

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | **Plasencia** Cáceres, Extremadura

7CFE01-059

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017

ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Un modelo de dinámica forestal para una gestión anticipadora. Estudio de caso en el Valle de Mena (norte de Burgos)

SEVILLA MARTÍNEZ, F.1

¹Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos. Junta de Castilla y León.

Resumen

En la tesis doctoral que aquí se resume (Sevilla, 2016) se ha desarrollado una sistemática para comparar ciertos atributos de la vegetación (especies dominantes, fracción de cabida cubierta de cada una, volumen de madera, etc.) que se deducen de las imágenes de la Serie B del Vuelo Americano de 1957 con los actuales, para los que existe un amplio elenco de fuentes de información: ortoimágenes en visible, en falso color, lídar, realidad terreno, etc. La zona objeto de estudio es el Valle de Mena, en el extremo noreste de Burgos.

Además de constatar, de forma cualitativa y cuantitativa, la profunda transformación que han sufrido los ecosistemas meneses en un periodo de casi seis décadas, se proponen mecanismos explicativos de tal cambio; lo que equivale a un conocimiento de la dinámica ecológica que debe servir para efectuar previsiones de futuro. La tesis, además de ser un estudio de diacrónico, tiene una vertiente práctica: dado que la gestión forestal debe diseñarse en función del conocimiento ecológico, y muy en particular de la dinámica de los montes, el modelo diseñado ha resultado de aplicación directa a la planificación y ejecución de las actuaciones forestales.

Palabras clave

Transformación ecológica, renovaciones, análisis diacrónico, sistemas complejos.

1. Introducción

Las ideas que aquí se desarrollan se pueden encuadrar en la teoría de sistemas complejos (ver: Margalef, 1991; Levin, 2002; Sevilla, 2008; Messier et al., 2013; Sevilla, 2015). Aunque el objetivo es conocer anticipadamente las dinámicas ecológicas, una parte nuclear de la teoría que subyace es que dichas dinámicas presentan en ocasiones cambios que no solo son imprevistos sino imprevisibles, debido a que forman parte del comportamiento de sistemas caóticos.

La gestión forestal anticipadora pretende dirigir los montes hacia situaciones y dinámicas que permitan alcanzar los objetivos fijados, algo que se puede lograr cuando se tiene un conocimiento profundo del funcionamiento del ecosistema. La gestión anticipadora es adaptativa, pues se alimenta con los resultados de sus acciones, pero es más que adaptativa: su esencia radica en conocer de antemano la parte fundamental de las repercusiones de las actuaciones y de la no acción, de forma que la retroalimentación por los resultados solo afecte al detalle o a la cuantificación, pero no al núcleo de las dinámicas, que debe ser conocido de antemano. Asumiendo, eso sí, una cierta dosis de incertidumbre, derivada de la posible aparición de dinámicas no previstas, incluso radicalmente diferentes de las más plausibles; por ejemplo, por la irrupción de un nuevo agente (ver Taleb, 2007), o por eventos inusitadamente intensos o repetidos (ver Carrión, 2003).

La anticipación se debe lograr a través del desarrollo de modelos que constituyan una expresión del conocimiento ecológico. El modelo de dinámica forestal empleado se ha basado en la suma de dos procesos contrapuestos: el crecimiento y la renovación (ver otro artículo presentado en este mismo congreso: "Un modelo de dinámica forestal basado en el crecimiento y la renovación de la vegetación"). Aunque ambos procesos se pueden aplicar a cualquier forma de vida, el modelo se centra en la vegetación dominante como organizadora de las relaciones entre todos los seres vivos, si bien integra la acción de otros organismos (como los patógenos, fitófagos o el propio hombre) cuando se estima necesario.



El crecimiento de la vegetación es un proceso relativamente bien conocido que por tanto es susceptible de predicción determinista y de una cuantificación suficiente para los habituales objetivos de gestión. El contrapunto del crecimiento, esto es, la renovación, escapa a una predicción determinista; entre otros motivos, porque depende no solo de las características intrínsecas del ecosistema, sino de otros sistemas, a veces lejanos, en muchos casos con comportamientos caóticos. En cada momento y lugar, la precisa combinación de crecimiento y renovación genera las dinámicas ecológicas subsiguientes con todas sus variadas características, y esa idea constituye el núcleo del modelo. Si este está bien construido debe ser capaz de explicar todas las dinámicas pasadas, de las que existen abundantes indicios pero que nunca es posible reconstruir completamente.

El modelo teórico es muy general y solo sirve para efectuar predicciones y explicaciones cualitativas. Si se pretende cuantificar y tener más precisión en los atributos cualitativos es preciso particularizar el modelo para un contexto concreto. Se ha realizado esto para un espacio, tiempo y objetivos bien delimitados: analizar los cambios acaecidos en la vegetación del Valle de Mena entre el año 1957 y el 2015, el último posible cuando se elaboró la tesis. La elección del año 1957 obedece a un motivo de tipo práctico: en ese año se realizó un vuelo aéreo, conocido como la serie B del Vuelo Americano, que constituye una magnífica fuente de información sobre el estado del territorio. Por fortuna para que el análisis sea más fructífero, el momento del vuelo coincide con el fin del sistema agrario tradicional: el periodo de máxima emigración del campo a las ciudades, que es parte de un proceso que se ha descrito con el nombre de transición forestal (Moretti *et al.*, 2014).

