

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES**

Departamento de Fundamentos del Análisis Económico II



**INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS ECONÓMICO EN
SISTEMAS AGROFORESTALES: UNA APLICACIÓN A
UN GRUPO DE DEHESAS DE LA COMARCA DE
MONFRAGÜE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

David Martín Barroso

Madrid, 2003

ISBN: 84-669-2264-4

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE FUNDAMENTOS
DEL ANÁLISIS ECONÓMICO II



Instrumentos de Análisis Económico en
Sistemas Agroforestales: Una aplicación a un
grupo de dehesas de la comarca de Monfragüe

TESIS DOCTORAL

David Martín Barroso

Madrid, 2003

A Victoriano, Visi, Paula y Victor.

Índice

Agradecimientos	ix
Prólogo	xi
I Introducción	1
1 Introducción	3
1.1 Objetivos	3
1.2 Motivación	4
1.3 La dehesa	5
1.3.1 Datos generales de superficie (<i>Q. ilex</i> y <i>Q. suber</i>)	6
1.3.2 Superficies adehesadas del oeste y sudoeste de España	6
1.4 Breve descripción de casos de estudio	8
1.5 Clasificación <i>JEL</i>	9
1.6 Antecedentes teóricos	9
1.7 Aportaciones originales	10
1.8 Información preliminar	11
1.9 Medición de renta económica	13
1.10 Análisis coste beneficio	15
1.11 Problema de optimización dinámica	16
II Evaluación y Análisis de la Sustentabilidad Forestal	19
2 El caso estático	21
2.1 Introducción	21
2.2 Metodología	22
2.2.1 Valor capital de los usos del suelo desarbolado	22
2.2.2 Valor capital de los usos del suelo arbolado	23
2.2.3 Proceso de normalización	29
2.2.4 Valor capital de la hectárea media de dehesa	37
2.3 Obtención, presentación y análisis de resultados	41
2.3.1 Análisis del estado físico de la superficie arbolada	42

2.3.2	Evaluación económica de la superficie arbolada	43
2.3.3	Evaluación económica de la finca de dehesa	88
2.4	Conclusiones	100
2.5	Apéndice	105
2.5.1	Distribución del arbolado por clases diamétricas	105
2.5.2	Coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases diamétricas del encinar frente a las hipotéticas distribuciones del estado estacionario	108
2.5.3	Coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases de circunferencia del alcornocal frente a las hipotéticas distribuciones del estado estacionario	138
2.5.4	Coste de oportunidad estimado de la regeneración natural continuada del arbolado	146
2.5.5	Valor capital estimado de las fincas de dehesa	149
3	Un modelo de control óptimo	153
3.1	Introducción	153
3.2	Motivación	154
3.3	Formulación del problema	155
3.3.1	Vectores de estado	155
3.3.2	Vectores de control	156
3.3.3	Leyes de movimiento de los vectores de estado	158
3.3.4	Restricción global de recursos	158
3.3.5	Restricciones de no negatividad	159
3.3.6	Condiciones iniciales	161
3.3.7	Función objetivo	161
3.3.8	Gradiente de la función objetivo	164
3.3.9	El problema de control óptimo	170
3.4	Método de solución	172
3.5	Presentación y análisis de resultados	173
3.5.1	Valores óptimos de la función objetivo	174
3.5.2	Los agentes privados	176
3.5.3	Planificador central benevolente	184
3.5.4	El mercado y el planificador central no benevolente	192
3.6	Reflexiones computacionales	204
3.7	Conclusiones	205
3.8	Apéndice: El modelo	209
3.8.1	Variables de decisión	209
3.8.2	Variables de estado	209
3.8.3	Variables exógenas	209
3.8.4	Función objetivo	210
3.8.5	Vectores de control	211
3.8.6	Restricciones	212
3.8.7	Condiciones iniciales	214
3.8.8	El modelo completo	215

III Conclusiones 217

4 Conclusiones 219

4.1 Introducción 219

4.2 Aspectos metodológicos 219

4.3 Análisis de resultados 221

4.3.1 Los propietarios 221

4.3.2 El maximizador de RCPpm 223

4.3.3 El planificador central benevolente 224

4.3.4 El planificador central no benevolente 224

4.3.5 Efectos de los distintos aprovechamientos 225

4.3.6 Recomendaciones de gestión pública 226

4.4 Futuras líneas de investigación 227

Apéndice computacional 237

.1 Programa principal 237

.2 Parámetros de la función objetivo 244

.3 Restricciones 248

Agradecimientos

Son muchas las personas que han colaborado directa e indirectamente en la elaboración de este trabajo de investigación. Estoy en deuda con Pablo Campos Palacín. Él me ha enseñado a trabajar y ha dirigido todos mis estudios sobre la economía y gestión del monte mediterráneo. A toda su ayuda y muchas de sus ideas que han quedado aquí plasmadas. Gregorio Montero me dedicó muchas tardes del otoño-invierno de 1999 en la elaboración de los ciclos selvícolas del alcornoque, y un año más tarde, con Isabel Cañellas, en el diseño de los correspondientes ciclos para la encina. Emilio Cerdá supervisó la formulación del problema de decisión del Capítulo 3 así como su método de solución, y revisó minuciosamente el primer borrador completo de tesis durante el transcurso del segundo cuatrimestre del curso 2001-2002 hasta bien entrado el verano, sus sugerencias y comentarios han enriquecido y mejorado enormemente el análisis formal y de resultados. Miguel Jerez revisó versiones anteriores al trabajo realizado en el Capítulo 3, gracias a sus sugerencias se ha conseguido resolver el problema de optimización de manera eficiente. Los evaluadores Diego Azqueta, Miguel Jerez, Gregorio Montero, José Manuel Naredo, y Carlos Romero, han aportado valiosos comentarios y sugerencias que al mismo tiempo de enriquecer el trabajo, abren con nuevas ideas futuras líneas de investigación.

Muy agradecido al Instituto de Economía y Geografía del CSIC, donde logré con todos sus medios recopilar y procesar toda la información empleada en esta tesis durante los tres primeros años de investigación. También al Departamento de Economía Aplicada II de la UCM, donde he podido concluir este proyecto a lo largo de estos dos últimos años.

A mis compañeros Alejandro Caparrós y Yolanda Rodríguez, quienes trabajaron de manera admirable en la recogida y proceso de datos de campo en Extremadura durante los dos primeros años del proyecto de investigación sobre la rentabilidad privada y social de las reforestaciones con encina y alcornoque. A Pedro J. Mariscal, quien trabajó en la estimación del valor de los servicios recreativos ambientales y de conservación consumidos por propietarios y visitantes de libre acceso. A Enrique Torres y Fernando J. Pulido por la aportación de los inventarios forestales de cada una de las fincas de estudio.

Los colegas del Departamento de Selvicultura del CIFOR-INIA, Nieves Cañadas, Angel Bachiller, Ricardo Ruíz y Enrique Garriga, así como mi compañero de doctorado Massimiliano Marinucci, me han ayudado en la medición y estimación de la función de crecimiento de la encina. El trabajo de Alberto Alonso

sobre el cálculo de biomasa de las diferentes especies forestales sirvió para estimar la producción de leña en el alcornocal.

Los asistentes al seminario del Departamento de Economía Aplicada II, donde se presentó el Capítulo 2, y del Departamento de Fundamentos del Análisis Económico II, donde se discutió sobre el Capítulo 3. Los comentarios y sugerencias de Rafael Myro, Carlos Abad, Francisco Álvarez, Lourdes Moreno, Elena Huergo y María Dolores Robles, han aportado nuevas ideas así como ayudado a clarificar conceptos.

Muy enriquecedora la discusión mantenida con los colegas José Manuel Lima Santos, Fernando Alves Lourenço, Fernando Oliveira Baptista, Inocêncio Seita Coelho y Manuel Belo Moreira del *Departamento de Economia Agrária e Sociologia Rural* de la *Universidade Técnica de Lisboa*, acerca de los aspectos formales de la valoración del vuelo en las dehesas.

A todos mis profesores de la UCM que impartieron los cursos de doctorado en economía cuantitativa durante los años 1998-2000.

A Juan Domingo (Universidad de Huelva), Luis Abad (Ceifra), Miguel Girón (Montes de Propios de Jerez de la Frontera) y Guillermo Pardillo (Talher S.A.), que han aportado información sobre los costes y rendimientos de la silvicultura.

La financiación recibida por la CICYT y el INIA permitió el desarrollo del proyecto de investigación FO96-040/1645 *Rentabilidades privada y social de las repoblaciones forestales: análisis aplicado a un grupo de dehesas de la comarca de Monfragüe (Cáceres)*. Al MEC por su beca de FPI percibida durante el período 1998-2001, y a la UCM donde disfruto de una plaza de profesor ayudante en el Departamento de Economía Aplicada II desde el año 2001.

A mis padres Victoriano Martín y Visitación Barroso, que siguen siendo mis principales educadores y me han dedicado la mayor parte de su tiempo y de su esfuerzo. A Paula Gil, que no con poca paciencia me acompaña y ayuda a vivir mejor. A mi hermano Víctor Martín, por su apoyo incondicional y admirable calidad humana.

Prólogo

Mi interés por el análisis económico surge durante mis estudios de economía en *The School of Economic and Social Studies* de la Universidad de Manchester. Los cursos de matemáticas para economistas impartidos por los profesores Chris Birchenhall, Paul Madden, Alvin Birdy y Antonio Noriega aportaron ya una base sólida en técnicas de optimización estática y dinámica. Durante el tercer y último año de mis estudios en esta Universidad, entablé buena amistad con el informático Mike Freeman, entonces *senior resident* de la residencia de estudiantes donde vivía, y profesor ayudante de UMIST enrolado en un importante proyecto de investigación titulado *The Global System Model*. Las largas discusiones sobre nuestro modo de entender *how the world works*, como él solía decir, despertaron en mi inquietud sobre la investigación en el ámbito de la gestión de los recursos naturales. A lo largo de mis estudios de maestría en econometría y economía matemática en *The London School of Economics and Political Science* de la Universidad de Londres, tuve la oportunidad de asistir a las clases del profesor Danny T. Quah en crecimiento económico. Sus exposiciones en programación dinámica mostraron de manera clara y precisa no sólo el instrumento, sino el modo de aplicación.

A mi regreso a Madrid, el profesor Manuel Santos me informa sobre la posibilidad de entrar a formar parte de un equipo de investigación en el Instituto de Economía y Geografía del CSIC, dedicado al estudio de la economía y gestión de los recursos naturales renovables del monte mediterráneo. Decido concursar y gano una beca de investigación del MEC adscrita a un proyecto de investigación sobre la rentabilidad social y privada de las reforestaciones con encina y alcornoque. Es aquí cuando comienzan mis estudios en economía ambiental bajo la dirección del investigador Pablo Campos y queda forjada la idea de dedicar mi carrera profesional a la actividad investigadora y docente. Pocos meses más tarde empiezan mis estudios de doctorado en economía cuantitativa en la Universidad Complutense de Madrid, donde tengo la oportunidad de aprender a programar con el profesor Miguel Jerez y la profesora Sonia Sotoca. Los ejercicios de simulación con modelos de crecimiento económico realizados por el profesor Alfonso Novales, y un seminario impartido por el profesor Emilio Cerdá sobre la gestión de listas de espera en un hospital de Madrid, terminan consolidando la idea de aplicación de las técnicas de optimización dinámica al problema de gestión forestal en los ecosistemas de dehesa.

