pp.

Gestión y estudios ambientales (GEA), scl. 2004b. *Educación y participación, herramientas útiles para la gestión forestal.* Valladolid. Unión Europea, Fundación Biodiversidad, Junta de Castilla y León. 166 pp.

GIL SÁNCHEZ, L. 2008. Pinares y rodenales: la diversidad que no se ve. En: *Discurso del académico electo Excem. Sr. D. Luis Gil Sánchez en el acto de su recepción pública el día 23 de septiembre de 2008 y contestación del académico Excem. Sr. D. José Alberto Pardos Carrión*. Real Academia de Ingeniería. Pp. 10-191.

GIL SÁNCHEZ, L. 2009a. El bosque que nos ha llegado: la extinción local de los bosques de *Pinus* y *Quercus* en España. En PROFOR·ES, número 1, 1er semestre de 2009, pp. 52-66.

GIL SÁNCHEZ, L. 2009b. Una desmedida devoción por los matorrales (o por qué estabilizar el paisaje humanizado). 5º Congreso Forestal Español. 43 pp. Referencia 5CFE02-003. Ávila. SECF. Disponible en: www.secforestales.org

GIL, L.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, P.M.; JIMÉNEZ, M.P.; ROLDÁN, M.; ALÍA R.; AGÚNDEZ, D.; DE MIGUEL J.; MARTÍN, S. y DE TUERO, M. 1996. *Regiones de procedencia de Pinus halepensis Mill*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. MMA. 113 pp.

GIL, L.; GORDO, J.; ALÍA, R.; CATALÁN, G. y PARDÓS, J.A. 1990. *Pinus pinaster* Aiton en el paisaje vegetal de la península Ibérica. Revista Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 469-495. ICONA. Madrid.

GIL, L y TORRE, M. (ed.) 2007. *Atlas forestal de Castilla y León*. Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente. Valladolid. 2 vols.: vol. I 388 pp.; vol. II 492 pp.

GIMENO, T.; PAUSAS, J.G. y VALLEJO, V.R. 2009. Protocolo para la evaluación del impacto ecológico de los incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-423. Ávila. SECF. 10 pp. Disponible en: www.secforestales.org

GIRÓN SOLORZANO, E.R. 2007. Monitoreo de efectos ecológicos del fuego y quemas prescritas: vacíos en el manejo forestal y de áreas naturales protegidas en Guatemala, Centroamérica. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 12 pp.

GLEASON, H.A. 1926. The individualistic concept of the plant association. Bulletin of the Torrey Botanical Club Vol. 53, No. 1 (Jan.), pp. 7-26.

Gobierno de Aragón. 2010. Gráfica de causalidad promedio periodo 1986-2005. Zaragoza. Disponible en: http://portal.aragon.es/

GOLDAMMER, J.G.; HOFFMANN, G.; BRUCE, M.; KONDRASHOV, L.; VERKHOVETS, S.; KISILYAKHOV, Y.K.; RYDKVIST, T.; PAGE, H.; BRUNN, E.; LOVÉN, L.; EERIKÄINEN, K.; NIKOLOV, N. y CHULUUNBAATAR, T. 2007. The Eurasian Fire in Nature Conservation Network (EFNCN): Advances in

the use of prescribed fire in nature conservation, landscape management, forestry and carbon management in temperate-boreal Europe and adjoining countries in Southeast Europe, Caucasus, Central Asia and Northeast Asia. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 20 pp.

GOLDAMMER, J.G. y MANAN, S. 1996. Incendios en los bosques tropicales. En Actualidad Forestal Tropical, nº 4(1): pp. 3-7. Organización internacional de maderas tropicales.

GOLDAMMER, J.G.; RIGOLOT, E. y BIROT, Y. 2009. Conclusiones. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 88-90. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

GÓMEZ-ARNAU, G. y PICARDO, A. 1995. Motivaciones de los incendios forestales. El uso del fuego con finalidad agrícola o ganadera. Últimas experiencia de quemas controladas en el Norte de Burgos. Revista Montes, nº 41, pp. 32-36. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

GÓMEZ MENDOZA, J. 2005. La ciencia forestal: del rendimiento sostenido a la gestión sostenible. 4º Congreso Forestal español, La ciencia forestal: respuestas para la sostenibilidad. Zaragoza 26-30 septiembre. Conferencias Invitadas, 2007, pp. 121-138. Disponible: http://www.secforestales.org

GÓMEZ MURILLO, L.P.; RODRÍGUEZ CHÁVEZ, O.G. y RAYGOZA MARTÍNEZ, J.A. 2015. *Manual de clasificación y cuantificación de combustibles forestales. Manual del estudiante*. Manual para taller de clasificación y cuantificación de cargas de combustibles forestales. Sociedad de Consultores de Manejo del Fuego. México. Disponible en: www.alianza-mredd.org

GÓMEZ NAVARRO, J.J. 2006. Introducción a la teoría del caos. Documento en pdf. 25 pp. Disponible: http://www.fisimur.org/2006/03/10/introduccion-a-la-teoria-del-caos/

GONZÁLEZ-CABÁN, A. 1997. Factores institucionales y administrativos que afectan al coste de las quemas prescritas: el caso de Estados Unidos de América. En revista: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Vol. 6 (1 y 2), pp. 249-268. Madrid. INIA.

GONZÁLEZ LAXE, F. 2007. Análisis económico de los desastres: evaluación y cálculo de daños. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 137-163. Santiago de Compostela.

GONZÁLEZ MOLINA, J.M. 2005. *Introducción a la selvicultura general*. León. Servicio de publicaciones de la Universidad de León. 309 pp.

GONZÁLEZ MOLINA, J.M. 2006. *Manual de gestión de los hábitats del pino silvestre en Castilla y León*. Junta de Castilla y León. Valladolid. 123 pp.

GONZÁLEZ MOLINA, J.M.; PIQUÉ, M. y VERICAT, P. 2006. *Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de espacios forestales.* Solsona. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. 205 pp.

GONZÁLEZ PAN, J.R. (Coord.) 2012. *Los EPRIF. Planificación y desarrollo de actuaciones*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 521 pp.

GORDO, J. y GIL, L. 1990. Los bosques españoles y el Catalogo de Montes de Utilidad Pública. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 113-127. Madrid. ICONA.

GORDO, J.; CALAMA, R.; PARDOS, M; BRAVO, F. Y MONTERO, G. (ed.). 2012. *La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana*. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (Universidad de Valladolid-INIA). Valladolid. 254 pp.

GRAHAM, R.T.; JAIN, T. B. y LOSEKE, M. 2009. *Fuel treatments, fire suppression, and their interaction with wildfire and its impacts: the Warm Lake experience during the Cascade complex of wildfires in central Idaho, 2007*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-229. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 36 p. Disponible en: http://www.treesearch.fs.fed.us

GRAHAM, R.T.; McCAFFREY, S, y JAIN, T. B. 2004. *Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity*. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-120. 41 pp. Disponible en: www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr120.html

GRANDAS, J.A. y CASTRO, I. 2009. La prevención de incendios forestales mediante el manejo del fuego en Galicia. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-208. Ávila. SECF. 9 pp. Disponible en: www.secforestales.org

GRILLO, F. y MOLINA, D. 2007. *Curso de especialización en análisis del fuego forestal.* Master de gestión de fuegos forestales. Universitat de Lleida.

GRILLO DELGADO, F.; CASTELLNOU RIBAU, M.; MOLINA TERREN, D.; METÍNEZ LÓPEZ, E. y DIDAC DIAZ, F. 2008. *Análisis del incendio forestal: planificación de la extinción*. AIFEMA. Granada. 194 pp.

GRILLO, F.; DIAZ, F. y CAAMAÑO, J. 2009. III Curso europeo de manejo avanzado del fuego. Gran Canaria. 13-19 de noviembre. 62 pp. No publicado.

GUERRA GARCÍA, J.M. 1998. Respuestas a distintos tipos de manejo de la vegetación herbácea asociada a pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*). En: Revista Pastos: XXVIII (2), pp. 217 – 236. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

GUERRA VELASCO, J.M. 2011. Neoproductivismo, herencias, nuevos paradigmas y clorofilia: los paisajes del bosque en Castilla y León. En Polígonos: Revista de Geografía, nº 21, pp. 223-258. Monográfico: Paisajes agrarios de Castilla y León. Universidades de León, Salamanca y Valladolid. Disponible en: http://revpubli.unileon.es

GUIJARRO, M.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; MADRIGAL, J.; DÍEZ, C. y VEGA, J.A. 2005. Los focos secundarios en los incendios forestales: estudio y modelización. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. 8 pp. Disponible en: www.secforestales.org

HABROUK, A.; RETANA, J. y ESPELTA, J.M. 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. Plant Ecology 145: 91-99.

HAGNER, S. 1995. Silvicultura en los bosques boreales. En: Unasylva. Vol. 46(nº 181), p. 18-25. FAO. Disponible en: www.fao.org/docrep/v5200s/v5200s06.htm

HAMILTON, H. 1997. El corte y quema en la historia de los bosques suecos. Documento Red Forestal para el Desarrollo Rural (RDFN), número 21f, verano 1997, pp. 23-29. Disponible en: www.odi.org.uk/resources/docs/1566.pdf

HARDY, C.C.; HERMANN, S.M. y MUTCH, R.E. 2001. The wildland fire imperative. En Hardy *et al.*: *Smoke management guide for prescribed and wildland fire. 2001 Edition.* National Wildfire Coordinating Group. Fire use working team. Pp. 11-19. Boise, Idaho. Disponible en: www.nwcg.gov

HARDY, C.C. y LEENHOUTS, B. 2001. Why do we need a national smoke management guide?. En Hardy *et al.*: *Smoke management guide for prescribed and wildland fire. 2001 Edition.* National Wildfire Coordinating Group. Fire use working team. Pp. 3-7. Boise, Idaho. Disponible en: www.nwcg.gov

HARDY, C.C.; OTTMAR, R.G.; PETERSOM, J.L.; CORE, J.E. y SEAMON, P. 2001. *Smoke management guide for prescribed and wildland fire. 2001 Edition.* National Wildfire Coordinating Group. Fire use working team. Boise, Idaho. 226 pp. Disponible en: www.nwcg.gov

HARRIS, M. 2004. *Vacas, cerdos, guerras y brujas*. Alianza. Madrid. 248 pp.

HEIKKILÄ, T.V.; GRÖNQVIST, R. y JURVÉLIUS, M. 2010. *Wildland fire management. Handbook for trainers.* FAO. Roma. 248 pp.

HERNANDO LARA, C. 2000. Combustibles forestales: inflamabilidad. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 6.3-6.15. Madrid. McGraw-Hill.