El Valle de Mena es un espacio muy singular y diverso, donde se conjugan la elevada humedad ambiental propia de la vertiente cantábrica con unos matices mediterráneos derivados del efecto de barrera de los montes de Ordunte, que impiden un flujo más directo desde el mar. La mediterraneidad se funde con las infinitas variaciones sucesionales para formar un crisol ecológico sumamente rico en el que no es posible diferenciar cuándo los atributos mediterráneos provienen de situaciones especialmente secas o si el origen tiene más que ver con la historia previa: en toda Mena, a pesar de la amplia difusión de la vegetación de aspecto mediterráneo, cuando progresa la sucesión hay tendencia a que las especies más típicas de medios secos se vean sustituidas por otras más atlánticas, en un proceso que a veces es rápido y llamativo (figura 1).



Figura 1. Bosque mixto de hayas, quejigos y encinas, con presencia significativa de majuelo en el subpiso. En el centro de la imagen destaca una gran encina que, como muestra su arquitectura, es mucho más vieja que la generación que ahora domina. Salvo eventos imprevistos, en unas décadas la pujanza del haya irá eliminando tanto a quejigos como encinas; muchos rodales en Mena muestran restos de estos árboles ya muertos, dispersos en lo que ahora es un hayedo. Lejos de indicar un cambio climático hacia una mayor humedad, las viejas encinas son muestra de la deforestación previa, producto de un intenso uso ganadero, que también explica la presencia de los majuelos (Vallejuelo, Valle de Mena).



2. Objetivos

El objetivo central es construir un modelo de dinámica forestal que sirva para anticipar las características de los ecosistemas futuros. Para testar la validez se debe comprobar si sirve para explicar los cambios acaecidos en el pasado. En este sentido, y como objetivo secundario, se ha desarrollado una aplicación del modelo general para un análisis ecológico retrospectivo: estudiar cómo ha cambiado la vegetación del Valle de Mena entre el año 1957 y el 2015.

3. Metodología

3.1. Fuentes de información

Una de las bases del modelo es intentar aprovechar todos los datos existentes y de fácil acceso, sobre todo si se trata de información de tipo continuo en el espacio (o en el tiempo). Además de la ya mencionada serie B del Vuelo Americano, se ha usado su serie A (de 1946), para ayudar a discernir atributos antiguos; se han utilizado multitud de ortoimágenes en visible y una en falso color (de 2011), y datos lídar. Es necesario resaltar que, a pesar de la antigüedad de las fotografías de la serie B del Vuelo Americano, su calidad en Mena es muy elevada, lo que ha permitido apreciar infinidad de detalles: así, en general, se pueden diferenciar las copas de cada árbol individual, salvo en formaciones jóvenes, densas y relativamente uniformes, como ocurre en las jóvenes matas de rebollo. Además, el vuelo se realizó en el mes de mayo, lo que permite identificar los rebollos y diferenciarlos de los quejigos y otras frondosas, algo que hubiese sido imposible si se hubiese realizado en otro momento.

Además de la información disponible gracias a los vuelos mencionados, se han utilizado otras fuentes de muy variado tipo, que en general proporcionan datos fragmentarios pero a veces de gran relevancia: partes de incendios, expedientes de corta, propuestas de trabajos selvícolas y de mejoras pascícolas, proyectos de ordenación de montes, otros datos que obran en poder de la administración forestal, documentos de la administración local, de archivos históricos o incluso de particulares, datos aportados por profesionales del mundo forestal o por lugareños, etc. Por último, es necesario mencionar una fuente de información de la máxima relevancia y en la que se ha empleado un notable esfuerzo en la tesis doctoral: la realidad terreno directamente percibida o con instrumentos elementales, como forcípulas o barrenas de Pressler. La realidad terreno ha servido sobre todo para constatar que eran correctas las deducciones efectuadas a partir de otras fuentes de información, o para corregirlas o ir afinándolas.

La integración de la información de todas las fuentes se realiza en la mente de un técnico suficientemente cualificado: para las funciones requeridas en la actualidad no existe programa informático capaz de mejorar el trabajo de un técnico bien preparado, pero es concebible que en un futuro próximo la situación se invierta.

3.2. Descripción de la vegetación

Con la base de la información aportada por las fuentes mencionadas se ha caracterizado la vegetación de acuerdo con unos criterios que se desarrollan a continuación. Las clases en las que se ha dividido la vegetación han sido idénticas para 1957 y para 2015, al objeto de que la comparación entre ambos años sea sencilla y se pueda realizar de forma automática. Se han delimitado unidades del tamaño de hectáreas, lo que se corresponde habitualmente con una escala de representación de 1:10.000, aunque se ha trabajado a mayor detalle con las imágenes. Cada unidad de vegetación, también denominada tesela, es una superficie continua que presenta unos atributos que se consideran homogéneos dentro de sus límites y diferentes de los que presentan las teselas contiguas.

El programa utilizado para representar gráficamente las unidades de vegetación y para archivar sus atributos ha sido ArcMap, un sistema de información geográfica. Todo el territorio del Valle de Mena se ha divido en teselas, en función de los siguientes atributos:



- Continuidad espacial
- Composición específica
- Fracción de cabida cubierta
- Tamaño de los pies que forman cada estrato vegetal

La base de la descripción y del análisis ecológico son las unidades de vegetación. Estas se han agrupado en categorías para confeccionar mapas y estadísticas. Pero la tipología de unidades no es necesaria para la operatividad del modelo: esta descansa sobre las teselas originales, que son las que mantienen toda la información.