Durante el desarrollo del proyecto de investigación mencionado, tengo el

privilegio de colaborar estrechamente con el investigador Gregorio Montero y la investigadora Isabel Cañellas. Con ellos comienzan mis estudios de selvicultura de las dos especies forestales predominantes en los sistemas de dehesa, la encina y el alcornoque.

El interés del profesor Emilio Cerdá por los aspectos ambientales y su reconocida especialidad en técnicas de optimización me animan a proponerle la codirección del proyecto de tesis doctoral. Trabajamos en un principio en la elaboración de una ponencia para un congreso del IUFRO en la que se determinaba la gestión óptima del alcornocal y de un rebaño de caprino en una de las cuatro fincas estudiadas en el proyecto.

En diciembre del año 2000 finaliza el proyecto de investigación, teniendo a mi disposición el conjunto completo de información económica y selvícola necesaria para la elaboración de esta memoria de tesis doctoral.

Pues bien, esta tesis presenta en primer lugar una metodología para valorar económicamente los sistemas agroforestales de dehesa en función de la especie forestal, la edad del arbolado, el uso del suelo, y el tipo de gestión forestal, ya sea sustentable, es decir, incluyendo los tratamientos de regeneración natural del arbolado al final de los ciclos productivos, o no sustentable, cuando la ausencia de regeneración natural resulta en una eventual transición a uso del suelo desarbolado. Se realiza así un ejercicio de modelización del bosque mediterráneo a partir de los ciclos selvícolas teóricos procedentes de plantación artificial y regeneración natural que es aplicado a cuatro fincas de la comarca de Monfragüe en Cáceres. El sistema de cuentas agroforestales desarrollado por el investigador Pablo Campos ha permitido calcular la renta generada por el territorio y percibida tanto por propietarios como por el conjunto de la sociedad, incluyendo además de los beneficios comerciales asociados a la gestión de estos ecosistemas, los servicios recreativos ambientales y de conservación consumidos por propietarios y visitantes de libre acceso. Las variables de renta privada han sido calculadas con y sin subvenciones netas de impuestos. Además del conjunto de ayudas a la plantación artificial contempladas por el reglamento comunitario *ECC Council Regulation 2080/92* sobre reforestación en tierras agrícolas, se ha simulado un marco de ayudas a la regeneración natural. Se han considerado diferentes escenarios del aprovechamiento ganadero de los recursos de pastoreo, así como evaluado distintos niveles de descuento y precios de los productos forestales. Con todos estos ingredientes se han tratado de analizar las implicaciones que tienen sobre la gestión de los sistemas de dehesa y su conservación las condiciones de mercado e intervención pública actuales.

El Capítulo 2 presenta un proceso de normalización que permite analizar y valorar económicamente las distribuciones de clases de edad del arbolado y usos del suelo observados en el inventario de cada finca a partir de hectáreas teóricas o normales. Se plantean varios problemas de análisis coste beneficio en un contexto de horizonte temporal infinito. El estudio de sustentabilidad forestal mediante la formulación de un escenario en el que el bosque adhesionado de encinar y alcornocal se encuentra en estado estacionario, y consiguientemente su conservación indefinida está garantizada, contrastado frente al estado actual del arbolado que se gestiona bien de manera sustentable o bien no sustentable.

Al nivel de la finca de dehesa y por tanto considerando el mosaico completo de usos del suelo, se contrasta el estado actual bajo los dos escenarios de gestión forestal.

El Capítulo 3, haciendo uso de técnicas matemáticas de optimización dinámica, pretende explicar desde el punto de vista económico, el proceso de expansión forestal incentivado llevado a cabo durante los últimos años mediante plantación artificial, así como la ausencia de regeneración natural del arbolado propiciada por un aprovechamiento ganadero sin restricciones de los recursos de pastoreo de la dehesa. Mediante la formulación de un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito y su correspondiente solución por programación matemática, se determinan los caminos óptimos de gestión forestal en la dehesa para propietarios y planificadores sociales considerando diferentes horizontes temporales de decisión y distintos escenarios de gestión de los recursos de pastoreo.

Las conclusiones derivadas de todo el análisis se encuentran en el Capítulo 4, donde se discute sobre la metodología utilizada y los resultados obtenidos. Se formulan algunas recomendaciones tanto de gestión pública como privada, y se plantean posibles líneas de ampliación del trabajo de investigación presentado en esta memoria de tesis doctoral.

Parte I

Introducción

Capítulo 1

Introducción

1.1 Objetivos

El objetivo de esta memoria de tesis doctoral consiste en ofrecer un marco de análisis económico para los sistemas agroforestales mediterráneos de dehesa bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales. Los instrumentos analíticos que a continuación se presentan pretenden sentar los pilares de comunicación entre el analista y el propietario, y el analista y las autoridades públicas con poder de decisión en el diseño e implantación de programas de incentivos y ayudas a determinadas prácticas agroforestales.

Los resultados metodológicos que presenta esta tesis están complementados por una serie de trabajos que constituyen la fuente de información que *alimenta* todo el análisis realizado en los siguientes Capítulos. De forma muy superficial, puede explicarse la trama de todo el trabajo mediante la siguiente secuencia. En primer lugar, es necesario conocer la vida completa de los árboles, con todo el calendario de tratamientos culturales asociados a la gestión de este recurso, así como las producciones físicas correspondientes, es decir, deben conocerse los ciclos selvícolas de las diferentes especies arbóreas. Conocida la selvicultura del arbolado, hay que valorar los costes y las producciones de todas y cada una de las intervenciones culturales. Realizado esto, se precisa de un conjunto de variables de rentas social y privada que permitan cuantificar los niveles de renta anual asociados a cada actividad y uso del suelo. Definido el conjunto de variables de renta, hay que contar con un marco metodológico de análisis económico que permita la evaluación objetiva de resultados de los posibles tipos de gestión de los recursos agroforestales de uso múltiple presentes en estos sistemas. Pues bien, este último elemento en la breve secuencia descrita, constituye la hipótesis objeto de estudio de esta tesis doctoral.

En particular, el trabajo se centra en el análisis económico del problema de gestión asociado a la renovación del arbolado en las dehesas. Mediante la formulación del problema de decisión al que se enfrentan actualmente los agentes privados o propietarios y los agentes sociales, esta tesis también pretende ex-

plicar desde el punto de vista económico, el proceso de expansión forestal incentivado llevado a cabo durante los últimos años mediante plantación artificial, así como la ausencia de regeneración natural del arbolado propiciada por un aprovechamiento ganadero sin restricciones de los recursos de pastoreo de la dehesa.

Pues bien, el Capítulo 2 se dedica a la obtención de los valores presentes descontados (VAN) a horizonte temporal infinito para cada una de las selviculturas y usos del suelo presentes en las cuatro fincas de dehesa estudiadas. En este mismo Capítulo se define un proceso de normalización que permite evaluar las distribuciones diamétricas observadas a partir de los VAN calculados para las hectáreas teóricas consideradas. Se analiza el problema de sustentabilidad forestal considerando en un caso sólo las superficies arboladas y en otro la totalidad de los usos del suelo de la dehesa en su conjunto.

Haciendo uso de las variables de renta anual asociadas a cada uno de los usos del suelo y del proceso de normalización, el Capítulo 3 formula y resuelve un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito sobre el proceso de decisión de los agentes privados y sociales respecto a las actuales reforestaciones con encina y alcornoque y el escenario simulado de regeneración natural continuada del arbolado. En este caso, bajo el criterio de maximización del VAN a horizonte temporal finito de las diferentes variables de renta, se determinan para cada una de las fincas de estudio y una tasa de descuento fijada, los caminos de gestión óptima del conjunto de alternativas posibles en el contexto actual.

Las conclusiones generales derivadas del análisis así como algunas de las posibles líneas futuras de investigación se recogen en el último Capítulo.

El presente Capítulo ofrece en primer lugar las razones fundamentales que motivan y justifican el trabajo de investigación realizado. Siguen algunos datos globales de las superficies adehesadas del oeste y sudoeste de la España peninsular, así como de superficie de encinar y alcornocal según su procedencia geográfica y una breve descripción de los casos de estudio. Los antecedentes teóricos sobre la valoración económica de los bosques así como las aportaciones originales que surgen de este trabajo se analizan en los siguientes dos apartados. Los supuestos fundamentales para el análisis económico y particulares a cada finca de estudio se tratan en el apartado titulado información preliminar. El conjunto de variables de renta económica utilizado se define en el apartado de medición de renta económica. Los dos últimos apartados describen brevemente el contenido metodológico del segundo y el tercer Capítulo.

1.2 Motivación

La falta de regeneración arbórea de las dehesas es actualmente un hecho incuestionable tanto desde el punto de vista forestal (Montero *et al.*, 1994 y 1998, y Torres, 2001) como ecológico (Pulido y Díaz, 2001), y constituye un problema

de vital importancia a la hora de asegurar la conservación de los árboles de estos sistemas.

Mientras que este problema ha sido paliado indirectamente por las administraciones públicas recientemente mediante la aplicación de programas de reforestación artificial motivados por la intención de reducir el excedente agrícola en la Unión Europea, no existe, por otra parte, mención alguna a los métodos de regeneración natural del arbolado.

La aplicación del reglamento comunitario de ayudas a la reforestación de tierras agrarias (ECC Council Regulation 2080/92) resultó ya en un incremento de más de medio millón de hectáreas (ha) en diciembre de 1998 en la superficie forestal española. De estas plantaciones, 53,563 ha fueron reforestadas con encina (*Quercus ilex* L.) y 21,353 ha con alcornoque (*Quercus suber* L.). Además se realizaron 42,391 ha de plantaciones mixtas de encina y alcornoque y otras 108,681 ha de reforestaciones mixtas de ambas especies pero combinando además otras especies. Adicionalmente se han realizado mejoras sobre 82,405 ha de alcornocal maduro con subvenciones de la administración pública. En la zona de estudio, Extremadura, en el período comprendido entre 1995 y 2000 se han reforestado 28,284 ha con alcornoque y 14,449 ha con encina. Además se han realizado plantaciones mixtas de encina y alcornoque sobre 19,473 ha y mejoras del alcornocal adulto sobre 48,777 ha.

Los fondos públicos empleados en la ampliación y mejora de las masas de quercíneas predominantes en los paisajes de dehesa sugieren afirmar el creciente interés de la sociedad europea por la conservación de estos espacios naturales. En este contexto, el presente trabajo trata de modelizar el proceso de decisión utilizado por los agentes sociales o planificadores centrales y los agentes privados o propietarios, a la hora de gestionar el territorio, concentrando la atención en el problema de decisión que surge alrededor de la sustentabilidad forestal en estos sistemas. Por un lado se estudian los escenarios asociados a las reforestaciones o plantaciones artificiales que vienen teniendo lugar desde mediados de la década de los años 90, mencionados en el párrafo anterior. Por otro, se simula un escenario de regeneración natural como alternativa y complemento a una gestión agroforestal orientada a la conservación de estos espacios naturales.