HERNANDO LARA, C. 2013. Investigación y resultados acerca de la prevención de incendios forestales. En Revista Montes, nº 114, 3er trimestre, pp. 22-25. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

HORMAECHE AZUMENDI, J.I.; PÉREZ DE LABORDA DELDAUX, A.; SAENZ DE ORMIJANA FULGENCIO, T.; ANTÓN MURILLO, F.J.; BERISTAIN ETXABE, I.; JACA MITXELENA, J.I.; OLALDE MAGUREGUI, A. 2008. *El petróleo y la energía en la economía. Los efectos del encarecimiento del petróleo en la economía vasca.* Servicio de publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 296 pp.

INIFAP 2006. *Sitios de muestreo para el modelaje de combustibles forestales (SIMMCOF)*. Proyecto INIFAP 2006. Capítulo II. Reporte final. México. 42 pp. Disponible en: www.camafu.org.mx

ICONA 1981a. *Técnicas para la defensa contra incendios forestales.* Monografía nº 24. Ministerio de agricultura. Madrid. 200 pp.

ICONA 1981b. *Manual de prevención y lucha contra incendios forestales.* Ministerio de agricultura. Madrid. 47 pp.

ICONA 1987. *Clave fotográfica para la identificación de los modelos de combustible*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

IPIECA-IOGP 2016. *Quema controlada in situ de hidrocarburos derramados. Directrices de buenas prácticas para el personal de manejo de impactos y respuesta a emergencias*. Informe IOGP nº 523. Londres y Bruselas. 52 pp.

JAIN, T.B. y GRAHAM, R.T. 2004. Is forest structure related to fire severity? Yes, no, and maybe: methods and insights in quantifying the answer. En *Silviculture in special places: proceedings of the National Silviculture Workshop*, 8–11 September 2003, Granby, CO. (Comps WD Shepperd, LG Eskew), pp. 217–234. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station Proceedings RMRS-P-34. (Fort Collins, CO).

JAPINOT, M., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R.; LAMPIN-MAILLET, C. y BORGNIET, L. 2009. Evaluación temporal y espacial del riesgo de incendios forestales. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 43-49. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

JARDEL PELÁEZ, E.J. 2010. *Planificación del manejo del fuego.* Universidad de Guadalajara. Fundación Manantlán para la Biodiversidad de Occidente. Consejo Civil Mexicano para la Selvicultura Sostenible. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Autlán, Jalisco, México. 59 pp.

JÁUREGUI, B.M.; CELAYA, R., GARCÍA, U. y OSORO, K. 2005. Sucesión de un brezal-tojal quemado experimentalmente sometido a pastoreo con pequeños rumiantes. En: *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural* (Vol. II). Pp. 891-897. XLV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Gijón (Asturias), 28 de mayo al 3 de junio de 2005. Disponible en: www.seepastos.es

JIMÉNEZ, F.J.; GORDO, F.J. y GONZALEZ, A. 2006. Manual sobre criterios de gestión forestal compatibles con la conservación de aves y quirópteros asociados a hábitats forestales. Junta de Castilla y León. 80 pp.

Junta de Castilla y León 2000. *Plan forestal de Castilla y León. Documento para el debate público.* Consejería de medio ambiente. Valladolid. 247 pp.

Junta de Castilla y León 2006. *Plan 42. Un programa integral para la prevención de incendios forestales.* Consejería de medio ambiente. Valladolid. 105 pp.

KEELEY, J.E.; APLET, G.H.; CHRISTENSEN, N.L.; CONARD, S.C.; JOHNSON, E.A.; OMI, P.N.; PETERSON, D.L. y SWETNAM, T.W. 2009. *Ecological foundations for fire management in North American forest and shrubland ecosystems.* Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-779. Portland, OR: U.S.D.A., Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 92 pp.

KEELEY, J.E. y C.J. FOTHERINGHAM 2001. Historic fire regime in Southern California Shrublands. En Conservation Biology, vol. 15, nº 6, pp. 1536-1548. December.

KEELEY, J.E., C.J. FOTHERINGHAM, y M. MORAIS, 1999. Reexamining fire supression impacts on brushland fire regimes. En Science 284: 1829-1832.

KENNARD, D.K., FREDERICKSEN, T.S. y MOSTACEDO, B. 2001. Potencial de las quemas controladas para el manejo de especies maderables de bosques secos: estudio de caso de Lomerío. En Mostacedo y Fredericksen (Eds.). *Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia*. Proyecto Bolfor. Pp. 203-221. Disponible en: http://www.researchgate.net/

KONKIN D. y HOPKINS, K. 2009. Aprender cómo hacer frente a las perturbaciones derivadas del cambio climático y a otros fenómenos catastróficos que afectan a los bosques. Unasylva 60(231/232): 17-23.

KUUSELA, K. 1992. La silvicultura boreal de Finlandia: una piroecología sin fuego. En: Unasylva, 0041-6436, v. 43(nº 170), pp. 22-25. FAO. Disponible en: www.fao.org/docrep/u6850e/u6850e05.htm

LADRACH, W. *et al.* 2009. El efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales. Informe especial. ISTF noticias. Maryland. 20 pp. Disponible en: www.istf_bethesda.org

LANDSBERG, J.D. 1997. El fuego y los bosques: el fuego puede ser un buen criado o un mal amo. En actas del XI Congreso Forestal Mundial. Antalya (Turquía). Pp. 191-196.

LARRAÑAGA, A.; GALÁN, M.; PELLISA, O.; ROVIRA, J. y MIRALLES, M. 2007. Discusión sobre el análisis de costes de las quemas prescritas en los ámbitos de pre-extinción y gestión forestal. Valoración de 6 años de experiencia en Cataluña. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 14 pp.

LARRAÑAGA, A. y PIQUÉ, M. 2009. Integración del análisis de las perturbaciones en la planificación forestal. Caso de los incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-559. Ávila. SECF. 9 pp. Disponible en: www.secforestales.org

LASKO, R. 2010. Implementing federal wildland fire policy—responding to change. En *Fire Management Today*. *Managing wildland fire*. Vol. 70, nº 1. Pp. 5-7. USDA. Forest Service. Disponible en: http://www.fs.fed.us/fire/fmt/

LÁZARO PALACIOS, M.A. 2009. Reconstrucción histórica y tipificación de los incendios forestales en el Prepirineo Central y Occidental de Aragón. Trabajo Práctico Tutorado de Ingeniería Técnica Forestal. Universitat de Lleida. Escola Técnica Superior d`Ingenyria Agrària. 92 pp. Disponible en: www.secforestales.org

LÁZARO, A. y MONTIEL, C. 2010. Overview of prescribed burning policies and practices in Europe and other countries. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 137-150. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

LEBLIC, G. y NÚÑEZ, L. 2005. Modulo IX: Incendios forestales. En *Prontuario forestal*. COIM y COITF. Madrid. 27 pp.

LEVIS, C. *et al.* 2017. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. Science, 355. Pp. 925-931. 3 March.

LIENDO STUARDO, R. (editor) 2011. *B´aakal. Arqueología de la región de Palenque, Chiapas, México. Temporadas 1996-2006.* Paris Monographs in American Archaeology 26. BAR International Series 2203, Oxford. 299 pp.

LIU, J.D. 2009. *Hope in changing climate*. Video documental, 22 min. Disponible en: http://eempc.org

LIZARRALDE, I.; BROTO, M. y RODRÍGUEZ, F. 2007. Ciclo de vida de los productos forestales. Impacto sobre la fijación de CO_2. En Bravo (coord.) *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*. Capítulo 8. Pp. 263-288. Fundación Gas Natural. Barcelona.

LLORET, F. 2004. Régimen de incendios y regeneración. En Valladares, F.: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. pp. 101-126. Madrid. OAPN. MMA.

LÓPEZ ARIAS, M. 2005. Seguimiento intensivo y continuo de las perturbaciones en la composición, funcionamiento y biodiversidad. IV Congreso Forestal Español. Referencia OP07CF-002. Zaragoza. SECF. 45 pp. Disponible en: www.secforestales.org

LÓPEZ, B. y VÉLEZ, R. 2005. Sistemática para el seguimiento del impacto de los grandes incendios en España. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. 8 pp. Disponible en: www.secforestales.org

LÓPEZ, E.; CLIMET, J.M. y MONTERO, G. 2008. Selvicultura de *Pinus canariensis* Sweet. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 267-287. Madrid. INIA. MEC.

LÓPEZ MERINO, L. 2012. Almenara de Adaja. En CARRIÓN, J.S. (coord.) 2012. *Paleoflora y paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario.* Pp 454-456. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid; Universidad de Murcia, Murcia. 972 pp. Disponible en: http://roderic.uv.es/handle/10550/33959

LOWENSTERN, J.B.; CHRISTIANSEN, R.L.; SMITH, R.B.; LISA A. MORGAN, L.A. y HEASLER, H. 2005. Steam Explosions, Earthquakes, and Volcanic Eruptions—What's in Yellowstone's Future?. USGS Fact Sheet 2005-3024. U.S. Geological Survey and the National Park Service. 6 pp. Disponible en: http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3024/

LUCIO CALERO, A. 2007. Los habitantes del bosque. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. Pp. 157-172. Junta de Castilla y León. Valladolid.

de LUIS, E.; CALVO, L.; VALBUENA, L.; SANTALLA, S.; MARCOS, E. y TÁRREGA, R. 2005. Regeneración de la comunidad vegetal en pinares de *Pinus pinaster* en la Sierra del Teleno (León). En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno*. Pp. 139-152. Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

MADRID CASADO, C.M. 2010. Historia de la teoría del caos contada para escépticos. Cuestiones de génesis y estructura. En: Encuentros multidisciplinares. Vol. 12, nº 34. Pp. 16-31.

MADRIGAL OLMO, J. 1999. *Control de la carga de combustible forestal mediante el uso ordenado y planificado de quemas prescritas en la comarca del Campo de Gibraltar (Cádiz)*. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Proyecto final de carrera de Ingeniería de Montes (no publicado). 233 pp. (memoria).

MANSON, R.H.; E.J. JARDEL P.; M. JIMÉNEZ-ESPINOZA y C.A. ESCALANTE-SANDOVAL. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: R. Dirzo, R. González e I.J. March (Compiladores) *Capital Natural de México. Vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. Pp.131-184.

MARGALEF, R. 1974. *Ecología*. Ediciones Omega. Cuarta reinpresión (1982). Barcelona. 951 pp.

MARIE-CLAUDE, B.; BORIS, V.; DIDIER, G. y CHISTINE, R. 2007. Fire and human activities on the Pyrenees montain (Western Pyrenees and Eastern Pyrenees), inferred from pedoanthracological, palynological, microcharcoal and archaeological data. An interdisciplinarity approach (abstract). Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR.