Con los fines de representación gráfica y de simplicidad en la exposición de resultados, en los bosques se han considerado tres categorías: bosques puros, nombrados en función de la especie dominante; bosques con dos especies dominantes, nombrados por ellas; y bosques mixtos. Los terrenos con cubierta forestal de baja talla, que pueden tener árboles que cubran hasta en un 20% su superficie, se clasifican como arbustedos, matorrales o pastizales. El único arbustedo considerado para el Valle de Mena es el madroñal. Dentro de la clase matorral se han establecido tres subclases: brezal-tojal, enebral y otros matorrales. Además de las categorías mencionadas se han establecido estas: prado/cultivo, infraestructuras, y zonas erosionadas, entendiendo por tales aquéllas desprovistas de vegetación y descarnadas, con procesos erosivos activos.

Para cada una de las especies principales que forman el dosel arbóreo (hasta cinco), se incluyen, en la descripción de cada unidad de vegetación, su tamaño y fracción de cabida cubierta. También se consigna la fracción de cabida cubierta arbórea total de la tesela (con y sin madroño) y la clase de tamaño más representativa de la misma. El tamaño de los pies arbóreos que forman el dosel superior de la vegetación se ha clasificado siguiendo las tradicionales "clases naturales de edad", que a pesar del nombre no indican tanto edad como tamaño. En el subpiso se distinguen dos posibles especies principales, cada una con su fracción de cabida cubierta, y se enumeran las restantes.

3.3. Caracterización de la dinámica vegetal

En el apartado 3.2 se ha descrito cómo, entre las infinitas opciones existentes para caracterizar la vegetación, se ha escogido una en concreto, con la esperanza de que la sistemática elegida sea adecuada para alcanzar los objetivos perseguidos. Es decir, para lograr que la descripción sea más lo más expresiva posible y cumplir con el requisito de relativa sencillez de construcción a partir de la información disponible. Además, la sistemática descriptiva elegida deberá facilitar un objetivo crucial en la tesis: conseguir una representación elocuente de los cambios acaecidos en los ecosistemas meneses entre 1957 y 2015, que sirva para caracterizar la dinámica de la vegetación. Para este fin caben multitud de opciones, que lógicamente se ven restringidas por la sistemática descriptiva elegida. La dinámica vegetal se ha caracterizado a través de:

- Cambios en la composición específica
- Variaciones en las clases de tamaño
- Variaciones en la cubierta arbórea
- · Evaluación sucesional
- Variación de las existencias de madera

Los tres primeros tipos de cambios se deducen directamente de la comparación de las unidades de vegetación de 1957 y las de 2015. La evaluación sucesional integra los tres y pretende analizar las variaciones producidas de una forma sintética; al evaluarse la sucesión en función de tres factores que cada uno tiene sus propios patrones dinámicos, puede ocurrir que no todos cambien en el mismo sentido (avance o retroceso sucesional), por lo que es necesario tomar ciertas decisiones para dilucidar las situaciones en las que alguno de los tres factores se ha modificado en un sentido diferente a los otros. El análisis sucesional se debe efectuar, lógicamente, referido a un determinado espacio; este ha sido cada uno de los recintos que ha resultado del cruce de las unidades de vegetación de 1957 y las de 2015.



Dado que la sucesión es un proceso direccional al que todos los ecosistemas se encuentran sometidos, difícilmente se repiten en el tiempo estados sucesionales, ni siquiera los más avanzados (clímax en la teoría clásica), debido a que al avance en la sucesión se contrapone la acción de los agentes renovadores. El modelo permite analizar cualquier dinámica: en principio los avances se interpretan como el resultado habitual de las tendencias sucesionales, los retrocesos son producto de eventos renovadores de suficiente intensidad, y cuando existe una cierta constancia es debido a un relativo equilibrio entre la tendencia al avance y las renovaciones; cada una de las tres opciones está en realidad llena de infinitas posibilidades en función de cada preciso conjunto de circunstancias que confluyen en cada momento y lugar.

Por último, y como aspecto novedoso y que se entiende como muy elocuente en la descripción los cambios acaecidos, se ha diseñado un sistema para evaluar las existencias de madera que se puede utilizar para momentos lejanos en el tiempo siempre que se disponga de una fotografía aérea de suficiente calidad. El modelo para el cálculo de existencias en diferentes momentos consiste en esencia en las siguientes fases:

- En primer lugar se correlacionan, para los bosques actuales, los datos lídar con los volúmenes.
 Existen diversas técnicas para conseguirlo, algunas de ellas explotadas comercialmente por empresas de ingeniería, y en la tesis se han utilizado dos clases de modelos:
 - o De masa. Se han establecido tres tipos: frondosas altas, frondosas bajas y coníferas.
 - o De especie. Se disponía de modelos para *Pinus nigra*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Quercus pyrenaica* y *Q. ilex*. Para las especies de que no se disponía de modelo, se ha utilizado una semejante en términos biométricos; así, por ejemplo, para robles y quejigos se ha utilizado el modelo del rebollo. En masas mixtas, el resultado es proporcional a la representación de cada especie.
- A partir de la información de las teselas, se han establecido estratos, para 1957 y 2015, en función de:
 - o Tipo de masa
 - Clase de tamaño
 - Fracción de cabida cubierta por árboles
- Para el año 2015, los resultados se han obtenido al asignar a cada celda de 25 X 25metros un valor de volumen de acuerdo con el modelo utilizado, y hallar la media por estrato. Posteriormente se han corregido para Pinus radiata, que presenta un activo crecimiento y es objeto de una selvicultura dinámica, por lo que algunos rodales han modificado drásticamente sus existencias desde que se efectuó el vuelo lídar (año 2011), ya que han sido afectados por cortas.
- Para el año 1957, el volumen se ha estimado de acuerdo a la siguiente fórmula, que se aplica para cada tipo de masa y clase de tamaño:

$$Vm_{1957} = \frac{Fcc_{1957}}{\sum Sup_{Fcc2015}} X \sum_{Fcc=5}^{Fcc=100} \frac{Sup_{Fcc2015} \times Vm_{Fcc2015}}{Fcc_{2015}}$$

Donde: Vm es volumen medio por hectárea para cada estrato; Fcc es fracción de cabida cubierta de ese estrato; $Sup_{Fcc2015}$ es la superficie ocupada por cada fracción de cabida cubierta, de un tipo de masa y de una clase de tamaño concretos, en el año 2015; $Vm_{Fcc2015}$ y Fcc_{2015} son los valores correspondientes a esa misma fracción de cabida cubierta.