1.3 La dehesa

El término dehesa, en su acepción más amplia, “se refiere a las tierras de secano, con y sin arbolado del género *Quercus*, del oeste y sudoeste de la España peninsular, caracterizadas por la semiaridez del clima y la frecuente acidez de los suelos, en los que se explotan en régimen extensivo y, generalmente con mano de obra asalariada una gran variedad de razas ganaderas autóctonas” (Campos y Sesmero, 1987). Su acepción más genuina se refiere no obstante a “las tierras arboladas en monte hueco con encinas (*Q. ilex* L.), alcornoques (*Q. suber* L.) y robles (*Q. faginea* Lam, *Q. pyrenaica* Willd.)” (Campos *et al.*, 2002a). De este modo, la superficie arbolada con quercíneas alcanza en España superficies no inferiores a los 3-3.5 millones de hectáreas (San Miguel, 1994 y Montero *et al.*,

1998). Si se atiende a la acepción más amplia de la palabra dehesa y se incluyen además los *montados* portugueses, la superficie adehesada se aproxima a unos 9.5 millones de hectáreas (Campos, 1991b: Tabla 1, p. 207).

Sobre el funcionamiento de los sistemas de dehesa y sus problemas de conservación, se encuentra un análisis detallado en Martín Bolaños (1943), San Miguel (1994), Montero *et al.* (1998) y Pulido *et al.* (2002).

1.3.1 Datos generales de superficie (*Q. ilex* y *Q. suber*)

Montero y Cañellas (1999) estiman en 365,000 hectáreas (ha) la superficie de masas puras y densas de alcornoque y en aproximadamente 475,000 ha, si se incluyen además las masas mezcladas con otras especies y las muy aclaradas. Para Portugal, primer productor mundial de corcho seguido de España, estiman en 700,000 las hectáreas de alcornocal. Otros países en los que el alcornocal está presente pero donde la producción de corcho es relativamente baja corresponden a Argelia (440,000 ha), Marruecos (350,000 ha), Túnez (180,000 ha), Francia (130,000 ha) e Italia (90,000 ha) (ver Montero y Cañellas, 1999: Tabla 2, p. 21).

Respecto de la superficie de encinar, Rupérez (1957) ofrece un dato publicado por la Estadística Forestal de 1955 de 3,972,530 ha de encinar en España. Este autor atribuye otros dos millones de hectáreas de encinar a Marruecos, y otro millón más repartido entre Portugal (300,000 ha), Italia (300,000 ha), Francia (250,000 ha), Yugoslavia (100,000 ha), Albania, Grecia, Turquía, Siria y Libia. Ceballos y Ruiz de la Torre (1971) estiman la superficie de encinar en España en torno a los tres millones de hectáreas¹. Campos (1991b)² atribuye 1.863 millones de hectáreas de encinar al oeste y suroeste español, 2.889 millones de hectáreas al conjunto del territorio español, 419,000 ha al Alentejo portugués y 472,000 ha al conjunto del territorio portugués.

1.3.2 Superficies adehesadas del oeste y sudoeste de España

Como establece la primera definición al principio del apartado, se consideran como dehesas las superficies forestales del oeste y sudoeste de España, aunque con menor importancia en términos de su peso sobre la superficie agraria útil (SAU), existen dehesas en la mayoría de las provincias españolas. La Tabla 1.1 muestra la distribución de usos de la tierra en España en el año 1998, distinguiendo entre las 10 provincias representativas del área adehesada. La superficie de dehesa queda recogida en la columna titulada tierras forestales, y se presenta como un mosaico de vegetaciones moduladas por el pastoreo de la ganadería y las especies cinegéticas. En ella se encuentran registradas las superficies de monte abierto o adehesado, columna *c*, el monte maderable que ocasionalmente integra un aprovechamiento marginal de sus recursos de pastoreo, columna *d*, los matorrales denominados monte leñoso en la columna *f*, y los pastizales desarbolados de la columna *j*.

¹Ceballos y Ruíz de la Torre (1971), p. 259.

²Tabla 1, p. 207.

Tabla 1.1. Tipos de vegetación y usos de la tierra en España. Datos de 1998.
En miles de hectáreas.

Clase	Monte abierto			Monte maderable d
	labrado	no labrado	total	
	a	b	c=a+b	
Badajoz	30	400	430	95
Cáceres	20	500	520	179
Extremadura	50	900	950	274
Cádiz	1	117	119	28
Córdoba	90	278	368	87
Huelva		196	196	302
Sevilla	28	128	156	51
Andalucía Occidental	119	719	839	467
Ciudad Real		117	117	88
Jaén		74	74	209
Salamanca	32	235	267	48
Zamora		30	30	55
Resto de área adhesionada	32	455	487	401
Total área adhesionada	201	2,075	2,276	1,142
Resto de España	26	1,793	1,819	6,279
España	227	3,868	4,095	7,422

Continúa en la Tabla siguiente.

Tabla 1.1 (continuación). Tipos de vegetación y usos de la tierra en España.
Datos de 1998 en miles de hectáreas.

Clase	Bosques	Monte	Tierras	Prados	Pastizales
		leñoso	forestales		de
	e=c+d	f	leñosas g=e+f	h	secano i
Badajoz	525	150	675		415
Cáceres	699	250	949	15	561
Extremadura	1,224	400	1,624	15	976
Cádiz	147	76	223	3	130
Córdoba	455	76	531	5	126
Huelva	497	93	591	1	182
Sevilla	207	103	310	2	104
Andalucía Occidental	1,306	348	1,654	10	542
Ciudad Real	205	254	459	22	323
Jaén	283	127	410	3	184
Salamanca	316	57	373	46	409
Zamora	84	66	150	56	303
Resto de área adhesionada	888	505	1,393	127	1,219
Total área adhesionada	3,418	1,253	4,671	151	2,737
Resto de España	8,098	3,869	11,968	1,335	6,889
España	11,517	5,122	16,639	1,486	9,626

Continúa en la página siguiente.

Tabla 1.1 (continuación). Tipos de vegetación y usos de la tierra en España.
Datos de 1998 en miles de hectáreas.

Clase	Pastizales	Tierras	Tierras	SAU
	desarbolados	forestales	de cultivo	
	$j=h+i$	$k=g+j$	$l=m-k$	m
Badajoz	415	1,090	949	2,040
Cáceres	575	1,524	343	1,866
Extremadura	990	2,614	1,292	3,906
Cádiz	133	356	319	675
Córdoba	130	661	657	1,318
Huelva	183	774	176	949
Sevilla	105	415	899	1,314
Andalucía Occidental	552	2,206	2,051	4,257
Ciudad Real	345	804	1,085	1,889
Jaén	187	597	687	1,284
Salamanca	455	828	341	1,169
Zamora	359	510	465	974
Resto de área adhesionada	1,346	2,739	2,577	5,317
Total área adhesionada	2,888	7,559	5,920	13,479
Resto de España	8,224	20,191	12,367	32,558
España	11,112	27,750	18,287	46,038

Fuente: Elaborada sobre la base de Díaz *et al.* (1997) y MAPA (2001), pp. 17-23.

El peso que ejercen cada uno de los usos de la tierra que forman la superficie adhesionada ofrece una aproximación sobre la distribución representativa de usos del suelo arbolado y desarbolado en estos ecosistemas. De esta manera, la dehesa extremeña está dedicada en un 36 por ciento al monte abierto, que contrasta con un 9 por ciento si se considera el porcentaje de monte abierto sobre la superficie adhesionada del resto de España, en un 15 y un 38 por ciento al matorral y el pastizal desarbolados, respectivamente, y en un 11 por ciento al monte maderable. Para el total de las zonas de dehesa del oeste y sudoeste de España, el área adhesionada presenta una distribución de usos del suelo similar, concediendo un 30 por ciento al monte abierto, un 17 y un 38 por ciento al matorral y pastizal desarbolados, y un 15 por ciento al monte maderable. El peso de la superficie adhesionada sobre la SAU asciende en Extremadura a un 67 por ciento y en el área adhesionada es de aproximadamente un 56 por ciento. Las superficies adhesionadas del oeste y sudoeste de España suponen un 16 por ciento de la SAU del territorio nacional.

1.4 Breve descripción de casos de estudio

La aplicación se desarrolla sobre cuatro dehesas que suman 6,300 ha situadas en la comarca de Monfragüe (Cáceres, Extremadura), con extensiones que oscilan entre las casi 250 ha de la dehesa F1, a las más de 3,600 ha de la dehesa F4. El

tipo de propiedad de cada una de estas fincas es privada, si bien la dehesa F1, pertenece a una organización privada sin ánimo de lucro, denominada Fundación Global Nature.

El encinar está presente en todas y cada una de las fincas, mientras que el alcornocal solo en F2 y F4. El aprovechamiento de recursos de pastoreo se realiza principalmente con ganado bovino y ovino, presentes en todas las fincas de estudio a excepción de F2, donde la extracción controlada de recursos de pastoreo se realiza con caprino³. Sólo en F3 tiene lugar el aprovechamiento de bellota en montanera (ver Campos *et al.*, 2001: Tabla 1, p. 52).

En el año 1995, se realizaron con éxito reforestaciones con encina en F1 y con alcornoque (al 90 por ciento) y encina (al 10 por ciento) en F4 (*cf.* Tabla 2.5).

1.5 Clasificación JEL

La metodología empleada en el Capítulo 3 se incluye en C61, Técnicas de Optimización, Modelos de Programación, y Análisis Dinámico. La aplicación realizada en esta tesis se encuadra dentro de la clasificación Q2, Recursos Renovables, Conservación y Gestión Ambiental, concretamente bajo Q21, Modelización ambiental, Q23, Aspectos Forestales, Q26, Aspectos Recreativos de los Recursos Naturales, y Q28, Intervención Pública.

1.6 Antecedentes teóricos

El marco conceptual utilizado para la valoración del capital suelo-vuelo en la dehesa, corresponde al propuesto por Samuelson (1976) en cuanto a la inclusión del valor de la tierra en el problema de decisión a horizonte temporal finito, y la formulación del estado estacionario como bosque con distribución de clases de edad sincronizada (Dasgupta, 1982). No obstante, el problema de decisión abordado en el Capítulo 3 considera los valores estimados de compra de la tierra en el momento inicial y venta de la misma al final del período de decisión, en vez de la renta de arrendamiento de la tierra a la que se renuncia a lo largo de todo el período de decisión. Mientras que Samuelson⁴ sugiere determinar la renta de arrendamiento de la tierra de manera endógena para una tasa de descuento y un salario real dados mediante la imposición de la condición de competencia perfecta en la función objetivo del agente decisor (valor actual neto (VAN) maximizado igual a cero), y calculada como valor residual, el presente trabajo estima de manera exógena el valor de mercado de la tierra según su uso y aplica una tasa de descuento próxima a la implícita en el mercado de la tierra, es decir, la que iguala el valor actual neto a horizonte temporal infinito de los rendimientos adscritos a un determinado uso del suelo con el valor de mercado de la tierra (Martín *et al.*, 2001).

³También hay ganado caprino en F4.

⁴Samuelson (1976), pp. 473 y 479.