MARLON, J.; BARTLEIN, P.J. y WHITLOCK, C. 2006. Fire-fuel-climate linkages in the northwestern United States during the Holocene. En: *The Holocene* 16(8), 1059-1071. Disponible en: http://jennmarlon.info/papers/Marlon_etal_2006_Holocene.pdf

MARSDEN-SMEDLEY, J.B. y SHERRIFF, L.J. 2014. *Planned burning manual-guidelines to enable safe and effective planned burning on private land*. NRM North, Launceston, Tasmania. 38 pp. Disponible en: http://www.sfmc.tas.gov.au

MARTÍN CHIVELET, J. 1999. *Cambios climáticos. Una aproximación al sistema Tierra*. Ediciones Libertarias/ Prodhufi S.A. Madrid. 324 pp.

MARTÍN LARRAÑAGA, M. 2010. La bioenergía: estrategia para una economía verde. Revista AMBIENTA. Nº 93. 01-12-2010. MMARM. Disponible en: http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Bioenergia.htm

MARTIN, R.E. y DELL, J.D. 1978. *Planning for prescribed burning in the Inland Northwest*. 67 pp. USDA Forest Service General Technical Report PNW-76.

MARTÍNEZ RUIZ, C. 2003. *Estimación y evaluación de parámetros ecológicos*. Apuntes de asignatura de Ingeniería de Montes. ETSIIAA de Palencia. UVa. Servicio de reprografía del campus de La Yutera.

MARTÍNEZ RUIZ, C. 2004. *Ecología de sistemas terrestres y dulceacuícolas*. Apuntes de asignatura de Ingeniería Técnica Forestal. ETSIIAA de Palencia. UVa. Servicio de reprografía del campus de La Yutera.

MARTÍNEZ RUIZ, E. 1997. *Manual del contrafuego*. Madrid. Grupo Tragsa. 52 pp.

MARTÍNEZ RUIZ, E. 1999. El fuego y la erosión. I "Importancia histórica de los incendios forestales en la erosión". Revista Montes, nº 58, pp. 10-15. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MARTÍNEZ RUIZ, E. 2000. El fuego y la erosión. II "El riesgo por la sucesión fuego-erosión y la cuantificación de la perdida de suelo postincendio". Revista Montes, nº 59, pp. 5-11. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MARTÍNEZ RUIZ, E. 2001. *Manual de quemas controladas*. Madrid. Mundi-Prensa, Grupo Tragsa. 175 pp.

MARTÍNEZ RUIZ, E. 2007a. Grandes incendios forestales en España, ¿grandes fracasos?. I Problemática de los grandes incendios forestales. Revista Montes, nº 91, pp. 27-31. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MARTÍNEZ RUIZ, E. 2007b. Grandes incendios forestales en España, ¿grandes fracasos?. II Consideraciones a tener en cuenta en la extinción de grandes incendios forestales. Revista Montes, nº 93, pp. 25-29. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MARTÍNEZ RUIZ, E. 2010. *Manual de extinción de grandes y peligrosos incendios forestales. Técnicas eficaces y seguras*. Ediciones Mundi-Prensa. 159 pp.

MARTÍNEZ, E.; AGUIRRE, F. y GÓMEZ, R. 2009. Nuevos medios y nuevas técnicas en la lucha contra los incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-427. Ávila. SECF. 13 pp. Disponible en: www.secforestales.org

MARTÍNEZ, E. y MARTÍNEZ, E. 2000. Notas sobre la necesaria prevención de incendios forestales en Galicia. Programación de quemas controladas. Esquema de plan quinquenal. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 243-252. Disponible en: www.secforestales.org

MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J.J.; FERRANDÍS, P.; HERRANZ, J.Mª. y BURGOS, A. 1996. Evolución de la vegetación colonizadora post-incendio en pinares del suroeste de la provincia de Albacete (España). En revista: Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Vol. 5 (1), pp. 5-17. Madrid. INIA.

MAVSAR, R. 2009. Aspectos económicos de los incendios forestales. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 65-68. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

MAVSAR, R.; GONZÁLEZ CAVÁN, A. y FARRERAS, V. 2010. The importance of economics in fire management programmes analysis. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 93-103. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

de MESANZA, B. 1957. Organización contra incendios forestales en Las Landas francesas. Revista Montes nº 75, pp. 163-164. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) 2014. *Diagnóstico del sector forestal español. Análisis y prospectiva*. Serie Agrinfo/Medioambiente nº 8. Octubre. 10 pp. Disponible en: http://www.mapama.gob.es

Ministerio de Agricultura y Bosques y World Resources Institute 2013. *Atlas forestal interactivo de la República de Guinea Ecuatorial*. Versión 1.0.: Documento de síntesis. Washington D.C.. 42 pp.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA) 2002. *Plan forestal español*. 145 pp. Disponible en: http://www.magrama.gob.es

Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y TECNOMA 2006. *Estudio para reducir la vulnerabilidad de las áreas urbanas con interfaz forestal frente a los incendios forestales.* Madrid. M.M.A. Disponible en: http://www.magrama.gob.es

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) 2007. *Análisis de la huella ecológica de España 2008.* Centro de publicaciones. Secretaria general técnica. 64 pp. Disponible en: http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Huella%20ecologica%20de%20Espana.pdf

MINNICH, R.A. 1983. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. En Science, 219: 1287-1294.

MINNICH, R.A. 2001. An integrated model of two fire regimes. En Conservation Biology, 15: 1549-1553.

MINNICH, R.A. y CHOU, Y.H. 1997. Wildland fire patch dynamics in the chaparral of southern California and northern Baja California. En International Journal of Wildland Fire, 7: 221-248.

MIRALLES, M.; KRAUS, D.; MOLINA, D.; LOUREIRO, C.; DELOGU, G.; RIBET, N. y VILALTA, O. 2010. Improving suppression fire capacity. En: EFI Research Report nr. 23. Fire Paradox, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 203-215. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

MOBLEY, H.E. (compilador) 1976. *Southern Forestry Smoke Management Guidebook*. Gen. Tech. Rep. SE-10. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 140 pp. Disponible en: www.treesearch.fs.fed.us

MOLINA, D. M. 2000. El fuego prescrito y los planes de quemas. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 14.36-14.61. Madrid. McGraw-Hill.

MOLINA, D.M.; BLANCO, J.; GALÁN, M.; POUS, E.; GARCÍA, J.B. y GARCÍA, D. 2009. *Incendios forestales: fundamentos, lecciones aprendidas y retos de futuro*. El Chaparral. AIFEMA. 256 pp.

MOLINA, D.M.; CASTELLNOU, M.; GARCÍA-MARCO, D. y SALGUEIRO, A. 2010. Improving fire management success through fire behaviour specialists. En: EFI Research Report nr. 23. Fire *Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 106-119. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

MOLINA, D.M.; FABABÚ, D.D.; GRILLO, F.F.; GARCÍA, D. y ARÉVALO, J.R. 2007. Uso del fuego prescrito para establecer cortafuegos sombreados: caso de estudio de Gran Canaria. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Disco del cuaderno de resúmenes. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 16 pp.

MOLINA, D.M.; GALÁN, M.; FABABÚ, D.D.; GARCÍA, D. y MORA, J.B. 2007. Prescribed fire use for cost effective fuel management in Spain. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 5 pp.

MOLINA, D. M.; GRILLO, F. y GARCÍA, D. 2006. Uso del fuego prescrito para la creación de rodales cortafuegos: estudio del caso de Las Mesas de Ana López, Vega de San Mateo, Gran Canaria (España). . En revista: Invest. Agrar.: Sist. Recur. For., nº 15(3), pp. 271-276. Madrid. INIA.

MOLINA, Mª.J. y LLINARES, J.V. 2000. Comportamiento del fuego, intensidad y efectos sobre el suelo en quemas controladas de matorral valenciano en verano y en otoño. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 155-161.

MONTERO, G. y LÓPEZ, E. 2008. Selvicultura de *Quercus suber* L. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 779-829. Madrid. INIA. MEC.

MONTERO DE BURGOS, J.L. 1987. La regresión vegetal y la restauración forestal. En Boletín de la Estación Central de Ecología. 16 (31):5-22,23 Ref. Madrid. Estación Central de Ecología. ICONA.

MONTERO DE BURGOS, J.L. 1990. Evolución vegetal. Óptimo natural y óptimo forestal. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 309-320. Madrid. ICONA.

MONTERO DE BURGOS, J.L. y GONZÁLEZ REBOLLAR *et al.* 1981. Restauración de espacios naturales degradados. Forestación y reforestación (I). En Ramos Figueras, J.L.: *Acciones y tecnologías para la defensa y restauración del medio natural.* Capitulo 57. Tratado del Medio Natural, tomo IV. Madrid. UPM.

MONTIEL, C. 2011. Fire use practices and regulation in Europe: Towards a Fire Framework Directive. The 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa. 9-13 may. 10 pp.

MONTIEL, C. 2013b. Investigación geohistórica sobre las causas de los incendios forestales. En Revista Montes, nº 114, 3er trimestre, pp. 17-21. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MONTIEL, C. (Coord.) 2013a. *Presencia histórica del fuego en el territorio*. MAGRAMA. 230 pp.

MONTIEL, C.; COSTA, P. y GALÁN, M. 2010. Overview of suppression fire policies and practices in Europe. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 177-187. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

MONTIEL, C. y HERRERO, G. 2010. An overview of policies and practices related to fire ignitions at the European Union level. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 35-46. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

MONTIEL, C. y SAN MIGUEL, J. 2009. El análisis de las políticas revela la necesidad de enfoques nuevos. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 70-74. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

MONZÓN PERALA, A. 2000. Los incendios forestales en la zona mediterránea. Revista Montes, nº 60, pp. 85-91. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MORA-FOGUEROA, F. 2007. La problemática de los incendios forestales en las zonas mediterráneas por la falta de aprovechamiento de los recursos forestales. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 4 pp.

MOREIRA, F. y VALLEJO, R. 2009. ¿Qué hacer después de un incendio? Recuperación después de un incendio. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 58-63. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

MORENO, J.M. 2009. Impactos en el riesgo potencial de incendios debidos al cambio climático. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 77-80. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

MORENO, J.M.; CESPEDES, B.; CJAMORRO, D.; LUNA, B.; PARRA, A.; PÉREZ, B.; TORRES, I. y URBIETA, I.R. 2013. La regeneración post-incendio: Fase crítica para la persistencia de las especies vegetales bajo el cambio climático. En Revista Montes, nº 114, 3er trimestre, pp.. 12-16. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

MORENO, J.M. y CRUZ, A. 2000. La respuesta de las plantas al fuego. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. pp. 4.13-4.36. Madrid. McGraw-Hill.