Con el empleo de esta fórmula se persiguen dos objetivos:

- o Asignar valores a estratos que no tenían su equivalente en 2015.
- Evitar que una situación puntual en 2015 afectara en exceso a los resultados para 1957: la fórmula, para cada tipo de masa y cada clase de tamaño, hace el volumen de 1957 proporcional a la fracción de cabida cubierta. Mientras, en 2015 se han respetado los valores lídar resultantes, sin hacer esta proporción; de forma que, en algunos casos, para un tipo de masa y una clase de tamaño, se ha dado el caso de que rodales más claros tenían sin embargo más volumen).



4. Resultados

Como consecuencia del trabajo de descripción y clasificación de la vegetación del Valle de Mena han resultado 1.796 teselas para el año 1957 y 2.213 para el año 2015 (figura 2). Estas unidades son la base sobre la que se han efectuado las comparaciones que han servido para mostrar el profundo cambio acaecido y además, en el caso de las teselas modernas, se utilizan de forma directa para la gestión que se realiza en los montes meneses.

									_											_		$\overline{}$	
FID Tipo_	Masa		Masas/	Agrup)	СТ	FCC_A	FCC_T	Sp1	CT1	FCC1	Sp2	CT2	FCC2	Sp3	CT3	FCC3	Sp4	CT4	FCC4	Sp5	CT5	FCC5
117 quejigar-pinar silvestre pinar silvestre-quejigar 5			5LM	65	65	Qf	5LM	40	Ps	6LG	20			0			0			0			
			6LG	60	60	Fs	6LG	25	Qf	5LM	15	Sar	5LM	5	Ca	5LM	5			0			
119 bosque mixto frondosas bosque mixto frondosas			s	6LG	50	50	Fs	7FD	20	Qf	6LG	10	Fe	6LG	5	Sar	5LM	5			0		
120 quejigar quejigar				5LM	50	50	Qf	5LM	50			0			0			0			0		
Otras_Sp	FCC_Osp	FCC_Au	Sbpiso_	Sp1	FCC_Sbp	1 St	piso_Sp	2 FCC_	Sbp2	Sbpiso	FCC.	Sbp	FCC_	Tsubp	Infrae	struct	uras	C_Bio	metric	ca 1	C_Bic	ometric	a 2
Sar/Ac/Ca/Cm	5	0				0			0			0		0			fr	ondos	a baja t	talla re	bollo+p	pino sih	vestre
Ac/Tp/Fe/Cm/Ra/Ao	10	0				0			0			0		0			fr	frondosa alta talla rebo		bollo+h	naya		
Ca/Ao/Tp/Ac/Cm	10	0				0			0			0	0		fr	frondosa alta talla		alla re	a rebollo+haya				
0 0		0			0			0		0			fr	ondos	a baia t	talla re	bollo						

Figura 2. Ejemplo de la información contenida en 4 de las 2.213 teselas en que se dividieron los ecosistemas meneses del año 2015, tal y como se muestra en el programa ArcMap (cada fila se ha cortado en dos para una mejor visualización)

En cuanto a las superficies cubiertas por cada tipo de ecosistema, de forma abreviada la transformación ha consistido en una gran extensión y densificación de los bosques, la disminución de matorrales, pastizales y prados/cultivos, y la duplicación de la superficie destinada a infraestructuras. Los principales tipos de bosque se han expandido, con excepción de los robledales, que se han estancado. La progresión ha sido espectacular en los bosques mixtos y de coníferas (tabla 1):

Tabla 1. Superficie en hectáreas de cada tipo de cubierta, en el Valle de Mena, en los años 1957 y 2015, así como la diferencia entre ambos años, tanto en superficie como en porcentaje

Tipo de cubierta	1957	2015	balance 1957-2015			
Tipo de cubierta	superficie	superficie	diferencia	porcentaje		
bosque conífera-frondosa	7,4	978,9	971,5	13.182%		
bosque mixto coníferas	0,0	107,8	107,8			
bosque mixto frondosas	291,2	1.096,0	804,8	276%		
encinar-quejigar	2.378,3	2.771,2	392,8	17%		
hayedo	819,2	1.086,0	266,8	33%		
hayedo-quejigar	302,1	863,6	561,5	186%		
hayedo-rebollar	259,6			-6%		
infraestructuras	409,8	825,3	415,5	101%		
madroñal	1.339,7	319,8	- 1.019,9	-76%		
matorral	2.330,2	1.984,5	- 345,7	-15%		
otras coníferas	0,0	53,7	53,7			
otras frondosas	0,7	28,9	28,2	3.969%		
otros bosques mixtos de Quercus	410,6	725,8	315,2	77%		
pastizal	8.251,9	4.406,5	- 3.845,4	-47%		
pinar radiata	63,0	1.593,1	1.530,1	2.430%		
pinar silvestre	13,2	529,2	516,0	3.903%		
pinar silvestre-quejigar	0,0		928,1			
prado/cultivo	6.175,6	4.396,5	- 1.779,1	-29%		
quejigar	2.007,9	2.071,9	4,0	3%		
rebollar	380,5	553,9	173,4	46%		
robledal	493,3	483,8	- 9,5	-2%		
robledal-hayedo	209,1	226,6	17,5	8%		
zonas erosionadas	154,3	22,2	- 132,2	-86%		
TOTAL	26.297,4	26.297,4	0,0	0%		