Los trabajos de Hartman (1976) y Strang (1983) son pioneros en la inclusión explícita en el modelo conceptual de decisión de los valores ambientales ofrecidos por el bosque en la función objetivo, no obstante siguen haciendo caso omiso a las recomendaciones de Gaffney (1957) y Samuelson (1976) sobre el uso de la solución de Fisher⁵ para determinar el turno óptimo de un solo ciclo selvícola, es decir, el problema de decisión a horizonte temporal finito formulado sin considerar el VAN de las rentas de arrendamiento de la tierra desplazadas por la inversión forestal.

El análisis económico del uso múltiple de los bosques ha sido tratado por diferentes autores. Gregory (1955) corresponde a una de las primeras publicaciones que hacen mención explícita al problema. El texto de Bowes y Krutilla (1989) hace un estudio completo sobre los diferentes aspectos relevantes en el análisis económico de la gestión del uso múltiple de los bosques, tanto desde el punto de vista teórico como aplicado al caso norteamericano. Un tratamiento más resumido se encuentra en Klemperer (1996)⁶. Algunos ejemplos de aplicaciones económicas recientes corresponden a Campos (1991a, 1995, 1997, 1999b, 1999c y 2002), Campos y López (1998), Campos y Caparrós (1999), Campos *et al.* (1996, 2001, 2002b y 2002c), Standiford y Howitt (1993 y 1992), Romero *et al.* (1998), Caparrós (2000), Caparrós *et al.* (2001) y Martín *et al.* (2001). La Comisión Europea organiza en 1993 un seminario científico dedicado al estudio del uso múltiple sustentable de los bosques de la Unión Europea, European Commission (1994).

El análisis realizado en esta tesis doctoral incluye de manera explícita los servicios ambientales autoconsumidos por el propietario de una finca de dehesa (Mariscal y Campos, 2001) así como los servicios ambientales consumidos por los visitantes de libre acceso (Campos, 1998).

1.7 Aportaciones originales

La disponibilidad de información de campo es un factor muy importante a la hora de analizar el funcionamiento de cualquier espacio natural. En este sentido, la metodología desarrollada en este trabajo de investigación ha tratado de ajustarse a las posibilidades de información existentes. La formulación de un problema de decisión como el planteado en el Capítulo 3, difiere considerablemente respecto a su equivalente para espacios naturales similares⁷ del oeste de los EEUU. Mientras que autores como Standiford y Howitt (1992 y 1993), en su formulación del problema de decisión al que se enfrenta el propietario de un rancho definen como variable de estado asociada al arbolado la fracción de cabida cubierta y como control el volumen de madera extraída. La metodología presentada en esta tesis opta por definir las selviculturas del arbolado de manera

⁵Fisher (1930), pp. 161-165.

⁶Páginas 448-78.

⁷Campos *et al.* (2002b) enumeran similitudes y diferencias entre los ranchos californianos y las dehesas, en términos tanto ecológicos como de gestión.

exógena⁸ y no endógena. Conocidas las selviculturas del arbolado y estimada la renta anual por hectárea según especie y edad del arbolado, el agente privado o social decide sobre el número de hectáreas en regeneración natural o plantación artificial (variables de control), correspondiendo a los estados la labor de registrar el número de hectáreas asociadas a cada uso del suelo en cada momento del tiempo.

El proceso de normalización definido en el Capítulo 2 representa una pieza clave en todo el análisis. Su aplicación a la información primaria ofrecida por los inventarios forestales de cada finca permite una valoración económica precisa de las superficies arboladas en función de la distribución de edades de la masa forestal.

El uso de una función estimada de precios de la tierra según la edad del arbolado permite realizar análisis económico de sustentabilidad forestal a corto y medio plazo, cubriendo el vacío existente de información referente a transacciones de mercado de activos de dehesa para cada clase de edad del arbolado.

La estimación del valor capital⁹ de la hectárea media de dehesa realizado en el Capítulo 2, y la formulación y solución del problema de optimización dinámica del Capítulo 3, se plantean con el objetivo de ofrecer información práctica a aquellos agentes que toman decisiones en el ámbito de la gestión económica de los recursos naturales renovables.

1.8 Información preliminar

El objetivo de este apartado es determinar los supuestos de partida necesarios para el análisis, que mucho tienen que ver con resultados previos a este trabajo de investigación.

En primer lugar, los ciclos selvícolas evaluados a lo largo de todo el trabajo corresponden a los establecidos en Montero *et al.* (2000) y Montero *et al.* (2002), donde se describen los ciclos completos de plantación artificial y regeneración natural bajo tres hipótesis de gestión forestal bien definidas: (i) sustentable, en la que los ciclos selvícolas incorporan las intervenciones silvopasciculturales necesarias para la regeneración natural del arbolado al final de los ciclos, (ii) no sustentable, en donde la selvicultura no considera la perpetuación del arbolado mediante regeneración natural, y (iii) el estado estacionario, cuya estructura de la masa forestal hace que en un contexto de precios fijos la renta anual de la hectárea media del bosque sea constante.

El conjunto de información económica utilizada a lo largo del trabajo se encuentra en Martín *et al.* (2001) y Campos *et al.* (2002c), donde se especifica detalladamente todo el sistema de variables económicas utilizado en la medición de la renta del uso múltiple de estos sistemas, el conjunto de beneficios comerciales y ambientales, precios, costes asociados a las selviculturas prescritas

⁸En el contexto de las dehesas, la legislación vigente sobre las intervenciones culturales del arbolado justifica parcialmente este supuesto de exogeneidad de la selvicultura.

⁹Estimado como valor actual neto a horizonte temporal infinito de las rentas asociadas a una unidad de superficie según su uso.

así como el esquema de ayudas a la reforestación procedente del Reglamento 2080/92. También se establecen y justifican los supuestos tomados para realizar el análisis económico de las reforestaciones y la regeneración natural del arbolado. Principalmente:

S0: La tasa de descuento siempre se refiere a una tasa de descuento real fija. El Capítulo 2 realiza análisis de sensibilidad en ésta al calcular los VAN asociados a las zonas arboladas para las tasas de descuento anuales de 0.5, 1, 2, 2.5, 3, 4, 4.5, 5 y 7 por ciento en el caso del encinar, y 2, 3, 4, 4.5, 5, 6, 7 y 15 por ciento en el caso del alcornocal. Los rendimientos comerciales son actualmente superiores en el caso del alcornocal. Se ha observado que la rentabilidad económica aceptada por los agentes de decisión puede esperarse inferior en el caso del encinar. Esto explica las diferencias en el rango de tasas consideradas en un caso y en otro.

S1: Todo el trabajo se desarrolla bajo la hipótesis de precios constantes. Tanto los precios de los bienes y servicios producidos en la dehesa como el de los factores de producción, se han supuesto constantes e iguales a los del año 1998. Se lleva a cabo análisis de sensibilidad en el precio del corcho (100, 80 y 60 por ciento del precio de 1998) y en el precio de la arroba repuesta en montanera (100, 125 y 150 por ciento del precio en el año 1998). La razón en los diferentes niveles de sensibilidad reside en que el precio de corcho correspondiente al año 1998 es relativamente alto, mientras que en el caso de la arroba repuesta en montanera, el precio correspondiente resulta ser relativamente bajo.

S2: Se considera a la dehesa como un sistema integrado por diferentes usos del suelo tanto arbolado como desarbolado. Por ello, los valores estimados de consumo ambiental del propietario y los visitantes de libre acceso son comunes independientemente del uso del suelo asignado. Además, se supone que estos valores no se modifican para reforestaciones marginales. Las superficies de encinar son las únicas donde parte de la renta ambiental procede del consumo de bellotas por animales salvajes, y consecuentemente, donde únicamente pueden esperarse diferencias notorias según uso del suelo.

S3: Se han supuesto diferentes rentas para los usos del suelo desarbolado dependiendo si la dehesa es predominantemente de encinar o alcornocal. Esto es, se incluyen ingresos de renta cinegética (caza mayor) en alcornocales adehesados (fincas F2 y F4) y no en encinares adehesados (fincas F1 y F3), donde se ha supuesto una renta anual procedente de caza menor.

S4: El conjunto de variables de renta social y privada lleva a cabo análisis de sensibilidad en la inclusión de rentas procedentes de diferentes aprovechamientos. Específicamente, para el caso del encinar se consideran rentas normales (que incluyen el aprovechamiento de la bellota en montanera) y mínimas (en las que la bellota no se aprovecha en montanera). En el caso del alcornocal las rentas normales se diferencian de las rentas mínimas en la inclusión de la renta derivada del aprovechamiento cinegético (caza mayor).

S5: Para cada finca de estudio, atendiendo a las propiedades y características físicas de cada una de ellas, se define el uso del suelo de transición en ausencia de regeneración natural continuada del arbolado. En concreto se establece el cultivo al tercio de cereal para F1 y F3, el matorral en el caso de F2 y el pastizal

para F4.

S6: Las plantaciones con encina se supone que siempre tienen lugar sobre suelo de pastizal desarbolado y pueden realizarse en cualquiera de los cuatro casos de estudio considerados. Las plantaciones artificiales de alcornocal, pueden realizarse en todos los casos de estudio a excepción de F1, donde el desarrollo del alcornocal no es físicamente posible. Las plantaciones se realizan sobre pastizal desarbolado a excepción de F4, donde la reforestación con alcornoco se realiza sobre suelo de matorral desarbolado.

1.9 Medición de renta económica

El sistema de cuentas agroforestales, CAF, (Campos 1999a, 1999b y 2000), facilita de manera considerable todo el análisis presentado en este trabajo de investigación. Todo el trabajo se basa en el supuesto que los agentes de decisión, sociales y privados, son maximizadores de renta económica. Si se dispone de un sistema de cuentas capaz de captar la renta percibida por propietarios y la sociedad en su conjunto y generada dentro de un sistema agroforestal dado, el trabajo de determinar las preferencias sociales y privadas sobre la conservación de un determinado espacio natural es tarea posible de alcanzar, dada la gran variedad de instrumentos metodológicos actualmente disponibles.

Se estudia el problema de decisión de un propietario representativo bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales, que maximiza la renta de capital privada a coste de los factores, RCPcf. Además puede considerarse un propietario que toma decisiones en una hipotética economía de mercado pura en la que no existe intervención pública en la forma de subvenciones e impuestos. En este caso, este agente privado maximiza la renta de capital privada a precios de mercado, RCPpm.

Las variables de renta social permiten analizar el problema de decisión al que se enfrenta un planificador central benevolente o maximizador de renta total social, RTS, o alternativamente no benevolente o maximizador de renta de capital social, RCS.

La Tabla 1.2 recoge el conjunto de variables económicas empleadas a lo largo del trabajo desarrollado en los Capítulos 2 y 3. La Tabla 1.3 ilustra de manera simplificada las expresiones que estiman el valor de cada una de ellas, diferenciando para ambos casos, el encinar y el alcornocal.

Las diferentes variables de renta privada y social se evalúan en los niveles mínimo y normal. El primero de ellos excluye el aprovechamiento de la bellota en montanera en los encinares, y la caza mayor en el caso del alcornocal. Por otro lado, las rentas normales incluyen los ingresos privados y sociales asociados al aprovechamiento de la bellota de encina por cerdos (es decir, en montanera, de ahí el superíndice m) y los asociados al aprovechamiento cinegético mayor en el caso del alcornocal, de ahí el superíndice c .