MORFÍN-RÍOS, J.E.; JARDEL, E.J.; ALVARADO, E. y MICHEL-FUENTES, J.M. 2012. *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Comisión Forestal Nacional-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 111 pp. Disponible en: http://www.ccmss.org.mx

MORGAN, G. y LEONARD, M. 2015. La tragedia del Sábado Negro: el incendio forestal más mortífero jamás registrado en Australia. En Unalsiva. Vol. 66 2015/1–2. Pp. 32-39. FAO. Roma.

MORIN, E. (2006). *La complejidad hoy*. Video de una conferencia dada el 13 de enero. 84 min. Centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias y humanidades. UNAM. Ciudad de México. Disponible en: www.youtube.com

MOSQUERA-LOSADA, M.R.; SANTIAGO-FREIJANES J.J.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.; MOUHBI, R.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E. y RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. 2009 Sistemas silvopastorales en prevención de incendios en Galicia: Red de experiencias piloto de transferencia de tecnología. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-203. Ávila. SECF. 7 pp. Disponible en: www.secforestales.org

MUÑOZ MOLINA, A. 2012. La ciencia de los árboles. Las dos culturas. En revista: Muy interesante. Febrero. Madrid.

MUÑOZ TORRECILLA, E. 2011. El paisaje actual de los valles pasiegos burgaleses; gestión y problemática ligada al uso del fuego. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 295-307. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

MUTKE, S.; CALAMA, R.; GORDO, J. y GIL, L. 2007. El uso del pino piñonero como especie frutal en sistemas agroforestales de secano. En Actas de la III Reunión sobre Sistemas Agroforestales. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For., nº 22, pp. 137-142. Disponible en: http://www.secforestales.org

MYERS, R.L. 2006. *Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego*. The Nature Conservancy. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. 28 pp. Tallahasse. Disponible en: www.conservationgateway.org

NÁJERA DÍAZ, A. 2015. *Manual del participante. Curso de evaluación, cuantificación y manejo de combustibles forestales en plantaciones forestales*. Proyecto manejo integrado del fuego. República de Panamá, Ministerio de Medio Ambiente e ITTO. Veraguas. 43 pp.

NARAYAN, C.; FERNANDES, P.M.; VAN BRUSSELEN, J. y SCHUCK, A. 2007. Potential for CO_2 emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol. Forest Ecology and Management, nº 251. Pp. 164-173.

National Wildfire Coordinating Group 2001. *Fire effects guide*. Boise. National Interagency Fire Center. 313 pp. Disponible en: http://www.nwcg.gov

NAVARRETE, R. 2009. Cortafuegos que generan erosión. En Quercus nº 283, septiembre, pp. 82. Madrid.

NAVARRO GARNICA, M. (Coord.) 1977. *Técnicas de forestación 1975*. ICONA. Madrid. 211 pp.

NELSON, R.M. Jr. 2000. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. En revista: Can. J. For. Res. Nº 30: 1071–1087. Disponible en: http://www.firemodels.org

NOBLE, I.R. y SLATYER, R.O. 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. Vegetatio, 43, pp. 5-21.

OGLESBY, R. J.; SEVER, T. L.; SATURNO, W.; ERICKSON; D.J. III; y SRIKISHEN, J. 2010. Collapse of the Maya: Could deforestation have contributed?, En: J. Geophys. Res., 115, D12106, doi:10.1029/2009JD011942. 10 pp.

OLIVER, C.D. y LARSON, B.C. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill. Nueva York. 467 pp.

OLIVERAS, I.; PIÑOL, J. y VEIGAS, D.X. 2005. Modelling the long term effect of changes in fire frequency on the total area burnt. En Orsis: nº 20, pp. 73-81.

OPPENHEIMER, W. (2011, 18 de abril). España entra en déficit ecológico. Diario El País. Madrid. Disponible en: http://www.elpais.com/articulo/sociedad/Espana/entra/deficit/ecologico/elpepusoc/20110418elpepisoc_4/Tes

ORIA DE RUEDA, J.A.; DE LA PARRA, B.; OLAIZALA, J.; MARTÍN, P.; MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. y ÁLVAREZ, Mª.A. 2008. Selvicultura micológica. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 833-860. Madrid. INIA. MEC.

ORIA DE RUEDA, J.A.; MARTÍN, P.; MARTÍNEZ, A.; OLAIZOLA, J.; DE LA PARRA, B.; FRAILE, R. y ÁLVAREZ, Mª.A. 2007. *Hongos y setas. Tesoro de nuestros montes.* Ediciones Cálamo. Palencia. 280 pp.

ORIA DE RUEDA, J.A.; OLAIZOLA, J.; FRAILE, R. y MARTÍN-PINTO, P. 2009. Producción de *Boletus* asociados a matorrales de Cistáceas en el Noroeste de España. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-447. Ávila. SECF. 11pp. Disponible en: www.secforestales.org

ORTUÑO MEDINA, F. 1990. El plan para la repoblación forestal de España del año 1939. Análisis y comentarios. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 373-392. Madrid. ICONA.

OSTROM, E. 1990. *El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva.* Fondo de Cultura Económica. 2ª edición (2011). México D.F. 399 pp.

OSTROM, E. 1997. Esquemas institucionales para el manejo exitoso de recursos comunes. Conferencia sobre instituciones locales y manejo de los bosques: como la investigación puede hacer la diferencia. 19-21 de noviembre. Bogor. Indonesia. Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/gacetas/273/elinor.html

OSTROM, E. 2001. Reformulando los bienes comunes (publicado originalmente: Reformulating the commons). En Burger, Ostrom, Norgaard, Policansky y Goldstein (eds.): *Protecting the commons: a framework for resource management in the Americas*. Washington, D. C., Island Press, pp. 17-41. Traducción de D. Pinedo. Disponible en: nocionescomunes.files.wordpress.com

OTTMAR, R.D.; PETERSON, J.L.; LEENHOUTS, B. y CORE, J.E. 2001. Smoke management: techniques to reduce or redistribute emissions. En Hardy *et al.*: *Smoke management guide for prescribed and wildland fire. 2001 Edition.* National Wildfire Coordinating Group. Fire use working team. Pp. 141-159. Boise, Idaho. Disponible en: www.nwcg.gov

PACHECO, P. 2011. Los bosques ante las disyuntivas de desarrollo agrícola y forestal. Exposición de oficial CIFOR ante el Subgrupo de bosques, biodiverdidad y C.C. de la cooperación gubernamental e internacional, en la representación FAO-Bolivia. Presentación Power Point, 31 diapositivas. Mayo. La Paz. No publicado.

PALOMAR, M.L.; MARTÍNEZ, J. y FERNÁNDEZ, M.C. 1996. Impacto del fuego en suelos desarrollados bajo bosques de *Pinus sylvestris* en el puerto de La Morcuera. Revista Montes, nº 43, pp. 33-36. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

PARDÓS, M.; RUIZ DEL CASTILLO, J.; CANELLAS, I. y MONTERO, G. 2005. Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. En revista: Invest. Agrar.: Sist. Recur. For., nº 14(3), pp. 434-445. Madrid. INIA.

PARMINTER J. y DAIGLE P. 1997. Landscape Ecology and Natural Disturbances: Relationships to Biodiversity. Extension note. Ministry of Forests. Research Program. British Columbia. 9 pp. Disponible en: http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/En/En10.pdf

PARSONS, D.J. y LANDRES, P.B. 1998. Restoring natural fire to wilderness: how are we doing?. En Pruden y Leonard (eds.). *Fire in ecosystem management: shifting the paradigm from suppression to prescription.* Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings, Nº. 20, pp. 366-373. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL.

PARSONS, D.J., LANDRES, P.B. y MILLER, C. 2003. Wildland fire use: the dilemma of managing and restoring natural fire and fuels in United States wilderness. Pages 19-26 En Galley, Klinger, y Sugihara (eds.). *Proceedings of Fire Conference 2000: The First National Congress on Fire Ecology, Prevention, and Management.* Miscellaneous Publication Nº. 13, pp. 19-26. Tall Timbers ResearchStation, Tallahassee, FL.

PASTOR, A. y CALVO, L. (producción); RAMOS, R. (guión) 2016. *La huella del fuego*. Documental para televisión. Programa: Crónicas. Televisión Española. 48 min. Emitido el 23 de noviembre. Disponible en: www.rtve.es

PAULA, S. y PAUSAS J.G. 2009. BROT: a plant trait database for Mediterranean Basin species. Version 2009.01. Disponible en (versión actual: 2013.06): http://www.uv.es/jgpausas/brot.htm

PAUSAS, J.G. 2004. Recurrencia de incendios en el monte mediterráneo. En Vallejo y Alloza (ed.): *Avances en el estudio del monte mediterráneo*. Pp. 47-64. CEAM. Valencia.

PAUSAS, J.G. 2010. Fuego y evolución en el Mediterráneo. En Investigacion y Ciencia 407: 56-63 (2010). Barcelona.

PAUSAS, J.G. 2012. *Incendios forestales. Una visión desde la ecología.* Colección ¿Qué sabemos de?. Catarata y CSIC. Madrid. 119 pp.

PAUSAS, J.G. y PAULA, S. 2005. EUFIRELAB: Plant functional traits database for Euro-Mediterranean ecosystems. D-04-06. Deleverable D-04-06; 33 pp. Disponible en: http://www.eufirelab.org

PEMÁN, J.; NAVARRO, R. Mª. y SERRADA, R. 2006. Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre. Invest Agrar: Sist Recur For (2006) Fuera de serie, 87-102. Madrid. INIA.

PEÑALVER, F.; MARTÍN-PINTO, P.; OLAIZOLA, J. y ORIA DE RUEDA, J. A. 2005. Influencia del fuego en la diversidad y producción micológica de un jaral (*Cistus ladanifer* L.) en Zamora. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. 6 pp. Disponible en: www.secforestales.org

PICARDO NIETO, A. 2007. El aprovechamiento pastoral del monte. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León.* pp. 571-606. Junta de Castilla y León. Valladolid.

PICARDO NIETO, A. 2011. Aspectos socioeconómicos, legislativos y administrativos de la prevención de incendios. Presentación Power Point, 25 diapositivas. Programa Firesmart. 1ª reunión de trabajo: Smart forest fire prevention in Europe. 28 de abril, Madrid. Disponible en: http://www.firesmart-project.eu

PICARDO NIETO, A. 2012. "Es mejor utilizar papel que un aparato electrónico". Entrevista realizada por Fernández Muerza, A. 14 de enero. Fundación Eroski. Publicado en: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2012/01/14/206085.php

PICARDO NIETO, A. y PINILLOS HERRERO, F. 2013. La resinación en España y en el mundo en 2013: Situación y perspectivas. En: II Simposio Internacional de Resinas Naturales, del 16 al 18 de abril de 2013, Coca – Segovia. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. Pp. 30-53. Disponible en: http://www.sust-forest.eu/

PICARDO, A. y TORRE, M. 1993. Incendios forestales provocados, ¿algo inevitable?. I Congreso Forestal Español. Ponencias y comunicaciones, tomo III, pp. 233-238. Lourizan. Disponible en: www.secforestales.org

PICKETT, S.T.A. y WHITE, P.S. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics.* New York. Academic Press. 472 pp.