En congruencia con la tabla 1, la dinámica ecológica ha sido claramente de avance sucesional. Del cruce de las unidades de vegetación correspondientes a 1957 y a 2015 han surgido 9.264 recintos, en los que según el análisis sucesional efectuado ha predominado la progresión (figura 3):



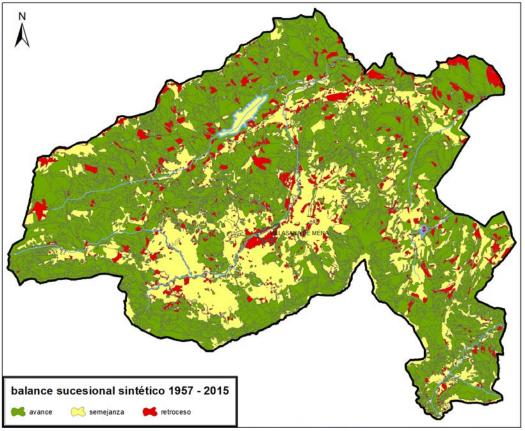


Figura 3. Balance sucesional de los cambios experimentados en el Valle de Mena entre 1957 y 2015, sintetizando las variaciones en cubierta, talla y especie dominante, y en caso de duda incorporando el resto de la información disponible.

Dentro del modelo propuesto, de carácter dinámico, la pregunta no es tanto por qué han cambiado unas teselas (es lo normal tras casi seis décadas) sino por qué muchas se han mantenido semejantes. La semejanza sucesional ha tenido lugar en lugares afectados por dos tipos de causas:

- Un medio muy duro que bloquea el progreso sucesional:
 - Roquedos
 - Turberas
 - Los cascos históricos de los pueblos
 - El descarnado núcleo de las zonas intensamente erosionadas
 - Algunos pastizales de pie de cantil
- Lugares renovados con mucha frecuencia, bien por eventos de origen humano o natural, y en los que el régimen de renovaciones no se ha modificado en lo sustancial:
 - Prados y pastizales renovados todos los años por siega y/o pastoreo
 - Pastizales mantenidos por desbroces cada cierto número de años y pastoreo anual
 - Brezales-tojales quemados con una frecuencia de quinquenios o pocas décadas
 - El vaso del pantano de Ordunte, que se llena todos los años

Entre todas estas opciones, las más representadas son los matorrales pirófitos y los prados y pastizales renovados por siega o pastoreo; el resto tienen una reducida entidad superficial. Teóricamente también es posible que un único evento intenso compense el avance sucesional de casi seis décadas, pero en esta opción es muy poco probable que la situación final sea semejante a la inicial, al menos cuando se evalúan con la precisión con que se ha efectuado este trabajo.

El retroceso sucesional ha sido la clase menos representada y casi siempre se han logrado identificar las causas que lo han motivado: incendios; cortas intensas, habitualmente a hecho; desbroces y roturaciones; procesos urbanizadores y, en general, instalación de infraestructuras.



Respecto a las existencias en madera el cambio ha sido sencillamente espectacular (tabla 2):

Tabla 2. Cambios en las existencias de cada tipo de masa entre 1957 y 2015; se han ordenado de más a menos volumen por hectárea en 2015. Se dan cifras absolutas, relativas respecto al volumen del conjunto del valle en cada año y existencias por hectárea; también la variación del volumen total en porcentaje respecto al existente en 1957

		1957					
Tipos de masa (reagrupados en grandes categorías)	volumen total (m³)	% vol.	vol. medio (m³/ha)	volumen total (m³)	% vol.	vol. medio (m ³ /ha)	variación
hayedo	92.798	19,25%	113,3	250.691	15,01%	230,8	170%
robledal	65.678	13,62%	133,1	101.783	6,09%	210,4	55%
pinar radiata	6.608	1,37%	104,9	273.254	16,36%	171,5	4.036%
otras coníferas	730	0,15%	55,2	89.173	5,34%	153,0	12.114%
hayedo-Quercus	85.076	17,65%	110,4	202.685	12,13%	151,9	138%
otros bosques mixtos	54.494	11,30%	76,8	410.135	24,55%	106,1	653%
rebollar	14.057	2,92%	36,9	53.784	3,22%	97,1	283%
quejigar	95.474	19,80%	47,5	172.606	10,33%	83,3	81%
encinar-quejigar	41.478	8,60%	17,4	95.812	5,73%	34,6	131%
matorral	14.430	2,99%	3,9	12.801	0,77%	5,6	-11%
pastizal y resto de superficies	11.264	2,34%	1,3	7.987	0,48%	1,8	-29%
TOTAL	482.084	100,00%	18,3	1.670.709	100,00%	63,5	247%
TOTAL BOSQUES	456.391	94,67%	59,8	1.649.922	98,76%	115,0	262%

El volumen de madera correspondiente a 1957 se ha calculado suponiendo constantes en el tiempo las relaciones biométricas en los árboles. Pero esta asunción se presume incorrecta debido a que la relación entre superficie de copa y altura de un árbol se ve muy afectada por la espesura: es de suponer que en 1957 los árboles fueran más chaparros, dado que crecían en menor densidad. En consecuencia, es probable que el modelo subestime la variación en volumen, que debería ser superior, probablemente del orden de un aumento del 300%.