Tabla 1.2. Variables económicas empleadas en el análisis.

<i>Siglas</i>	<i>Nombre de la variable</i>
MO	Mano de obra o renta salarial
I_p	Ingreso privado
I_p^m	Ingreso privado con aprovechamiento de montanera
I_p^c	Ingreso privado con aprovechamiento cinegético mayor
I_s	Ingreso social
I_s^m	Ingreso social con aprovechamiento de montanera
I_s^c	Ingreso social con aprovechamiento cinegético mayor
G_p	Gasto privado
G_s	Gasto social
SN _I	Subvenciones netas de impuestos
CAG	Consumo ambiental de los visitantes de libre acceso
CBFS	Consumo de bellotas por la fauna silvestre
Rentas privadas	
RCPpmm	Renta de capital privada a precios de mercado mínima
RCPpnm	Renta de capital privada a precios de mercado normal
RCPcfn	Renta de capital privada a coste de los factores mínima
RCPcn	Renta de capital privada a coste de los factores normal
RTPpnm	Renta total privada a precios de mercado normal
RTPcfn	Renta total privada a coste de los factores normal
Rentas sociales	
RCSm	Renta de capital social mínima
RCSn	Renta de capital social normal
RCCm	Renta de capital comercial mínima
RCCn	Renta de capital comercial normal
RCA	Renta de capital ambiental
RTSm	Renta total social mínima
RTSn	Renta total social normal
RTCm	Renta total comercial mínima
RTCn	Renta total comercial normal

La diferenciación entre ingresos y gastos sociales y privados es crucial a la hora de estimar la renta que percibe cada uno de los agentes de decisión considerados. La siguiente expresión relaciona el ingreso social con el privado en el caso del encinar y el alcornocal.

$$I_s = I_p + CAG + CBFS \quad (1.1)$$

$$I_s = I_p + CAG$$

En el primer caso, el del encinar, el ingreso social es igual al privado pero añadiendo el consumo ambiental de los visitantes de libre acceso, *CAG*, y el consumo de bellotas por la fauna silvestre, *CBFS*, ambos ingresos, claramente fuera del control del propietario. Respecto al alcornocal, tan solo se añade al ingreso privado el consumo ambiental de los visitantes de libre acceso, puesto

que el coste de oportunidad del consumo de bellotas de alcornoque por parte de la fauna silvestre se ha asumido nulo.

Respecto al gasto social o privado, la expresión (1.2) ilustra implícitamente las diferencias entre ambos, que coincide tanto para el encinar como para el alcornocal.

$$G_s = G_p + GAP \quad (1.2)$$

En donde GAP , representa el gasto de la administración pública en guardería y lucha contra incendios, que corre a cuenta del erario público y no del propietario de la finca.

Tabla 1.3. Igualdades contables de las variables de renta.

Variables	Encinar	Alcornocal
Rentas privadas		
RCPpmm	$I_p - G_p$	$I_p - G_p$
RCPpmm	$I_p^m - G_p$	$I_p^c - G_p$
RCPcfn	$RCP_{pmm} + SNI$	$RCP_{pmm} + SNI$
RCPcfn	$RCP_{pmn} + SNI$	$RCP_{pmn} + SNI$
RTPpmm	$RCP_{pmn} + MO$	$RCP_{pmn} + MO$
RTPcfn	$RCP_{cfn} + MO$	$RCP_{cfn} + MO$
Rentas sociales		
RCSm	$I_s - G_s$	$I_s - G_s$
RCSn	$I_s^m - G_s$	$I_s^c - G_s$
RCCm	$RCS_m - RCA$	$RCS_m - RCA$
RCCn	$RCS_n - RCA$	$RCS_n - RCA$
RCA	$ACA + CAG + CBFS$	$ACA + CAG$
RTSm	$RCS_m + MO$	$RCS_m + MO$
RTSn	$RCS_n + MO$	$RCS_n + MO$
RTCm	$RCC_m + MO$	$RCC_m + MO$
RTCn	$RCC_n + MO$	$RCC_n + MO$

Nota: ACA es autoconsumo ambiental (ver Mariscal y Campos, 2001).

Aplicaciones recientes de esta metodología corresponden a Campos y López (1998), Caparrós (2000), y Campos *et al.* (2001).

1.10 Análisis coste beneficio

El Capítulo 2 de esta tesis evalúa mediante la aplicación del análisis coste beneficio (ACB), diferentes escenarios de gestión agroforestal en un contexto de horizonte temporal infinito, con el propósito de determinar las preferencias sociales y privadas sobre la conservación de la superficie arbolada de encina y alcornoque en los espacios de dehesa.

Se considera que la gestión forestal es sustentable cuando la silvicultura incluye los tratamientos necesarios para la regeneración natural continuada del

arbolado. Por el contrario, la gestión es no sustentable si la selvicultura aplicada permite que el arbolado desaparezca eventualmente por mortalidad natural y ausencia de regeneración natural motivada por el pastoreo continuado de animales.

En primer lugar se analizan las superficies forestales de encina y alcornoque de manera individual. A continuación se estudia la superficie de dehesa en su conjunto incluyendo todos los usos del suelo presentes en cada una de las fincas de estudio.

En el primer caso, las distribuciones actuales de clases diamétricas del arbolado se evalúan en VAN a horizonte temporal infinito para las diferentes variables de renta privada y social (Tablas 1.2 y 1.3), y se comparan con los mismos valores pero esta vez correspondientes a la superficie arbolada en estado estacionario. Esto se realiza para las actuales superficies arboladas gestionadas de manera sustentable y no sustentable.

Al analizar la hectárea media de cada una de las fincas de dehesa, se estima la diferencia en VAN a horizonte temporal infinito entre una gestión forestal sustentable y otra no sustentable de los encinares y alcornocales presentes en cada caso de estudio.

Sobre las implicaciones teóricas del cálculo de los VAN a horizonte temporal finito e infinito se encuentra un análisis detallado en Samuelson (1976) y Klemperer (1996): Capítulo 4. Azqueta (2002)¹⁰ presenta una introducción al análisis coste beneficio desde la perspectiva de la economía ambiental. Persky (2001) realiza una revisión crítica sobre el origen y la evolución de la técnica del análisis coste beneficio. Ejemplos de aplicaciones recientes de esta técnica a las actuales reforestaciones corresponden a Aunós (1994), Díaz y Romero (1995) y Martín *et al.* (2001).

1.11 Problema de optimización dinámica

El Capítulo 3 formula un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito. El objetivo no es determinar los turnos selvícolas óptimos de cada una de las especies forestales consideradas. En ningún caso trata de resolverse el problema de Faustmann (1849) puesto que las selviculturas se suponen en todo momento exógenas al problema de decisión planteado, es decir, se consideran dadas *a priori*.

Alternativamente se obtienen las secuencias óptimas de reforestación o plantación artificial de encina y alcornoque sobre suelo desarbolado, así como del regenerado natural del arbolado adulto existente. Para una tasa real de descuento del 3 por ciento anual, las selviculturas prescritas, y las condiciones de mercado e intervención pública actuales, el objetivo consiste en ofrecer la distribución óptima de usos del suelo en cada uno de los períodos de decisión comprendidos a lo largo del horizonte temporal, tanto para un propietario de dehesa como para la sociedad en su conjunto.

¹⁰Capítulo 7, pp. 163-196.

Se resuelve el problema de decisión de un propietario o agente privado que maximiza el VAN de la renta de capital privada a coste de los factores, RCPcf. También se considera al propietario maximizador de la renta de capital privada a precios de mercado, RCPpm, en VAN, que equivale a un agente privado que opera sin subvenciones netas de impuestos. Desde el punto de vista de los agentes sociales se considera el problema del planificador central benevolente y no benevolente, dependiendo de la variable de renta maximizada, renta total social, RTS, o renta de capital social, RCS, respectivamente. Cada variable de renta se evalúa en sus niveles mínimo y normal, resolviéndose un total de ocho problemas de optimización por cada uno de los cuatro casos de estudio considerados.

Una versión anterior de este trabajo se encuentra en Martín *et al.* (1999). En este caso el objetivo constituía el cálculo de los caminos óptimos de plantación artificial y regeneración natural de alcornoque así como la carga ganadera óptima de caprino para una de las fincas de estudio consideradas en esta tesis. El planteamiento del problema de decisión combinando la gestión forestal con el manejo de las diferentes especies de ganado resulta muy interesante desde el punto de vista metodológico y relevante desde una perspectiva práctica. Un planteamiento semejante para el conjunto de las fincas de estudio consideradas resulta no obstante mucho más exigente en términos de la información necesaria para la modelización de la gestión de los diferentes rebaños presentes en las fincas de dehesa. En el presente trabajo se ha optado por ampliar el análisis al tratamiento de los encinares y omitir la modelización explícita de la gestión de los rebaños¹¹.

El problema de decisión a horizonte temporal finito planteado en Martín *et al.* (1999) no considera la renta de la tierra. La formulación del problema es además compleja en términos de la inclusión de no linealidades y algunas discontinuidades en la función objetivo. Esto resulta en soluciones localmente óptimas, no pudiendo asegurar optimalidad global en ninguno de los casos. En el presente trabajo, las no linealidades y discontinuidades asociadas al manejo del rebaño de caprino obviamente desaparecen. El tratamiento de las superficies forestales se realiza de manera individualizada, definiendo un estado diferente para cada especie forestal, diferenciando además entre los estados procedentes de plantación artificial y las superficies existentes de encinar/alcornocal maduro procedentes de regeneración natural. De esta manera se evitan las discontinuidades derivadas de las funciones¹² encargadas de imponer el método de regeneración natural sobre la plantación artificial siempre que la disponibilidad de arbolado en edad de regeneración así lo permita. En el presente trabajo, la elección entre plantación artificial y regeneración natural se realiza de manera endógena, permitiendo la maximización de renta económica en este proceso particular de decisión. La formulación estrictamente lineal presentada en el Capítulo 3 ofrece dos resultados de especial interés. Por un lado las soluciones al problema de optimización

¹¹No obstante, la producción estimada de recursos de pastoreo se valora según las rentas pagadas en el mercado de pastos.

¹²Última línea de ecuaciones en Martín *et al.* (1999), p. 150.

dinámica son globalmente óptimas, y por otro, el gradiente de la función objetivo forma la matriz de costes de oportunidad de usos del suelo presentes en cada una de las fincas de dehesa consideradas.

Standiford y Howitt (1992 y 1993) utilizan un modelo de control óptimo para determinar los caminos óptimos de espesura arbórea y carga ganadera en los ranchos californianos, en un contexto de uso múltiple muy similar al de las dehesas y *montados* de la península Ibérica. Estos autores realizan un análisis muy completo y sofisticado del proceso de decisión de estos sistemas. Por un lado relajan la hipótesis de precios constantes e información determinista adoptada en esta tesis y por otro, realizan un tratamiento explícito de la gestión de ganado doméstico y cinegético, además de la gestión forestal de las especies de quercineas presentes en los ranchos del suroeste de los Estados Unidos de América.