PIÑOL, J. 2001. Acumulació de combustible i la paradoxa de l´extinció. En *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecología del foc*. Actes de les Jornades sobre Incendis Forestals i Recerca de la xarxa ALINFO. 39-43 pp. Xarxa ALINFO.

PIÑOL, J., BEVEN, K. y VIEGAS, D.X. 2005. Modelling the effect of fire-exclusion and prescribed fire on wildfire size in Mediterranean ecosystems. En Ecological Modelling 183: 398-409.

PIQUÉ, M. 2012. Reducción de la vulnerabilidad a los grandes incendios forestales (GIF). En: Vericat, P; Piqué, M.; Serrada, R. (eds.). *Gestión adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneos.* Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida), pp. 83-100.

PIQUÉ, M.; ELIZONDO, I. y COLL L. 2007. Evaluación de los efectos e idoneidad del uso del fuego prescrito para realizar clareos en regenerados de *Pinus halepensis* en Cataluña. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR.

PORRERO RODRÍGUEZ, M. A. 2001. *Incendios forestales. I. Investigación de causas.* Madrid. Mundi-Prensa. 158 pp.

PRIGOGINE, I. 1997. *Chercheurs de notre temps I: un héritage insatisfaisant*. Entrevista televisiva. 50 min. Centre national de documentation pédagogique (France). Paris.

PUETTMANN, K.J.; COATES, K.D. Y MESSIER, C. 2008. *A critique of sylviculture. Managing for complexity.* IslandPress. Washington-Covelo-London. 189 pp.

PUETTMANN, K.J.; COATES, K.D. Y MESSIER, C. (editors) 2013. *Managing forest as complex adaptive system. Building Resilience to the Challenge of Global Change.* Routledge. 368 pp.

PYNE, S.J. 1999. El fuego sobre la tierra. Introducción a su historia. En ARAQUE JIMÉNEZ, E. (Coord.): *Incendios históricos. Una aproximación multidisciplinar.* Universidad Internacional de Andalucía. Baeza. Pp. 365-382.

PYNE, S. J.; ANDREWS, P. L. y LAVEN, R.D. 1996. *Introduction to wildland fire.* Nueva York. John Wiley & Sons, INC. pp. 769.

RADA, O.; SAMPEDRO, Y.; CADENAS, R.M.; DE LA FUENTE, A.; DOMÍNGUEZ, C.; TURIÑO, M.M.; VÉLEZ, L.; ESPINOSA, J.R. y GARCÍA, J. 2009. El Plan 42: Un programa integral para la prevención de incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-454. Ávila. SECF. 10 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RAMOS RODRÍGUEZ, M.P. 2010. *Manejo del fuego*. Editorial Félix Varela. La Habana. 240 pp.

REGO, F.C. y FERREIRA, S. 2000. Preparación de un plan de gestión de quema controlada para un perímetro forestal en el norte de Portugal. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 29-34.

REGO, F.C.; SILVA, J.S.; FERNANDES, P. y RIGOLOT, E. 2010. Solving the Fire Paradox – Regulating the Wildfire Problem by the Wise Use of Fire. En: EFI Research Report nr. 23. Fire Paradox, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 220-226. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

REQUE, J.A.; BAYARRI, E. y SEVILLA, F. 2013. *Diagnóstico selvícola*. UVa-PROFOR. Valladolid. 178 pp. Disponible en: www.profor.org

REY i LLANGUIA, J. 2000. Memoria de quemas controladas en Cataluña. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 225-234.

REY, E. y RUIZ, I. 2005. Los incendios forestales en los montes del Teleno en el periodo 1983-2002. En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno.* Pp. 55-72. Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

REYES, O. y CASAL, M. 2000. Comportamiento reproductivio tras fuego de especies forestales de Galicia. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 109-114.

REYNA, S. y GARCÍA, S. 2005. Implantación de truferas y selvicultura trufera como base para las áreas cortafuegos de encinares de media montaña sobre suelos calizos. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. 7 pp. Disponible en: www.secforestales.org

REYNA, S. y GARCÍA, S. 2011. *Truficultura práctica*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 100 pp.

RICO RICO, F. 1978. Los incendios forestales y sus efectos ecológicos. Revista Montes, nº 190, pp. 5-19. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

RIGOLOT, E. 2000. Le brûlage dirige en France: outil de gestion et recherches associeés. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 165-178. Disponible en: www.secforestales.org

RIGOLOT, E.; FERNANDES, P. y REGO, F. 2009. Gestión del riesgo de incendios forestales: prevención, extinción. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 51-55. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; SANTIAGO-FREIJANES, J.J; MOUHBI, R.; MURR, S.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M. y MOSQUERA-LOSADA, R.M. 2010. Sistemas silvopastorales en prevención de incendios en Galicia: red de experiencias piloto de transferencia de tecnología. En: *Pastos: fuente natural de energía*. Pp. 507-511. 4ª Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes, 3-6 mayo 2010, Zamora – Miranda do Douro. Servicio de publicaciones de la Universidad de León. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

del RÍO, M.; CALAMA, R. y MONTERO, G. 2008. Selvicultura de *Pinus halepensis* Mill. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 289-312. Madrid. INIA. MEC.

RIVAS-MARTÍNEZ, S. 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000*. ICONA. MAPA. Madrid. 268 pp.

RODRIGO, A.; RETANA, J. y PICÓ, F.X. 2005. Diferencias en la dinámica de regeneración de los bosques mediterráneos después de grandes incendios: consecuencias en el paisaje forestal. IV Congreso Forestal Español. Referencia 4CFE05-040. Zaragoza. SECF. 6 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RODRÍGUEZ HIERRO, M. 1998. Dos medidas preventivas en la comunidad de Castilla y León: quemas controladas y programas de desbroces. Revista Montes, nº 52, pp. 18-22. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

RODRÍGUEZ LÓPEZ, J. 2012. Percepción social del fuego forestal y su ecología: la necesidad de un cambio de orientación. En Foresta, nº 56, págs. 46-55. Colegio y asociación de Ingenieros Técnicos Forestales. Disponible en: http://www.forestales.net/archivos/forestal/pdfs%2056/CT1-Percepcion-social-del-fuego-forestal-y-su-ecologia.pdf

RODRÍGUEZ, R.J. y MADRIGAL, A. 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster Ait.* subsp. *atlantica* H. de Vill. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 367-398. Madrid. INIA. MEC.

RODRÍGUEZ, R.J.; SERRADA, R.; LUCAS, J.A.; ALEJANO, R.; del RÍO, M.; TORRES, E. y CANTERO, A. 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster Ait.* subsp. *mesogeensis* Fieschi & Gaussen. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 399-430. Madrid. INIA. MEC.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2000. Bases técnicas para la elaboración de un plan regional de quemas prescritas, aplicación a la comunidad autónoma de Andalucía. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 253-264.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2001. Gestión y experimentación de quemas prescritas en Andalucía, recomendaciones técnicas para su empleo en la defensa contra incendios forestales. III Congreso Forestal Español. SECF. Sierra Nevada. 6 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2005a. Integración de las quemas prescritas, en el diseño y mantenimiento de sistemas lineales preventivos de defensa y en le análisis económico aplicado al control de carga de los combustibles en ecosistemas forestales mediterráneos. Reflexiones sobre tratamientos preventivos, costes y rendimientos, referencias a casos recientes: Incendios de Minas de Río Tinto, (Huelva, 2004). *II Conferencia internacional sobre estrategias de prevención de incendios en el sur de Europa.* Barcelona. 14 pp.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2005b. SINAMI, un método para el análisis económico de los planes de defensa contra incendios en ecosistemas forestales mediterráneos, desarrollo y aplicación desde una perspectiva provincial. IV Congreso Forestal Español. Zaragoza. SECF. 6 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2009. ECONOSINAMI, una herramienta informática para la evaluación económica de los programas de defensa contra incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-466. Ávila. SECF. 13 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RODRÍGUEZ Y SILVA, F. (editor) 2010. Lecciones aprendidas de grandes incendios forestales (taller). Versión electrónica. Universidad de Córdoba, SECF, Junta de Andalucía, EGMASA, MMARM. Córdoba. 287 pp.

RODRIGUEZ Y SILVA, F. y MOLINA-MARTÍNEZ, J.R. 2010. *Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos*. 89 pp. Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales, Universidad de Córdoba. Disponible en: www.secforestales.org

RODRIGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA-MARTÍNEZ, J.R.; HERRERA, M.A. y ZAMORA, R. 2009. El Impacto Socioeconómico de los Incendios Forestales: Procedimiento para su determinación e implementación cartográfica. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-432. Ávila. SECF. 13 pp. Disponible en: www.secforestales.org

RODRÍGUEZ TREJO, D. A. 1996. *Incendios forestales.* México D.F. Mundi-Prensa México S.A. 630 pp.

RODRÍGUEZ TREJO, D. A.; RODRÍGUEZ AGULAR, M. y FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, F. 2000. *Educación e incendios forestales*. Mundi-Prensa. México D.F. 201 pp.

ROTHERMEL, R.C. 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels.* Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 pp. Disponible en: http://www.firemodels.org

ROTHERMEL, R.C. 1983. *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. USDA Forest Service. General Technical Report INT-143. 161 pp. Ogden. Disponible en: http://www.fs.fed.us

ROWE J.S. 1983. Concepts of fire effects on plant individuals and species. En R.W. Wein and D.A. Maclean (editors): *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*. Chapter 8, pp. 135-154. John Wiley and Sons. New York.

RUBIO TORRES, P. 2005. Estudio fitosociológico de restos de bosque en la campiña segoviana noroccidental. Trabajo para la asignatura de Fitosociología, curso 2004-05. Ingeniería de montes. 38 pp. ETSIIAA de Palencia. UVa. No publicado.

RUBIO TORRES, P. (redactor) 2008. Plan de prevención de incendios de la Demarcación Forestal de Polinyà de Xúquer (Valencia). Trabajo técnico. GVA y VAERSA. Valencia.

RUELLE, D. 1991. *Chance and caos*. Pricenton University Press. New Jersey. 195 pp.

RUIZ DEL CASTILLO, J. 2000. El fuego, factor ecológico. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 4.1-4.13. Madrid. McGraw-Hill.

RUIZ DE LA TORRE, J. 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. ETSIM. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. 512 pp.

RUIZ DE LA TORRE, J.L. 1990a. Distribución y características de las masas forestales españolas. En Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 11-30. Madrid. ICONA.

RUIZ DE LA TORRE, J.L. 1990b. *Mapa forestal de España. Memoria general.* MAPA-ICONA. Madrid. 191 pp.