El incremento de volumen por hectárea ha afectado a todos los tipos de masa, incluidos los que no son de bosque. Los cambios en el volumen total han sido de aumentos considerables en todos los casos excepto en las categorías no boscosas, en las que ha disminuido por efecto de su decrecimiento superficial pero no porque en la actualidad estén menos arboladas. De forma congruente con la variación superficial, los cambios en volumen más acusados han ocurrido en los tipos de coníferas y bosques mixtos.

La tesis doctoral tiene una vertiente práctica genérica: una guía para las decisiones de gestión forestal, fundada en el conocimiento de su dinámica y en los objetivos planteados en cada situación concreta. La gestión prevista se basa en el principio de mínima intervención para conseguir los fines establecidos, algo que se logra anticipando los cambios, dejando que los procesos espontáneos constituyan la parte fundamental de los vectores de cambio y reservando las actuaciones para aquellas que proporcionen recursos; es decir, que las acciones onerosas sean una excepción poco relevante. En las cortas, este principio se materializa en la práctica ausencia de clareos y otras intervenciones no comerciales, y en la aplicación de un régimen de claras frecuentes y suaves, que garantizan el mantenimiento del microclima forestal y un crecimiento acelerado. Un planteamiento así, con una mínima dependencia de recursos públicos, es garantía de factibilidad.

Además de previsiones generales, se efectúan otras concretas: se han planificado actuaciones y aprovechamientos para un periodo de 15 años. Las actuaciones previstas son consecuencia del estudio efectuado y de los criterios de gestión establecidos. En concreto las cortas derivan de forma



automática de valores contenidos en las unidades de vegetación correspondientes al año 2015 y de una serie de criterios que se han seguido para ubicar estos aprovechamientos en cada periodo. Esta planificación es espacial y temporalmente explícita, es decir, se fijan los límites de los rodales afectados y se incluye una previsión del momento de las cortas (figura 4):

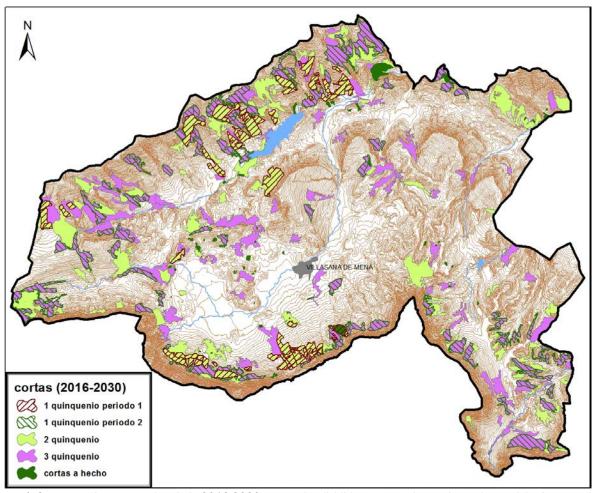


Figura 4. Cortas previstas para el periodo 2016-2030, que se ha dividido en tres quinquenios, y dentro del primero se han establecido dos periodos. Las cortas a hecho se han individualizado porque las demás son claras o entresacas.

5. Discusión

5.1. Sobre la metodología

La cohesión del modelo radica en la integración en un sistema de información geográfica de todos los datos disponibles que se juzgaron con una posible relevancia ecológica. El uso de muchas fuentes de información aplicadas a un mismo territorio, a veces referidas a momentos no muy distantes en el tiempo, genera una consecuencia inevitable: la redundancia. Esta supone un mayor esfuerzo pero también algunas ventajas, derivadas del hecho de que es más fácil detectar errores cuando hay varias fuentes de datos independientes. En este sentido, es muy ilustrativo lo ocurrido con las alturas de la vegetación obtenidas a partir de datos lídar. Se pensaba que esta era una fuente de información muy fiable y precisa, mucho más de lo requerido en un estudio de este tipo. Sin embargo, y gracias a que sobre un mismo rodal se disponía además de los datos lídar de otros que provenían de ortoimágenes de diversos años y del conocimiento práctico sobre el terreno, se detectó que en varias teselas la altura lídar era muy inferior a la real, lo que había llevado a clasificarlas erróneamente. El sistema de análisis de la vegetación y de su dinámica demostró ser lo suficientemente robusto como para detectar errores en información que se catalogaba como plenamente fiable. La información duplicada se eliminaba en el proceso de elaboración de los resultados, de forma que estos fuesen fácilmente inteligibles.



Otra fortaleza del modelo reside en que se ha mostrado capaz de explicar cualquier dinámica ecológica. Y esto implica, en un lugar con un medio tan complejo, un amplio elenco de especies y una historia tan rica como es Mena, que el modelo es susceptible de aplicar en una gran variedad de ecosistemas forestales templados. Lógicamente, capacidad para explicar no equivale necesariamente a capacidad para predecir, pero es un paso importante. En la prognosis intervienen eventos renovadores que hoy en día no se pueden predecir más que en términos estadísticos, por lo que la precisión en las predicciones nunca puede ser total. No obstante, dado que se propugna una activa gestión anticipadora, que implemente eventos diseñados y ejecutados por los seres humanos (sobre todo cortas, pastoreo, desbroces y siega), se esperan acotar en gran medida las incertidumbres sobre la evolución de los ecosistemas.

El sistema de análisis ecológico utilizado presenta la indudable ventaja de que, a pesar de que encierra cierta complejidad y se retroalimenta de sus resultados, no se aleja de la realidad y se mantiene fácilmente verificable. Su versatilidad en el aprovechamiento de cualquier fuente de información y el objetivo de que sea directamente útil para la gestión lo mantienen inevitablemente conectado a la realidad terreno.