Otras aplicaciones de la programación dinámica a la gestión agroforestal de bosques de uso múltiple corresponden a Riitters *et al.* (1982) y Snyder y Bhattacharyya (1990). Kennedy (1986) realiza una exposición muy amplia sobre la aplicación de la programación dinámica a la gestión forestal, agrícola, ganadera y de recursos pesqueros.

Un tratamiento detallado de la Teoría de control óptimo se encuentra en Chiang (1992), Capítulos 7-10, y Cerdá (2001), Capítulos 4 y 5.

Parte II

Evaluación y Análisis de la Sustentabilidad Forestal

Capítulo 2

El caso estático

2.1 Introducción

El objetivo de este Capítulo consiste en realizar un análisis coste beneficio (ACB) sobre la sustentabilidad forestal en la dehesa. Se trata de un modelo de decisión en el que los agentes privados y sociales deciden sólo una vez acerca de la gestión forestal a aplicar. Las variables de renta económica asociadas a cada uno de los usos del suelo presentes en estos sistemas, se evalúan siempre en valor actual neto a horizonte temporal infinito, denominado en este trabajo valor capital.

Conocidos los ciclos selvícolas del arbolado, se dispone de información acerca de la evolución en el tiempo tanto de la gestión como del arbolado y sus producciones. Un sistema de normalización permite analizar el estado actual y *real* del arbolado en términos de su evolución *teórica* o *normal*, tanto desde el punto de vista económico como físico. Para el análisis del estado físico de la superficie arbolada se define y se calcula un conjunto de indicadores físicos de espesura, envejecimiento y regeneración de la masa forestal. Desde el punto de vista económico, se estima el valor capital de la hectárea media de una finca de dehesa para diferentes escenarios de gestión agroforestal.

Se analiza por un lado la superficie arbolada mediante la evaluación de las desviaciones en valor capital, de la renta asociada a la superficie arbolada en su estado actual y bajo dos escenarios de gestión forestal, uno sustentable y otro no sustentable, y su correspondiente estado estacionario. Por otro lado, se evalúa la aplicación de una gestión forestal sustentable frente a otra no sustentable, no obstante, a escala de la finca en su conjunto.

A través del valor capital de la renta de capital privada a precios de mercado se estima la tasa de descuento implícita del mercado de la tierra en el año 1998.

El siguiente apartado de metodología presenta las expresiones matemáticas que estiman el valor capital de los usos del suelo arbolado y desarbolado, y define un proceso de normalización que hace posible la estimación del valor capital de la hectárea media de una finca. El apartado de resultados por un lado establece el conjunto de escenarios de gestión relevantes para la evaluación

económica, tanto desde el punto de vista del propietario como de la sociedad en su conjunto, de la conservación del arbolado de quercíneas en las dehesas, y por otro, presenta los resultados derivados de la aplicación de la metodología al conjunto de casos de estudio considerados.

2.2 Metodología

La evaluación económica del estado actual de las dehesas requiere un conocimiento claro de cada una de las fuentes de valor que integran estos sistemas agroforestales de uso múltiple. El objetivo de este trabajo no consiste en definir cada una de las variables que forman el sistema ni tampoco describir el proceso de cuantificación de las mismas. Partiendo de un sistema de información bien definido, la estimación del valor capital de las dehesas ha de alcanzar un grado de agregación aceptable y atender a un sistema normalizado de análisis que permita la evaluación de estos sistemas en sus diferentes variantes.

Se estudia por un lado la superficie arbolada de estos sistemas y por otro la superficie con los restantes usos del suelo. Conocidos los ciclos selvícolas de las dos especies arbóreas predominantes (*Quercus ilex* y *Quercus suber* L.) se estima el valor capital de la hectárea media de una determinada finca de dehesa. Para ello se aplica un proceso de normalización que convierte las superficies arboladas y desarboladas procedentes de los inventarios forestales en superficies normales o teóricas.

2.2.1 Valor capital de los usos del suelo desarbolado

Bajo el supuesto **S3** (apartado 1.8), las rentas de los usos del suelo desarbolado difieren dependiendo de la especie arbórea predominante en cada caso de estudio. Tanto para las dehesas de encinar como las de alcornoque se consideran tres usos del suelo desarbolado: el cultivo al tercio de cereal, *ct*, el pastizal, *p*, y el matorral, *m*.

Se definen las rentas anuales en euros por hectárea asociadas a cada uno de los usos del suelo desarbolado en estado estacionario¹.

$$y_l^q \text{ es la variable de renta anual asociada a una hectárea con uso } \quad (2.1)$$

desarbolado,

en donde el superíndice $q \in \{i, s\}$ informa sobre la especie arbórea predominante en la finca de dehesa bajo estudio: i se refiere a la encina (*Q. ilex*) y s al alcornoque (*Q. suber*), y el subíndice $l \in \{ct, p, m\}$ el tipo de uso desarbolado.

¹Los usos del suelo desarbolado de pastizal y matorral son por definición estacionarios, no obstante, el uso de cultivo al tercio de cereal presenta usos diferentes según el año. De este modo, la renta asociada a una hectárea en estado estacionario de cultivo al tercio de cereal se calcula hallando la media de (i) un año de cultivo anual, (ii) un año de pastizal y (iii) un último año en el que la mitad del tiempo la hectárea se aprovecha como cultivo y la otra mitad como pastizal. Véase el apartado siguiente para una definición precisa del concepto de estado estacionario.

El valor actual neto a horizonte temporal infinito o valor capital adscrito a un uso del suelo desarbolado l , puede entonces calcularse mediante la siguiente expresión.

$$V_l^q(r) = \frac{y_l^q}{1 - \delta} \quad \text{para cada } l \in \{ct, p, m\} \text{ y } q \in \{i, s\} \quad (2.2)$$

en donde δ representa la función de descuento,

$$\delta = \frac{1}{1 + r} \quad r \in [0, 1] \quad (2.3)$$

y r la tasa real de descuento anual. Consecuentemente, puede expresarse el valor actual neto en función de r .

$$V_l^q(r) = \frac{y_l^q(1 + r)}{r} \quad \text{para cada } l \in \{ct, p, m\} \text{ y } q \in \{i, s\} \quad (2.4)$$

2.2.2 Valor capital de los usos del suelo arbolado

A continuación se deriva la estimación del valor capital de la hectárea de encinar y alcornocal bajo cada una de las siguientes tres hipótesis de gestión: (i) se aplica una selvicultura sustentable, (ii) la selvicultura no es sustentable, y (iii) la selvicultura es sustentable y además, la masa forestal presenta una distribución de clases de edad sincronizada, es decir, se encuentra en estado estacionario.

Encinar

Selvicultura sustentable Se entiende por selvicultura sustentable aquella en la que la superficie arbolada que no ha superado la edad límite para la regeneración natural se regenera indefinidamente en el tiempo acorde a las pautas selvícolas establecidas.

Se consideran las siguientes variables de renta anual:

Para cada $\tau = 0, 1, \dots, 249$:

$y_\tau^{i,a}$ es la variable de renta anual asociada a una hectárea de encinar de edad τ años, procedente de plantación artificial. (2.5)

$y_\tau^{i,n}$ *idem*, pero procedente de regeneración natural,

en donde el subíndice τ representa la edad del arbolado, el superíndice i se refiere al encinar (*Q. ilex*), y a, n representan la procedencia del arbolado, plantación artificial y regeneración natural, respectivamente.

El valor actual neto de cada una de estas variables de renta desde una edad τ determinada hasta el final del ciclo, cuando los rendimientos futuros se descuentan a la tasa anual r , se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{i,k}(\tau, r) = \sum_{j=\tau}^{249} \delta^{j-\tau} y_j^{i,k} \quad (2.6)$$

en donde i se refiere al encinar (*Q. ilex*) y $k \in \{a, n\}$ especifica la procedencia del encinar, bien la plantación artificial, o alternativamente la regeneración natural.

Bajo la hipótesis de gestión forestal sustentable, el valor capital de una hectárea de encinar de edad τ se calcula mediante la siguiente expresión²:

Para cada $k \in \{a, n\}$:

$$V_{i,k,\infty}(\tau, r) = V_{i,k}(\tau, r) + \delta^{250-\tau} V_{i,n}(0, r) (1 + \delta^{250} + \delta^{250 \cdot 2} + \dots) \quad (2.7)$$

$$V_{i,k,\infty}(\tau, r) = V_{i,k}(\tau, r) + \delta^{250-\tau} \left(\frac{1}{1-\delta^{250}} \right) V_{i,n}(0, r)$$

en donde el subíndice ∞ se refiere al horizonte temporal. Bajo este escenario de gestión forestal sustentable, al primer ciclo procedente de plantación artificial o regeneración natural le sigue un ciclo de regeneración natural que se repite indefinidamente en el tiempo.

Selvicultura no sustentable En este caso se considera que la gestión del encinar no incluye prácticas de regeneración natural continuada, de tal forma que el arbolado desaparece eventualmente según los supuestos de mortalidad establecidos en su respectivo ciclo selvícola. Dependiendo de las propiedades físicas de cada sistema, se supone una transición a un uso del suelo desarbolado determinado.

Se consideran las siguientes variables de renta asociadas a una hectárea de encinar de edad superior a 249 años y sobre la cual no se han realizado los tratamientos culturales de regeneración natural:

Para cada $\tau = 250, 251, \dots, 320$:

$$y_{\tau}^{i,nr} \text{ es la variable de renta anual asociada a una hectárea de encinar de edad } \tau \text{ años, en ausencia de regeneración natural,} \quad (2.8)$$

en donde el superíndice nr indica la ausencia de regeneración natural sobre el arbolado adulto de encinar, indicado por el superíndice i .

²Ver Snyder y Bhattacharyya (1990): 171.

El valor actual neto desde la edad τ hasta el final del ciclo de no regeneración natural de una variable de renta viene dado por la siguiente expresión:

$$V_{i,nr}(\tau, r) = \sum_{j=\tau}^{320} \delta^{j-\tau} y_j^{i,nr} \quad (2.9)$$

en donde i y nr se refieren al encinar y a la ausencia de regeneración natural, respectivamente.

Ahora bien, si quiere evaluarse una gestión forestal no sustentable es necesario conocer el valor actual neto de la variable de renta para edades inferiores a los 250 años tanto para los ciclos procedentes de plantación artificial como los de regeneración natural.

$$\text{Para cada } \tau \in \{0, \dots, 249\} \text{ y } k \in \{a, n\}: \quad (2.10)$$

$$V_{i,k,nr}(\tau, r) = V_{i,k}(\tau, r) + \delta^{250-\tau} V_{i,nr}(250, r)$$

en donde los subíndices i , k , y nr se refieren al encinar, su procedencia, y la ausencia de regeneración natural, respectivamente.

Dados los valores capitales asociados a los usos del suelo desarbolado puede calcularse el valor capital de una hectárea de encinar de edad τ gestionada de manera no sustentable.

Para cada $k \in \{a, n\}$ y $l \in \{ct, p, m\}$:

Si $\tau \in \{0, \dots, 249\}$

$$V_{i,k \rightarrow l, \infty}(\tau, r) = V_{i,k}(\tau, r) + \delta^{250-\tau} V_{i,nr}(250, r) + \delta^{321-\tau} V_l^i(r) \quad (2.11)$$

Si $\tau \in \{250, \dots, 320\}$

$$V_{i,k \rightarrow l, \infty}(\tau, r) = V_{i,nr}(\tau, r) + \delta^{321-\tau} V_l^i(r)$$

en donde el subíndice $k \rightarrow l$ se refiere a la transición desde suelo arbolado procedente de plantación artificial o regeneración natural, $k \in \{a, n\}$, a uso de suelo desarbolado $l \in \{ct, p, m\}$, consecuencia inevitable de la ausencia de regeneración natural.