RUIZ DE LA TORRE, J.L. 2006. *Flora mayor*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. DGB. MMA. Madrid. 1756 pp.

RUIZ GONZÁLEZ, A.D. 2004. *La predicción de la humedad de los restos forestales combustibles; aplicación a las masas arboladas en Galicia.* Tesis doctoral. ETSIM. UPM. 440 pp. Disponible en: http://oa.upm.es

RUIZ GONZÁLEZ, A.D. y VEGA HIDALGO, J.A. 2007. *Modelos de predicción de la humedad de los combustibles muertos: fundamentos y aplicación*. Monografías INIA: serie forestal nº 15. INIA. MEC. 207 pp.

RUIZ GONZÁLEZ, A.D.; VEGA HIDALGO, J.,A. y ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G. 2009. Construction of empirical models for predicting *Pinus* sp. dead fine fuel moisture in NW Spain. I: Response to changes in temperature and relative humidity. En: International Journal of Wildland Fire 18, 71–83.

RUIZ MIRAZO, J. 2011. *Las áreas pasto-cortafuegos: un sistema silvopastoral para la prevención de incendios forestales*. Universidad de Granada. CSIC. EEZ. 363 pp.

RUIZ-MIRAZO, J.; ROBLES, A.B.; DELGADO, F.; JIMENEZ, R. y GONZALEZ-REBOLLAR, J.L. 2008. Las áreas pasto-cortafuegos como experiencia de selvicultura preventiva en los espacios forestales y agroforestales mediterráneos: 2. Los seguimientos ligeros. En: *Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas.* Pp. 559-566. XLVII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Córdoba. Disponible en: www.seepastos.es

RUIZ-MIRAZO, J.; ROBLES, A.B.; RAMOS, M.E y GONZALEZ-REBOLLAR, J.L. 2005. Las áreas pasto-cortafuegos como experiencia de selvicultura preventiva en los espacios forestales y agroforestales mediterráneos: 1. Diseño. En: *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural* (Vol. I). Pp. 333-339. XLV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Gijón (Asturias), 28 de mayo al 3 de junio. Disponible en: www.seepastos.es

RYAN, K.C. 2000. Técnicas para establecer prescripciones que minimicen o reduzcan la mortalidad del arbolado. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 59-70.

SALVATORE, R.; MOYA, D.; LOVREGLIO, R.; DE LAS HERAS, J.; LÓPEZ, F. R. y LEONE, V. 2007. ¿Cómo afectan las altas temperaturas a las piñas de pino carrasco?. Consideraciones para una adecuada gestión post-incendio. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 12 pp.

SAN MIGUEL, A. (Coord.) 2004. *Tipificación, cartografía y evaluación de los pastos de la Comunidad de Madrid.* Informe final. Proyecto INIA OT00-037-C17-02.

SAN MIGUEL, A.; ROIG, S. y CAÑELLAS, I. 2002. Prácticas agroforestales en la península ibérica. En Actas de la I Reunión sistemas agroforestales-I Reunión *espacios naturales*. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 14: 33-38. SECF. Disponible en: http://www.secforestales.org/buscador/

SAN MIGUEL, A.; ROIG, S. y CAÑELLAS, I. 2008. Fruticecultura. Gestión de arbustedos y matorrales. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 877-907. Madrid. INIA. MEC.

SAN MIGUEL, J. y CAMIA, A. 2009. Los incendios forestales de un vistazo: hechos, cifras y tendencias en la UE. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 13–20. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, P. 2005. Gestión de las masas de *Pinus pinaster* de la Sierra del Teleno. Evolución histórica y situación actual. En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno.* Pp. 44-54. Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

SANCHO CAPARRINI, F. 2013a. Sistemas complejos, sistemas dinámicos y redes complejas. Artículo web. Disponible en: http://www.cs.us.es/

SANCHO CAPARRINI, F. 2013b. Sobre el modelado matemático. Artículo web. Disponible en: http://www.cs.us.es/

SANCHO CAPARRINI, F. 2015a. Introducción a las redes complejas. Artículo web. Disponible en: http://www.cs.us.es/

SANCHO CAPARRINI, F. 2015b. Los dos ejes de la complejidad: escala y tiempo. Artículo web. Disponible en: http://www.cs.us.es/

SANCHO CAPARRINI, F. 2015c. Fractales. Artículo web. Disponible en: http://www.cs.us.es/

SANDBERG, D.V. y DOST F.N. 1990. Effects of prescribed fire on air quality. En Walstad, Radosevich y Sandberg (editors): *Natural and prescribed fire in Pacific Northwest forests*. Pp. 191-218. Corvallis. Oregon State University Press.

SANTIAGO-FREIJANES, J.J.; MOSQUERA-LOSADA, M.R.; MUÑOZ-FERREIRO, N. y RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. 2009. Incendios forestales en Galicia: causalidad y aspectos sociales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-451. Ávila. SECF. 10 pp. Disponible en: www.secforestales.org

SCHMIDT, R. 2015. Los bosques, centinelas verdes de los Alpes. En Unalsiva. Vol. 66 2015/1–2. Pp. 27-31. FAO. Roma.

SCHROEDER, M. J. y BUCK, C. C. 1970. *Fire Weather*. Agriculture Handbook 360. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 229 pp. Disponible en: http://www.firemodels.org

SCOTT, J.H. y BURGAN, R.E. 2005. *Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 pp. Disponible en: http://www.firemodels.org

SEBASTIÁN LÓPEZ, A.; HERNANDO LARA, C.; PLANALLES, R.; BUFFONI, A.; BOSTRÖM, C.; ALVES, R.; JAPPIOT, M. y SAN MIGUEL AYANZ, J. 2011. EU-FIRESMART: Forest and land management options to prevent unwated forest fires. En: 5th International Wildland Fire Conference. Sudáfrica. Sesión 2A. 11 pp. Disponible en: www.firesmart-project.eu/

Secretaria de medio ambiente y recursos naturales 2009. *Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/ SAGARPA-2007, Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario.* Diario Oficial (viernes, 16 de enero). México. 89 pp.

Secretaria del convenio sobre la diversidad biológica, 2004. Enfoque por ecosistemas. Directrices del CDB. Montreal. 50 pp.

SENRA, F.; RODRÍGUEZ, F.; OMI, P.N. 2007. Aplicación de quemas prescritas en el mantenimiento de áreas cortafuegos arboladas del sur de España. Wilfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 12 pp.

SERRADA, R. 2005. Rehabilitación de terrenos incendiados. Ponencia en I Congreso Internacional del Medio Ambiente en Extremadura. 15-17 de abril. Valencia de Alcántara. No publicado.

SERRADA R.; AROCA M.J. y ROIG S., 2008. Selvicultura preventiva de incendios. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 949-979. Madrid. INIA. MEC.

SERRADA, R.; MONTERO, G. y REQUE, J.A. 2008. Presentación de la obra. En Serrada, R., Montero, G., y Reque, J.A. (editores): *Compendio de selvicultura aplicada en España.* Pp. 7-12 Madrid. INIA. MEC.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 1997. Simplificación específica en las comunidades vegetales: el caso del pino silvestre en la cordillera Cantábrica. En Puertas, F. y Rivas, M. (eds): *Actas del I Congreso Forestal Hispano Luso*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Pp. 623-628.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 2005. Desarrollo de la extinción en el gran incendio de 1998. En Rey y Ruiz (coord.): *Seminario de Restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno.* Pp. 73-87. Centro para la Defensa contra el Fuego. Junta de Castilla y León. León.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 2007. Ecología del bosque. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. Pp. 87-112. Junta de Castilla y León. Valladolid.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 2008. *Una teoría ecológica para los montes ibéricos.* León. Instituto de Restauración y Medio Ambiente S.L. IRMA. 715 pp. (1133 pp. en la versión completa en pdf del disco anejo al libro de papel).

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 2011. Evolución temporal del régimen de renovaciones en la montaña cantábrica. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 31-46. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. 2013. La predicción en sistemas complejos: ciencia y aplicación práctica. 6º Congreso Forestal Español. Referencia 6CFE002-007. 33 pp. Vitoria. SECF. Disponible en: http://www.congresoforestal.es/

SEVILLA, F. y TORRE, M. 2013. La prevención de incendios a medio y largo plazo en España. 6º Congreso Forestal Español. Referencia 6CFE01-333. 16 pp. Vitoria. SECF. Disponible en: http://www.congresoforestal.es/

SILVA, J.S. y HARRISON, S.P. 2010. Humans, climate and land cover as controls on european fire regimes. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 49-59. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

SILVA, J.S.; REGO, F.; FERNANDES, P. y RIGOLOT, E. (eds.) 2010. *Towards integrated fire management – Outcomes of the European Project Fire Paradox*. European Forest Institute Research Report 23. 229 pp.

Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2010. Situación de los bosques y del sector forestal en España 2010. SECF. 300 pp. Disponible en: www.secforestales.org

Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2013. Situación de los bosques y del sector forestal en España 2013. SECF. 252 pp. Disponible en: www.secforestales.org

Societat Valenciana d'Ornitologia 2012. Nota informativa de la Societat Valenciana d'Ornitologia (SVO) sobre los daños ambientales provocados por los incendios de Cortes de Pallás y Andilla. 7 de julio. 15 pp. Disponible en: http://svornitologia.org

SORIANO MONTE, J.M. 2007. Restauración de los pinares rodenos tras incendios forestales. Una propuesta para los "Pinares del Ducado" (Guadalajara). Revista Montes, nº 87, pp. 35-39. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

SPENCE, M.D. 1999. *Dispossessing the Wilderness: Indian Removal and the Making of the National Parks*. Oxfor. Oxfor University Press. 190 pp.

STEPHENS, S.L.; MOGHADDAS, J.J.; EDMINSTER, C.; FIEDLER, C.E.; HAASE, S.; HARRINGTON, M.; KEELEY, J.E.; KNAPP, E.E.; McIVER, J.D.; METLEN, K.; SKINNER, C.N.; YOUNGBLOOD, A. 2009. Fire treatment effects on vegetation structure, fuels, and potential fire severity in western U.S. forests. En: Ecological Applications. 19(2): 305-320. Disponible en: http://www.treesearch.fs.fed.us

STRATTON, R.D. 2006. *Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques.* Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S.D.A., Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 pp.

TALEB, N.N. 2008. *El cisne negro: el impacto de lo altamente improbable*. Paidos Ibérica. 432 pp.

TAPIAS MARTÍN, R. 2006. *Ecología y evaluación de la calidad de la estación forestal. Impacto ambiental*. Tema 8: *Las perturbaciones naturales en los ecosistemas forestales.* Apuntes de asignatura de Ingeniería Técnica Forestal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva.