Un punto débil del sistema seguido es que es altamente dependiente de las capacidades de uno o varios técnicos, que deben ser capaces de integrar todas las fuentes de información, interpretar los procesos acaecidos y detectar posibles errores. Aunque el sistema se basa en la representación de las unidades de vegetación en un sistema de información geográfica, y está completamente informatizado, el abastecimiento de datos del programa (ArcMap) no se ha logrado automatizar como para prescindir del trabajo técnico intensivo; de la calidad de estos profesionales depende la de los resultados obtenidos.

5.2. Sobre los resultados

El análisis efectuado muestra una fuerte progresión de montes y bosques en las pasadas décadas en el Valle de Mena. Más allá de esa constatación, apreciable con un simple vistazo a las fotografías aéreas de los años 1957 y recientes, se ha diseñado un modelo de estudio de la vegetación que sirve para efectuar análisis diacrónicos y que proporciona una explicación coherente de todas las dinámicas observadas. Los bosques meneses se han hecho mucho más extensos, densos y capitalizados (tabla 3):

Tabla 3. Superficies y existencias de madera en el Valle de Mena en los dos años de referencia, según grandes categorías de terrenos forestales en función de su cubierta arbórea (FCC): bosque abierto FCC 20-40%; bosque claro 40-70%; y bosque denso si la FCC supera el 70%. En resto se incluyen todos los usos del territorio que no sean ni bosque ni infraestructuras; es decir, cultivos, prados, zonas erosionadas, pastizales, matorrales y madroñales.

		19	57		2015						
tipo formación	superficie (ha)	% superf.	volumen total (m³)	vol. medio (m³/ha)	superficie (ha)	% superf.	volumen total (m³)	vol. medio (m³/ha)			
infraestructuras	409,8	1,6%	0	0,0	825,3	3,1%	0	0,0			
bosque abierto	2.048,6	7,8%	40.849	19,9	1.222,5	4,6%	42.466	34,7			
bosque claro	2.748,1	10,5%	121.106	44,1	3.514,9	13,4%	236.343	67,2			
bosque denso	2.840,7	10,8%	294.443	103,7	9.605,3	36,5%	1.371.113	142,7			
resto	18.250,3	69,4%	25.685	1,4	11.129,4	42,3%	20.788	1,9			
total	26.297,4	100,0%	482.084	18,3	26.297,4	100,0%	1.670.709	63,5			

Los cambios acaecidos en Mena son característicos del proceso denominado transición forestal, y no son excepcionales en el contexto de Europa occidental. Más bien al contrario, son arquetípicos y ejemplifican perfectamente las intensas transformaciones asociadas al fin del sistema agrario tradicional. Con sus variantes locales estas consisten en un abandono de las formas tradicionales de aprovechamiento del territorio, que eran muy intensas y extensas, y conducían a una sobreexplotación que degeneraba en severos procesos erosivos. Con el fin de una presión tan elevada, la vegetación forestal, en un medio tan productivo como el menés, se ha recuperado con



extraordinaria rapidez. En cada lugar, en función de la precisa situación inicial y de los eventos renovadores subsiguientes, esta recuperación ha adquirido unos matices que, juntamente con la heterogeneidad del medio, han dado lugar a la enorme variedad de situaciones que hoy se observan en los ecosistemas meneses. A modo de ejemplo, allí donde el fuego ha intervenido más (como en los montes de Ordunte), los matorrales ocupan una mayor extensión, mientras que su representación es mucho más escasa donde los incendios apenas han afectado (como en los montes de la Peña).

La rápida recuperación de los bosques meneses muestra hasta qué punto es poco consistente la idea de culpar de la deforestación actual, al menos en los montes cantábricos, a periodos lejanos de intensa explotación: a estos efectos, poco importa lo acaecido en el siglo XIX o precedentes, ya que ha quedado demostrado que en medio siglo el bosque ha sido capaz de cubrir terrenos intensamente erosionados. Otra cuestión es que se requieran periodos más largos para la plena recuperación de los atributos edáficos y como consecuencia de la productividad forestal, pero el ejemplo menés muestra que, cuando cesan los eventos más destructivos (como incendios e intenso pastoreo), el monte y el bosque se regeneran a una velocidad sorprendente. Solo la persistencia en el uso del fuego explica la deforestación de muchos montes del norte de España.

5.3. Elementos para la reflexión sobre la gestión de los montes cantábricos

La elevada heterogeneidad de los ecosistemas meneses no ha sido un impedimento ni para construir un modelo explicativo de los cambios observados (y supuestamente predictivo) ni para efectuar una gestión que no solo respete la diversidad sino que la potencie. Dado que dicha gestión ha sido practicada en los montes de utilidad pública de Mena por el autor de la tesis durante más de un quinquenio, con buenos resultados económicos, ha mostrado su viabilidad con los medios de que actualmente dispone la administración forestal. Una serie de generalizaciones se pueden extraer:

- El conocimiento ecológico, y en particular de las dinámicas forestales, permiten una gestión productiva que minimice intervenciones que no generan recursos. Se deben aprovechar los procesos espontáneos para conseguir la mayoría de los objetivos, con acciones que maticen las tendencias y solo las reviertan en caso de que se juzguen como inadecuadas: un ejemplo en este sentido sería una contundente actuación cinegética que redujese las poblaciones de ciervo hasta límites compatibles con la regeneración de los robledales; pero, en general, aprovechar las tendencias espontáneas resulta más ecológico y económico que luchar contra ellas.
- La heterogeneidad de estructuras y la diversidad de especies no son un inconveniente desde el punto de vista productivo: simplemente exigen una gestión más refinada. Antes al contrario: con montes diversos, y en particular con bosques mixtos, es mucho más fácil conseguir objetivos económicos y ecológicos de todo tipo, como producir madera de calidad o un hábitat adecuado para muchas especies. La preferencia por bosques monoespecíficos y regulares que a veces se ha mostrado tiene que ver con una simplificación en la que se pretende que los números representen mejor la realidad, y no con un conocimiento que aúne ecología y economía.
- No tiene sentido desde un punto de vista ecológico, y es indeseable desde un punto de vista socioeconómico, separar bosques destinados a conservación de bosques productivos. Las frondosas espontáneas crecen magníficamente bajo el clima cantábrico, siempre que se les aplique la selvicultura adecuada. Productos como la madera de calidad, sobre todo de roble, tienen, y previsiblemente tendrán, una gran demanda que los mercados mundiales no son capaces de satisfacer; lo que hace prever elevados precios mantenidos en el tiempo, algo que no se puede asegurar respecto a productos que se pueden conseguir más a corto plazo y con menos necesidad de conocimientos y de estabilidad social a lo largo de más de un siglo. Por otra parte, las plantaciones con especies exóticas se deben gestionar al menos de forma que se garantice la ausencia de procesos erosivos de relevancia; cuando se alargan sus turnos de explotación, algo que tiene su sentido económico, estas plantaciones se enriquecen con vegetación espontánea, con hongos especializados y con fauna que se considera propia de ecosistemas maduros como es el pito negro (*Dryocopus martius*). No debe repugnar la mezcla de especies autóctonas y exóticas; sí debe hacerlo la pérdida de funciones ecológicas como la regulación hídrica, servir de hábitat para la fauna especializado o para especies muy escasas.



6. Conclusiones

Se ha construido un modelo de dinámica forestal espacialmente explícito que ha servido para interpretar las complejas y variadas dinámicas a las que se han visto sometidos los ecosistemas del Valle de Mena en las recientes décadas. El modelo no solo explica el pasado sino que es útil en la prognosis ecológica: realiza predicciones cualitativas susceptibles de cuantificar. El modelo se usa en la gestión forestal cotidiana del norte de Burgos, donde ha mostrado su validez o al menos que en su marco se puede efectuar una planificación y gestión eficaces.

El núcleo del modelo es la contraposición del crecimiento y las renovaciones que afectan a la vegetación. En cada concretas circunstancias, y según los objetivos perseguidos, el modelo general se puede desarrollar, paticularizándolo, y así se ha hecho para aprovechar la información de las fotos aéreas de 1.957, disponibles para toda España. Se ha conseguido cuantificar no solo la más evidente transformación de superficies sino también el aumento de existencias de madera, que se han multiplicado por un factor entre 3,5 y 4 entre los años 1.957 y 2015. Los ecosistemas meneses se han transformado radicalmente en menos de seis décadas, en las que el bosque ha extendido sus dominios, se ha densificado, diversificado y en general el monte ha variado profundamente sus atributos, en un proceso desencadenado por el fin de la intensa explotación que conllevaba el sistema agrario tradicional.

El análisis diacrónico ha puesto de manifiesto la complejidad de las rutas sucesionales y cómo en ocasiones pequeñas variaciones puntuales se han amplificado con el tiempo, mientras que con frecuencia ha ocurrido lo contrario: partiendo de situaciones diversas se ha producido una cierta convergencia. Estos comportamientos son característicos de sistemas complejos y se pueden denominar caóticos. El modelo desarrollado asume las incertidumbres inherentes a este tipo de sistemas pero desarrolla tácticas para acotar los efectos indeseables de la incertidumbre. Tiene una vertiente práctica que se traduce en un tipo de gestión forestal con una base ecológica muy directa, en la que la complejidad es asumida como un valor y no como una limitación.

7. Bibliografía

CARRIÓN, J.S.; 2003. Sobresaltos en el bosque mediterráneo: incidencia de las perturbaciones observables en una escala paleoecológica. *Ecosistemas Nº 3/2003*. URL: http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/225.

LEVIN, S.A.; 2002. Complex adaptive systems: exploring the known, the unknown and the unknowable. *Bulletin (new series) of the American Mathematical Society* 40 (1): 3-19.

MARGALEF, R.;1991. Teoría de los sistemas ecológicos. Publicacions de la Universitat de Barcelona. 290 pp. Barcelona.

MESSIER, C.; PUETTMANN, K.J.; COATES, K.D. (eds.); 2013. Managing Forests as Complex Adaptive Systems. Building Resilience to the Challenge of Global Change. Routledge. 368 pp. Oxon.

MORETTI, V.; FERRARA, A.; COLANTONI, A.; CARLUCCI, M.; SALVATI, L.; 2014. Forest Transition and Changes in the Socio-Economic Structure of a Developed Country: A Long-Term Analysis. *Modern Economy* 5: 932-938.

SEVILLA, F.; 2008. Una teoría ecológica para los montes ibéricos. IRMA. 715 pp. León.

SEVILLA, F.; 2015. La predicción en sistemas complejos: ciencia y aplicación práctica. En *Cuad.* Soc. *Esp. Cienc. For.* 39 (2015). Pp. 111-137.

SEVILLA, F.; 2016. Un modelo de dinámica forestal para una gestión anticipadora. Estudio de caso en el Valle de Mena (norte de Burgos). Tesis doctoral. Universidad de León. 415 pp.

TALEB N. N.; 2007. The Black Swan: the Impact of the Highly Improbable. Random House. 366 pp. New York.