Estado estacionario El encinar se encuentra en estado estacionario cuando la renta anual de su hectárea media no varía en el tiempo bajo la hipótesis de precios constantes. Esto es posible cuando la distribución de la masa arbolada está formada por superficies iguales en tamaño y edad, que abarcan todas y cada una de las edades del ciclo selvícola de regeneración natural inferiores a la edad crítica de regeneración natural. Se denota una variable de renta determinada

asociada a la hectárea media anual de un encinar en estado estacionario como y_i^* .

$$y_i^* = \frac{1}{250} V_{i,n}(0,0) \quad (2.12)$$

en donde el subíndice i se refiere al encinar y el superíndice $*$, indica que la renta corresponde a la hectárea media de encinar ordenado en estado estacionario. Intuitivamente, se sigue la vida de una hectárea de encinar desde su regenerado ($\tau = 0$) hasta $\tau = 249$, pero sin descontar el futuro, es decir, $r = 0$. Para obtener el valor medio por hectárea a lo largo de todo su ciclo de regeneración natural se divide entre el número total de años.

El valor capital de la hectárea de encinar en estado estacionario para una tasa de descuento r puede calcularse de acuerdo a la siguiente expresión matemática.

$$V_i^*(r) = \frac{y_i^*}{1 - \delta} = \frac{y_i^*(1+r)}{r} \quad (2.13)$$

Alternativamente puede considerarse un encinar de 250 hectáreas donde cada una de ellas tiene encinar de edad diferente entre 0 y 249 años procedentes de regeneración natural y gestionadas de acuerdo a una selvicultura sustentable. Desde este punto de vista el valor capital de la hectárea media de este encinar en estado estacionario puede calcularse como:

$$V_i^*(r) = \frac{1}{250} \left[\sum_{\tau=0}^{249} V_{i,n,\infty}(\tau, r) \right] \quad (2.14)$$

Alcornocal

Selvicultura sustentable Se consideran las siguientes variables de renta anual asociadas a una hectárea de alcornocal de edad τ dependiendo de su procedencia, plantación artificial o regeneración natural.

Para cada $\tau \in \{0, 1, \dots, 141\}$

$y_\tau^{s,a}$ es la variable de renta anual asociada a una hectárea de alcornocal de edad τ años, procedente de plantación artificial.

Para cada $\tau \in \{0, 1, \dots, 143\}$ (2.15)

$y_\tau^{s,n1}$ *idem*, pero del primer ciclo de regeneración natural.

$y_\tau^{s,n}$ *idem*, pero de cualquier ciclo de regeneración natural,

en donde el subíndice τ representa la edad del alcornocal, y los superíndices s , $n1$, y n se refieren al alcornocal (*Q. suber*), y la procedencia del mismo. $n1$ cuando se trata del primer ciclo de regeneración natural una vez concluido el ciclo de plantación artificial, y n , cuando el alcornocal procede de cualquier ciclo de regeneración natural diferente al representado por $n1$. Esta matización tiene origen en los supuestos de crecimiento en diámetro establecidos para los alcornocales procedentes de plantación artificial y aquellos que surgen de la regeneración natural, que al contrario que en el encinar, varían dependiendo de la procedencia de la masa forestal. De este modo, el solapamiento de árboles de ciclos contiguos durante los períodos de regeneración hace necesaria la diferenciación entre el primer ciclo de regeneración natural, es decir, el que sigue a un ciclo de plantación artificial, del resto.

$y_{\tau}^{s,n}$ corresponde a la variable de renta de un ciclo de regeneración natural que viene regenerándose indefinidamente en el tiempo mediante esta técnica.

El valor actual neto desde una edad τ determinada hasta el final del ciclo, para una tasa de descuento anual r , viene dado por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} V_{s,a}(\tau, r) &= \sum_{j=\tau}^{141} \delta^{j-\tau} y_j^{s,a} \\ V_{s,n1}(\tau, r) &= \sum_{j=\tau}^{143} \delta^{j-\tau} y_j^{s,n1} \\ V_{s,n}(\tau, r) &= \sum_{j=\tau}^{143} \delta^{j-\tau} y_j^{s,n} \end{aligned} \quad (2.16)$$

El valor capital de una hectárea de alcornocal procedente de plantación artificial de edad τ gestionada de acuerdo a una selvicultura sustentable se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} V_{s,a,\infty}(\tau, r) &= V_{s,a}(\tau, r) + \\ &+ \delta^{142-\tau} [V_{s,n1}(0, r) + \delta^{144} (1 + \delta^{144} + \delta^{144 \cdot 2} + \dots) V_{s,n}(0, r)] \\ V_{s,a,\infty}(\tau, r) &= V_{s,a}(\tau, r) + \delta^{142-\tau} \left[V_{s,n1}(0, r) + \left(\frac{\delta^{144}}{1-\delta^{144}} \right) V_{s,n}(0, r) \right] \end{aligned} \quad (2.17)$$

Alternativamente, si la hectárea de alcornocal procede de regeneración natural, el valor capital viene dado por la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} V_{s,n,\infty}(\tau, r) &= V_{s,n}(\tau, r) + \delta^{144-\tau} (1 + \delta^{144} + \delta^{144 \cdot 2} + \dots) V_{s,n}(0, r) \\ V_{s,n,\infty}(\tau, r) &= V_{s,n}(\tau, r) + \delta^{144-\tau} \left(\frac{1}{1-\delta^{144}} \right) V_{s,n}(0, r) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Selvicultura no sustentable Se consideran las siguientes variables de renta anual asociadas a una hectárea de alcornocal de edad $\tau \geq \tau^*$, donde τ^* representa la edad crítica de regeneración natural del arbolado adulto.

Para cada $\tau \in \{142, \dots, 194\}$

$y_\tau^{s,a,nr}$ es la variable de renta anual asociada a una hectárea de alcornocal de edad τ años, procedente de plantación artificial. (2.19)

Para cada $\tau \in \{144, \dots, 196\}$

$y_\tau^{s,n,nr}$ *idem*, pero procedente de regeneración natural,

en donde los superíndices s , a , n , y nr indican la procedencia del alcornocal, bien plantación artificial o regeneración natural, y la ausencia de regeneración natural al final del ciclo.

El valor actual neto desde la edad τ hasta el final del ciclo de no regeneración natural de una variable de renta, viene dado por las siguientes expresiones dependiendo si la hectárea procede de plantación artificial o regeneración natural.

$$\begin{aligned} V_{s,a,nr}(\tau, r) &= \sum_{j=\tau}^{194} \delta^{j-\tau} y_\tau^{s,a,nr} \\ V_{s,n,nr}(\tau, r) &= \sum_{j=\tau}^{196} \delta^{j-\tau} y_\tau^{s,n,nr} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Ahora bien, si quiere evaluarse una gestión forestal no sustentable es necesario conocer el valor actual neto de la variable de renta para edades inferiores a los 142 ó 144 años.

Para cada $\tau \in \{0, \dots, 141\}$

$$V_{s,a,nr}(\tau, r) = V_{s,a}(\tau, r) + \delta^{142-\tau} V_{s,a,nr}(142, r) \quad (2.21)$$

Para cada $\tau \in \{0, \dots, 143\}$

$$V_{s,n,nr}(\tau, r) = V_{s,n}(\tau, r) + \delta^{144-\tau} V_{s,n,nr}(144, r)$$

Para los diferentes valores capitales asociados a los usos del suelo desarbolado puede calcularse el valor capital de una hectárea de alcornocal de edad τ gestionada de manera no sustentable.

Para cada $l \in \{ct, p, m\}$:

$$V_{s,a \rightarrow l, \infty}(\tau, r) = \begin{cases} V_{s,a}(\tau, r) + \delta^{142-\tau} V_{s,a, nr}(142, r) + \\ + \delta^{195-\tau} V_l^s(r) & \text{para } \tau \in \{0, \dots, 141\} \\ V_{s,a, nr}(142, r) + \delta^{195-\tau} V_l^s(r) \\ \text{para } \tau \in \{142, \dots, 194\} \end{cases} \quad (2.22)$$

$$V_{s,n \rightarrow l, \infty}(\tau, r) = \begin{cases} V_{s,n}(\tau, r) + \delta^{144-\tau} V_{s,n, nr}(144, r) + \\ + \delta^{197-\tau} V_l^s(r) & \text{para } \tau \in \{0, \dots, 143\} \\ V_{s,n, nr}(144, r) + \delta^{197-\tau} V_l^s(r) \\ \text{para } \tau \in \{144, \dots, 196\} \end{cases}$$

Estado estacionario Se denota una variable de renta determinada asociada a la hectárea media anual de un alcornocal en estado estacionario como y_s^* .

$$y_s^* = \frac{1}{144} V_{s,n}(0, 0) \quad (2.23)$$

El valor capital de la hectárea de alcornocal en estado estacionario para una tasa de descuento r puede calcularse de acuerdo a la siguiente expresión matemática.

$$V_s^*(r) = \frac{y_s^*}{1-\delta} = \frac{y_s^*(1+r)}{r} \quad (2.24)$$

Alternativamente puede considerarse un alcornocal de 144 hectáreas donde cada una de ellas tiene arbolado de edad diferente entre 0 y 143 años procedentes de regeneración natural y gestionadas de acuerdo a una selvicultura sustentable. Desde este punto de vista el valor capital de la hectárea media de este alcornocal en estado estacionario puede calcularse como:

$$V_s^*(r) = \frac{1}{144} \left[\sum_{\tau=0}^{143} V_{s,n, \infty}(\tau, r) \right] \quad (2.25)$$

2.2.3 Proceso de normalización

Para poder evaluar el estado actual de una dehesa mediante la aplicación de los instrumentos expuestos en los apartados anteriores es necesario definir un

sistema de normalización que permita estimar el valor capital de estos sistemas tratando de evitar dentro de lo posible sobre o infra estimaciones sistemáticas.

Las variables presentadas en los dos apartados anteriores están asociadas a hectáreas *teóricas* o *normales* que reflejan el valor de un uso determinado del suelo. En el caso de los usos del suelo arbolado, las hectáreas normales pueden llegar a variar considerablemente de las hectáreas *reales* de su misma edad en términos del número de pies por unidad de superficie. De ahí que no puedan compararse directamente las hectáreas reales arboladas con las hectáreas normales aún siendo su arbolado de la misma especie y edad, ya que las espesuras observadas en campo suelen ser generalmente inferiores a las establecidas por los modelos selvícolas considerados (*cf.* Tablas 2.3, 2.4 y 2.5).

El sistema de normalización debe entonces establecer una metodología que permita homogeneizar la información aportada por los inventarios forestales de cada finca³ para poder ser evaluada de acuerdo a las variables definidas para los diferentes usos del suelo. La espesura de la masa arbórea se considera la variable relevante en este proceso de normalización. Se describe en primer lugar el proceso de normalización necesario para la evaluación económica del encinar y seguidamente el mismo para la evaluación del alcornocal.