TAPIAS, R. y GIL, L. 2000. Adaptación reproductiva de las especies forestales ante el fuego. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 4.36-4.66. Madrid. McGraw-Hill.

TÁRREGA R. y LUIS, E. 1990. La problemática de los incendios forestales y su incidencia sobre los robledales de *Quercus pyrenaica* en la provincia de León. Revista Ecología, fuera de serie nº 1. Pp. 223-237. ICONA. Madrid.

TELLERÍA, J.L. y SANTOS, T. 2001. Fragmentación de hábitats forestales y sus consecuencias. En Zamora, R. y Pugnaire F.I. *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Colección textos universitarios nº 32. Pp. 293-317. Simposio de la AEET celebrado en Granada del 11 al 13 de febrero de 2000. CSIC y AEET.

TERRADAS, J. (coord.) 1996. *Ecología del foc.* Barcelona. Proa. 270 pp.

TERRADAS, J. 2001. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de las comunidades y paisajes.* Barcelona. Omega. 703 pp.

TERRADAS, J. 2005. Forest dynamics: a broad view of the evolution of Tepic, including some recent regional contributions. Investigación agraria: sistemas y recursos forestales, nº 14(3), pp. 525-537. Madrid. INIA.

TICKNER, J.A. 2007. Desde la reacción a las soluciones sostenibles: un marco de trabajo para mejorar la toma de decisiones en el contexto de los sistemas complejos socio-ecológicos. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 164-217. Santiago de Compostela.

TILMAN, D. y DOWNING, J.A. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. En: Nature. Vol. 367, 27 de enero, pp. 353-365.

TILMAN, D.; MAY, R.M.; LEHMAN, C.L. y NOVAK, M.A. 1994. Habitat destruction and the extintion debt. En: Nature. Vol. 371, 1 de setiembre, pp. 65-66.

TOBALINA, B. (2011, 30 de julio). España consume el doble de madera de la que produce. Diario de La Razón. Madrid. Disponible en: http://www.larazon.es/noticia/2189-espana-consume-el-doble-de-la-madera-que-produce

TOLOSANA, E. 2016. *Para una gestión forestal sostenible, más madera. Iniciativas, oportunidades y barreras a la movilización de madera de coníferas en el norte y centro de España.* Fundación del Conde del Valle de Salazar. Madrid. 103 pp.

TORRE ÁNTON, M. 2007a. Bases para una política forestal. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. Pp. 763-796. Junta de Castilla y León. Valladolid.

TORRE ÁNTON, M. 2007b. Una política forestal para la lucha contra incendios forestales en Castilla y León. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 54-91. Santiago de Compostela.

TORRE ÁNTON, M. 2009. La situación actual del problema de los Incendios Forestales en España. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE02-014. Ávila. SECF. 22 pp. Disponible en: www.secforestales.org

TORRE ÁNTON, M. 2011. Las actuaciones forestales como vector de transformación de los paisajes de la cordillera Cantábrica de León: evolución histórica y perspectivas de futuro. En Ezquerra y Rey (coord.): *La evolución del paisaje vegetal y el uso del fuego en la cordillera Cantábrica.* Pp. 31-46. Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León. Valladolid.

TRAGSA 2013. Meteorología aplicada al comportamiento de los incendios forestales. Presentación Power-point, 72 diapositivas. Curso para técnicos UMMT del dispositivo del MAGRAMA. 23-29 junio. MAGRAMA, TRAGSA e INAER. Alicante.

TRAN, C. 2002. *Fire management operate manual. Guidelines for planning and conducting fuel reduction and ecological burns on your property.* Southeast Queensland Fire and Biodiversity Consortium. 96 pp.

TRÍAS TRUETA, A. 1996. Control biológico del crecimiento del sotobosque con caprinos. En: Revista PASTOS: XXVI (1), pp. 77-88. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

TUDELA, A.; IDAÑEZ, N.; TERÉS J.A.; MESTRES, R.; MIRÓ, J.; CASTRO, F.X.; CANYAMERES, E. y ROSSELLÓ, G. 2007. Diseño de discontinuidades en vegetación forestal para la planificación de grandes macizos. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 12 pp.

UBYSZ, B. y VALETTE, J.C. 2010. Flammability: Influence of fuel on fire initiation. En: EFI Research Report nr. 23. *Fire Paradox*, Project nº. FP6-018505, Comisión Europea, pp. 23-34. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/publications/efi_rr23.pdf

UNESCO/UNEP/FAO, 1978. *Tropical forest ecosystems, a state-of-knowledge report*. Vendôme. UNESCO. Imprimerie des Presses Universitaires de France. 683 pp.

URIARTE, A. 2003. *Historia del clima de la Tierra*. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. 305 pp.

URIARTE, R. 1996. La Unión Resinera Española (1898-1936). Documento de trabajo. Programa de industria económica. Fundación empresa pública. 120 pp.

URIARTE, R. 1998. Coyuntura económica y estrategia empresarial: La Unión Resinera Española, 1898-1936. Revista de historia industrial, nº 18, pp. 83-124.

URIOS MOLINER, J.I. 2004. Análisis del régimen de incendios forestales en los montes de Portaceli durante el siglo XX (Serra, Valencia). En: Cuadernos de Geografía 76. Universitat de València. Pp. 219-238.

VALLADARES, F. 2003. Light heterogeneity and plants: from ecophysiology to species coexistence and biodiversity. En: K. Esser, U. Lüttge, W. Beyschlag y F. Hellwig, (editores). *Progress in Botany*. Pp. 439-471. Springer Verlag, Heidelberg.

VALLADARES, F. (editor) 2004a. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid. OAPN. MMA. 590 pp.

VALLADARES, F.; BALAGUER, L.; MOLA, I.; ESCUDERO, A. Y ALFAYA, V., eds. 2011. Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad, Madrid. 322 pp.

VALLADARES, F.; CAMARERO, J.J.; PULIDO, F. y GIL-PELEGRÍN, E. 2004b. El bosque mediterráneo, un sistema humanizado y dinámico. En Valladares, F. *et al.*: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* pp. 13-25. Madrid. OAPN. MMA.

VALVUENA, L. y TÁRREGA, R. 1998. The influence of heat and mechanical scarification on the germination capacity of *Quercus pyrenaica* seeds. En New Forests 16(2), pp. 177-183.

VARELA, E.; CALATRAVA, J.; RUIZ, J.; JIMÉNEZ, R. y GONZÁLEZ, J.L. 2007. Valoración económica del pastoreo en términos de costes evitados en labores de prevención de incendios forestales. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 11 pp.

VAZQUEZ, A. y RODRÍGUEZ, J.A. 2008. Dinámica de paisajes forestales en relación a la incidencia del fuego en España peninsular: 1987-2000. En revista: Invest. Agrar.: Sist. Recur. For., nº 17(2), pp. 143-154. Madrid. INIA.

VEGA HIDALGO, J.A. 1978. Uso del fuego controlado en las comunidades vegetales en Galicia. Boletín de la Estación Central de Ecología, nº 14, pp. 3-19. ICONA.

VEGA HIDALGO, J.A. 1985a. Empleo del fuego prescrito en eucaliptales de Galicia. En Vélez y Vega (Cood.): *Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de incendios forestales*. Pp. 39-47.

VEGA HIDALGO, J.A. 1985b. Datos preliminares sobre comportamiento del fuego prescrito para la reducción de combustible bajo pinares en Galicia. En Vélez y Vega (Cood.): *Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de incendios forestales*. Pp. 51-59.

VEGA HIDALGO, J.A. 1985c. Algunos efectos a corto plazo del fuego prescrito en pinos de Galicia. En Vélez y Vega (Cood.): *Estudios sobre prevención y efectos ecológicos de incendios forestales.* Pp. 109-145.

VEGA HIDALGO, J.A. 2000. Resistencia vegetativa ante el fuego a través de la historia de los incendios. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 4.66-4.85. Madrid. McGraw-Hill.

VEGA HIDALGO, J.A. 2013a. Investigación reciente sobre los combustibles forestales y el comportamiento del fuego. En Revista Montes, nº 114, 3er trimestre, pp. 7-11. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

VEGA HIDALGO, J. A. 2013b. Nuevos retos y oportunidades de mejora en la lucha contra incendios forestales y sus consecuencias. VI Congreso Forestal Nacional. Vitoria, Junio 2013. 33 pp. Disponible en: http://www.congresoforestal.es/

VEGA, J. A.; ARELLANO, S.; RUIZ, A.D.; ARELLANO, A.; 2013. Nuevos modelos de combustibles de Galicia. VI Congreso Forestal Nacional. Vitoria, Junio 2013. 13 pp. Disponible en: http://www.congresoforestal.es/

VEGA, J.A., BARÁ, S. ALONSO, M. FONTÚRBEL, M.T. y GARCÍA, P. 1987 Preliminary results of a study on short term effects of prescribed fire in pine stands in N.W. Spain. Ecologia Mediterranea. XII(4). Pp. 177-188.

VEGA, J.A. BARÁ, S. y GIL, M.C. 1983. Prescribed burning in pine stands in the N.W. of Spain: some results and effects. DFG Symposium Fenerökologie. Freiburger Waldschutz-Abhandlungen. Freiburg Universität. Vol.4. Pp. 49-74.

VEGA, J.A.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, M.T. y FERNÁNDEZ, C. 2000. Planificar la prescripción para reducir combustibles y disminuir el impacto sobre el suelo en las quemas prescritas. En Vélez y Vega (editores): *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9, pp. 189-198.

VEGA, J.A., FERNANDES, P., CONEDERA, M., BOTELHO, H., FERNANDES, M., JIMÉNEZ, E., LOUREIRO, C., LUCINI, L., PÉREZ, J.R. y PEZZATTI, B. 2008. Tree resistance to fire: first results. Deliverable D3.2-2 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission, 24 pp. Disponible en: www.fireintuition.efi.int

VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; RUIZ, C.; VÉLEZ, R. y ÁLVAREZ, J.G. 2009. Cambio climático en Galicia: Tendencias de los índices de peligro de incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Referencia 5CFE01-434. Ávila. SECF. 13 pp. Disponible en: www.secforestales.org

VEGA J.A. JIMÉNEZ, E. DUPUY, J.L. y LINN, R.R. 2012. Effects of flame interaction on the rate of spread of heading and suppression fires in shrubland experimental fires. En: International Journal of Wildland Fire. 21 (8). Pp. 950-960.

VEGA J.A. JIMÉNEZ, E. VEGA, D. ORTIZ, L. y PÉREZ, J.R. 2011. *Pinus pinaster* Ait. tree mortality following wildfire in Spain. En: Forest Ecology and Management. 261(12). Pp. 2232-2242.

VEGA, J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; CUIÑAS, P.; FONTÚRBEL, T. y FERNANDÉZ, C. 2001. *Manual de queimas prescritas para matogueiras de Galicia.* 237 pp. Lourizan. Xunta de Galicia.

VEGA, J.A.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; FONTÚRBEL, T.; BARREIRO, A.; FERNÁNDEZ, C. y CUIÑAS, P. 2005. Variables influyentes en la respuesta regenerativa vegetativa a corto plazo de *Quercus pyrenaica* willd. tras incendios en Galicia. IV Congreso Forestal Español. Referencia 4CFE05-427. Zaragoza. SECF. 7 pp. Disponible en: www.secforestales.org

VELASCO, J.M. 2009. *Guía de plantas útiles y perjudiciales de Castilla y León.* Salamanca. Ediciones Témpora S.A. y Caja Duero. 684 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1982. *Manual de prevención de incendios forestales mediante el tratamiento del combustible forestal.* ICONA, Ministerio de agricultura. Madrid. 43 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1985. Líneas básicas para la defensa contra incendios forestales. Revista Montes, nº 8, pp. 11-17. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1987a. *Manual de seguridad personal en los trabajos de defensa contra incendios forestales.* ICONA, MAPA. Madrid. 27 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1987b. *Manual para el primer ataque a un incendio forestal.* ICONA, MAPA. Madrid. 26 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1990a. Los incendios forestales en España. Revista Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 213-221. ICONA. Madrid.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1990b. Algunas observaciones para una selvicultura preventiva de incendios forestales. Revista Ecología, fuera de serie nº 1. pp. 561-571. ICONA. Madrid.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1992. Uso del fuego en selvicultura. Revista Montes, número extraordinario, pp. 33-42. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1993. La prevención de incendios en relación con la reforestación de tierras agrícolas. Revista Montes, nº 33, pp. 98-101. Madrid. Disponible en: www.revistamontes.net

VÉLEZ MUÑOZ, R. 1995. El peligro de los incendios forestales derivado de la sequía. En: *Seminario sobre deterioro de los montes y cambio climático*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº2, pp. 99-109. Disponible en: www.secforestales.org

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2000a. Emisiones de los incendios forestales a la atmósfera. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 4.100-4.102. Madrid. McGraw-Hill.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2000b. Combustibles forestales: combustibilidad. En Vélez *et al.*: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* pp. 7.1-7.16. Madrid. McGraw-Hill.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2005. Sostenibilidad y fuego en el monte. IV Congreso Forestal Español. Mesa temática 6, ponencia. Zaragoza. SECF. Disponible en: www.secforestales.org

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2007a. Experiences in Spain of Community Based Fire Management. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2007b. La defensa contra Incendios Forestales en el Plan Forestal Español. Acciones específicas en el medio rural. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 92-117. Santiago de Compostela.

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2009. Los factores causantes: las fuerzas y cambios sociales y económicos. En Birot (ed.): *Convivir con los incendios forestales: lo que la ciencia nos revela. Una aportación al diálogo político-científico.* EFI Discussion paper 15. European Forest Institute, Joensuu. Pp. 21–25. Disponible en: http://www.efi.int/portal/

VÉLEZ MUÑOZ, R. 2013. Comentarios sobre el artículo: "Más gestión forestal y menos extinción, pero extinción más profesional" de Domingo Molina. Revista Montes, nº 111, p.77. En Montes, revista de ámbito forestal. Nº 112. 1er trimestre. Pp. 67. Colegios y asociaciones de ingenieros de montes e ingenieros técnicos forestales. Madrid.

VÉLEZ MUÑOZ, R. (coord.) 2000. *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* Madrid. Mc Graw-Hill. 800 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. (coord.) 2012. *Quemas prescritas realizadas por los EPRIF. Método y aplicación.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 384 pp.

VÉLEZ MUÑOZ, R. y VEGA, J.A. (editores) 2000. *Actas del Taller sobre Empleo de Quemas Prescritas.* Lourizan. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 9.

VERICAT, P; PIQUÉ, M. Y SERRADA, R. 2012. *Gestión adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneos*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida). 172 pp.

VIGNOTE, S.; GARCÍA, J.L.; GÓMEZ, F. 2007. Diseño de fajas y áreas cortafuegos. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 6 pp.

VILLALBA INDURRIA, D. 2007. Nuevos conceptos técnicos de los tratamientos selvícolas preventivos. Wildfire 2007. IV Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla 13-17 de mayo. MMA, Junta de Andalucía, FAO, UE y ISDR. 11 pp.

VILLALBA, D.; SEVILLA, F.; PAJARES, J.A.; DÍEZ, J.J. y SIERRA, J.M. 2007. Problemas del bosque. En Gil y Torre (ed.): *Atlas forestal de Castilla y León*. pp. 173-188. Junta de Castilla y León. Valladolid.

VILLALBA MEZQUITA, M.A. 2008. *Infraestructuras de defensa contra incendios forestales.* El Chaparral. AIFEMA. 271 pp.

WADE, D.D. y LUNSFORD, J.D. 1989 (sobre un trabajo original de M.J. Dixon, 1966, modificado antes por H.E. Mobley, 1973-1979). *A guide for prescribed fire in Southern Forests*. 63 pp. USDA Forest Service. Technical publication R-8 TP11.

WALSTAD, J.D.; RADOSEVICH, S.R. y SANDBERG, D.V. (editores) 1990. *Natural and prescribed fire in Pacific Northewest forests.* Corvallis. Oregon State University Press. 317 pp.

WATT, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. En: The Journal of Ecology, nº 35, pp 1-22. British Ecological Society.

WEATHERSPOON, C.P. 1996. Fire-silviculture relationships in Sierra forests. En: Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, cap. 44, pp. 1167-1176. Assessments and scientific basis for management options. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources.

WEATHERSPOON, C.P. y SKINNER, C.N. 1996. Landscape-level strategies for forest fuel management. En: Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, cap. 56, pp. 1471-1492. Assessments and scientific basis for management options. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources.

WEIR, J.R.; ELMORE, D.; BIGWELL, T.G.; ENGLE, D.M.; CARLSON, J.D.; FUHLENDORF, S.D. y SCASTA, J.D. 2009. *Oklahoma prescribed burning handbook*. Document ref. E-1010. Oklahoma Cooperative Extension Service, Division of Agricultural Sciences and Natural Resurces, Oklahoma State University. Oklahoma. 58 pp. Disponible en: http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-6613/E-1010

WESTERLING, A. 2007. Los incendios en el oeste de los EEUU y el cambio climático. En Ruiz de Elvira: *Previniendo los desastres ambientales: una reflexión crítica*. Jornadas celebradas en 18 y 19 de enero. Escola galega de administración pública. Pp. 34-53. Santiago de Compostela.

WESTOBY, M.; WALKER, B. y NOY-MEIR, I. 1989. Oportunistic management for rangelands not at equilibrium. Journal of Range Management, 42, 266-274.

WHELAN, R. J. 1995. *The ecology of fire.* Cambridge. Press syndicate of de University of Cambridge. 346 pp.

WILLIAMS, J. 2013. Exploring the onset of high-impact mega-fires through a forest land management prism. Forest Ecology and Management 294 (2013) 4–10.

WILLIAMS, J.; ALBRIGHT, D.; HOFFMANN, A.A.; ERITSOV, A.; MOORE, P.F.; MENDES DE MORAIS, J.C.; LEONARD, M.; SAN MIGUEL AYANZ, J.; XANTHOPOULOS, G. y VAN LIEROP, P. 2011. Findings and implications from a coarse-scale global assessment of recent selected mega-fires. In: Proceedings from the 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South, Africa (May 9–13, 2011). 19 pp. FAO.

WRIGHT, H. A., y BAILEY, A. W. 1982. *Fire ecology. United States and Southern Canada.* Nueva York. John Wiley & Sons, INC. 501 pp.

XANTHOPOULOS, G. 2008. ¿Quién debería ser responsable de los incendios forestales? Enseñanzas derivadas de la experiencia griega. En: Memorias sobre el 2º simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra incendios forestales: una visión global. 19-22 abril de 2004. Córdoba, España. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-208, (Español). Albany, CA: Departamento de Agricultura de los EE.UU., Servicio Forestal, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste. Pp. 195-208.

ZAMORA LOZANO, M. 1988. Crecimiento de *Phillyrea angustifolia* L. y su consumo por ciervos, tras incendio forestal. En: Revista Pastos: 18-19 (1-2). Pp. 87-94. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Disponible en: www.seepastos.es

de ZAVALA, M.A. 2003. Dinámica y sucesión en bosques mediterráneos: modelos teóricos e implicaciones para la selvicultura. En Rey J.M., Espigares T. y Nicolau J.M.: *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. pp 43-63. Alcalá de Henares. Servicio de publicaciones. Universidad de Alcalá.

de ZAVALA, M.A. 2004. Estructura, dinámica y modelos de ensamblaje del bosque mediterráneo: entre la necesidad y la contingencia. En Valladares, F. *et al.: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp. 249-277. Madrid. OAPN. MMA.

ZEDLER, P.H.; GAUTIER, C.R. y MCMASTER G.S. 1983. Vegetation change in response to extreme events: the effects of a short interval between fires in California chaparral and coastal scrub. Ecology, vol. 64, nº 4 (agosto), pp. 809-818. Disponible en: http://www.jstor.org

ZINKEL, D.F. y RUSSEL, J. (Editors) 1989. *Naval stores. Production-Chemistry-Utilization*. Pulp Chemicals Association. Nueva York. 1060 pp.

Sitios web usados frecuentemente:

www.camafu.org.mx: Comunidad de aprendizaje en el manejo del fuego (CAMAFU).

www.secforestales.org: Sociedad española de ciencias forestales.

www.seepastos.es: Sociedad española para el estudio de los pastos.

Las **quemas** han sido una herramienta consuetudinaria de manejo de los montes. Estuvieron dentro del elenco de la selvicultura ilustrada para el manejo de los montes desarbolados y de los restos de cortas en los bosques en Europa hasta el dominio de la mecanización. A su vez los estadounidenses desarrollaron el conocimiento para la ejecución de quemas prescritas en los bosques para alcanzar determinadas metas selvícolas en la segunda mitad del siglo XX, después del replanteamiento de la estrategia de exclusión total del fuego en sus extensos territorios.

Por otra parte, el efecto del fuego sobre la naturaleza se consideró negativo desde muchos enfoques en el pasado medio siglo, y aún se considera así en la visión urbana popular. Los estudios de todo tipo realizados en las últimas décadas, así como los avances en la comprensión de las dinámicas ecológicas, han profundizado en el conocimiento de los efectos reales del fuego entendiendo que este agente natural tiene una influencia poliédrica sobre los montes.

El presente libro pretende ser una guía introductoria dirigida a quienes quieran iniciarse en la tecnología de las quemas y para entender las bases de la influencia del fuego y de los incendios sobre los montes.

9 788469 733028