Encinar

Los inventarios forestales de cada una de las fincas aportan la distribución de usos del suelo arbolado y desarbolado, informando acerca del número de hectáreas asignadas a cada uno de ellos. Para los usos del suelo arbolado, además ofrece la distribución de clases diamétricas. En el caso del encinar, el inventario considera la secuencia de clases diamétricas utilizada por el Inventario Forestal Nacional (Ministerio de Medio Ambiente, 1998), en tramos de 5 cm desde 10 hasta 65 cm, añadiendo dos clases diamétricas adicionales, 1.4 cm, que corresponde a encinas procedentes de la plantación artificial del año 1995, y 6.5 cm, que representa el regenerado natural.

El modelo selvícola establecido para la encina permite identificar la edad de cada clase diamétrica y además proporciona el número de pies por hectárea para cada edad. Dividiendo el número de pies totales de cada clase diamétrica por el número de pies correspondiente a la hectárea teórica de su misma edad se obtiene el número de hectáreas normalizadas de encinar de cada clase diamétrica.

Se denota la distribución de clases diamétricas observada como:

Para cada $j \in \{1, \dots, 4\}$ y $k \in \{1, \dots, 14\}$,

$$F_{i,j}[\phi_n(k)] = N_{i,j}(k) \text{ representa el número total de encinas en} \quad (2.26)$$

la finca j con diámetro normal $\phi_n(k)$,

³Igualmente, la metodología expuesta en este Capítulo puede ser aplicada a inventarios forestales de mayor escala. En el caso del encinar, puede comprobarse que la aplicación es casi directa a partir de la información aportada por el Inventario Forestal Nacional para los encinares adhesionados del oeste y suroeste de España.

en donde j se refiere a cada una de las cuatro fincas de estudio y k es simplemente un número índice que se asigna a cada una de las clases diamétricas registradas en la Tabla 2.1 en orden ascendente. El subíndice i se refiere al encinar (*Q. ilex*). El diámetro del tronco se refiere al diámetro normal, de ahí el subíndice n , esto es, medido a la altura del pecho o a 1.30 m del suelo.

A cada $\phi_n(k)$ se asigna una edad τ y se divide el número de encinas entre el número de pies por hectárea teórica o normal de edad τ , denotado como $n_i(\tau)$.

$$S_{i,j}^n(k) = \frac{N_{i,j}(k)}{n_i(\tau)} \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \text{ y } k \in \{1, \dots, 14\} \quad (2.27)$$

en donde $S_{i,j}^n(k)$ representa el número de hectáreas normalizadas (de ahí el superíndice n) de encinar con diámetro normal $\phi_n(k)$ o edad τ sobre la finca de estudio j .

El número total de hectáreas normalizadas de encinar se obtiene sumando las superficies asociadas a los diferentes grupos de edad.

$$S_{i,j}^n = \sum_{k=1}^{14} S_{i,j}^n(k) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.28)$$

En todos los casos estudiados la superficie normalizada de encinar es inferior a la observada. La diferencia se atribuye al uso del suelo de pastizal desarbolado.

$$S_{i,j} - S_{i,j}^n = S_{i,p,j}^n > 0 \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.29)$$

en donde $S_{i,j}$ representa el número de hectáreas de encinar registradas en el inventario forestal de la finca j . $S_{i,p,j}^n$ se refiere a la superficie de pastizal normalizado, de ahí el subíndice p y el superíndice n , resultante de normalizar la superficie real de encinar adehesado.

La Tabla 2.1 presenta la distribución de clases diamétricas registrada en los inventarios forestales para el encinar de cada una de las fincas de estudio. Para cada una de las clases diamétricas observadas se ofrece además la edad imputada y el correspondiente número de pies por hectárea según los ciclos selvícolas establecidos.

Tabla 2.1. Clases diamétricas, edad estimada, número de pies por hectárea teórica de encinar según su edad, y número total de encinas por edades en cada finca.

k	$\phi_n(k)$	Edad	$n_i(\tau)$	$F_{i,j}[\phi_n(k)] = N_{i,j}(k)$			
	cm	τ	pies/ha	1	2	3	4
1	1.4	3	490	23,324	0	0	2,854
2	6.5	18	800	2,189	0	0	0
3	10	28	800	0	138	492	579
4	15	44	382	29	334	2,789	3,282
5	20	62	159	145	354	17,064	20,080
6	25	80	150	87	1,219	13,783	16,218
7	30	101	110	116	728	3,938	4,634
8	35	123	99	203	393	328	386
9	40	148	87	435	157	0	0
10	45	175	73	232	197	0	0
11	50	207	57	87	20	0	0
12	55	244	39	116	59	0	0
13	60	287	17	58	0	0	0
14	65	320	1	29	0	0	0

La representación gráfica de las distribuciones observadas, $F_{i,j}[\phi_n(k)]$, se encuentra en el Apéndice, Anexo 1a-II.

Alcornocal

En el caso del alcornocal, el inventario forestal de las fincas considera una secuencia de clases de circunferencia sobre corcho (CSC) en tramos de 5 cm desde 47.5 hasta 232.5 cm, añadiendo dos clases de circunferencia asociadas al regenerado natural (0 y 12.6 cm), otra asociada a una plantación de alcornosques de 3 años de edad (7.7 cm) y una adicional que corresponde al arbolado más envejecido (ver Tabla 2.2).

Al igual que para el encinar, es necesario identificar la edad correspondiente a cada clase de circunferencia sobre corcho. El modelo selvícola establecido para el alcornocal permite identificar la edad de cada CSC y además proporciona el número de pies por hectárea teórica o normal para cada edad. Dividiendo el número de pies totales de cada clase de circunferencia por el número de pies correspondiente a la hectárea teórica de su misma edad se obtiene el número de hectáreas normalizadas de alcornocal para cada clase de circunferencia sobre corcho.

Se denota la distribución de clases de circunferencia sobre corcho observada como:

Para cada $j = 2, 4$ y $k \in \{1, \dots, 42\}$

$$F_{s,j} [CSC(k)] = N_{s,j}(k) \text{ representa el número total de} \quad (2.30)$$

alcornoques en la finca j con circunferencia sobre
corcho $CSC(k)$,

en donde el subíndice s se refiere al alcornocal (*Q. suber*).

Asignada una edad τ a cada CSC se divide el número de alcornoques entre el número de pies por hectárea teórica o normal de edad τ , $n_s(\tau)$.

$$S_{s,j}^n(k) = \frac{N_{s,j}(k)}{n_s(\tau)} \quad \text{para } j = 2, 4 \text{ y } k \in \{1, \dots, 42\} \quad (2.31)$$

$S_{s,j}^n(k)$ representa el número de hectáreas normalizadas de alcornocal de edad τ en finca j . El número total de hectáreas normalizadas de alcornocal se obtiene sumando las superficies asociadas a cada grupo de edad o CSC disponible.

$$S_{s,j}^m = \sum_{k=1}^{42} S_{s,j}^n(k) \quad \text{para } j = 2, 4 \quad (2.32)$$

En todos los casos estudiados la superficie normalizada de alcornocal es inferior a la observada. La diferencia se atribuye como en el caso del encinar, al uso del suelo de pastizal desarbolado.

$$S_{s,j} - S_{s,j}^n = S_{s,p,j}^n > 0 \quad \text{para } j = 2, 4 \quad (2.33)$$

en donde $S_{s,j}$ representa el número total de hectáreas de alcornocal registrado en el inventario forestal de la finca j .

La Tabla 2.2 presenta la distribución de clases de circunferencia sobre corcho en cada caso de estudio, así como la edad estimada y el número de pies por hectárea teórica según los ciclos selvícolas prescritos. Las distribuciones observadas de CSC del alcornocal para las fincas F2 y F4, que son las únicas en las que el alcornocal está presente, se representan en el Apéndice, Anexo 1b-II.

Tabla 2.2. Clases de circunferencia sobre corcho, edad estimada, número de pies por hectárea teórica de alcornocal según su edad, y número total de alcornos por edades en cada finca.

k	$CSC(k)$	Edad	$n_s(\tau)$	$F_{s,j}[CSC(k)] = N_{s,j}(k)$	
	cm	τ	pies/ha	2	4
1	0.0	0	2,000	28	192
2	7.7	3	490	0	25,684
3	12.6	5	2,000	6	41
4	47.5	19	650	0	0
5	52.5	21	650	0	0
6	57.5	24	650	20	137
7	62.5	28	424	0	0
8	67.5	32	418	0	0
9	72.5	35	414	0	0
10	77.5	39	408	37	251
11	82.5	43	403	40	274
12	87.5	47	247	153	1,047
13	92.5	50	243	131	898
14	97.5	54	237	100	685
15	102.5	58	232	135	925
16	107.5	62	226	348	2,383
17	112.5	65	123	576	3,943
18	117.5	69	119	303	2,078
19	122.5	73	116	430	2,946
20	127.5	76	113	288	1,972
21	132.5	80	109	774	5,306

Continúa en la página siguiente.

Tabla 2.2 (continuación). Clases de circunferencia sobre corcho, edad estimada, número de pies por hectárea teórica de alcornoque según su edad, y número total de alcornoques por edades en cada finca.

k	$CSC(k)$	Edad	$n_s(\tau)$	$F_{s,j}[CSC(k)] = N_{s,j}(k)$	
	cm	τ	pies/ha	2	4
22	137.5	84	105	586	4,012
23	142.5	88	102	460	3,152
24	147.5	91	99	112	765
25	152.5	95	95	216	1,477
26	157.5	99	92	307	2,101
27	162.5	103	88	198	1,359
28	167.5	106	85	179	1,229
29	172.5	110	81	42	289
30	177.5	114	78	136	929
31	182.5	118	74	203	1,389
32	187.5	121	71	37	251
33	192.5	125	67	33	225
34	197.5	129	64	69	476
35	202.5	133	60	70	480
36	207.5	136	57	29	202
37	212.5	140	53	53	365
38	217.5	144	50	20	137
39	222.5	148	46	0	0
40	227.5	151	43	17	114
41	232.5	155	39	29	202
42	260.4	176	20	40	274

Indicadores físicos

El proceso de normalización descrito en los párrafos anteriores permite definir un conjunto de indicadores físicos que informan acerca del estado en el que se encuentra la superficie arbolada de una determinada finca.

Partiendo de la idea de que los modelos selvícolas propuestos para la encina y el alcornoque corresponden al conjunto de tratamientos que deberían llevarse a cabo a lo largo del ciclo productivo de estos árboles, así como a la estructura que la masa forestal debiera tener en cada momento de su vida, parece razonable preguntarse cuanto se separan los encinares y alcornoques reales de la estructura teórica establecida por los modelos de silvicultura. Una variable relevante para dar respuesta a la pregunta anterior es la espesura de la masa forestal.

En términos del proceso de normalización establecido, puede definirse el indicador físico de espesura α , como el cociente entre la superficie arbolada normalizada y la superficie arbolada registrada.

$$\alpha_{q,j} = \frac{S_{q,j}^n}{S_{q,j}} \quad \text{para } q = i, s \text{ y } j \in \{1, \dots, 4\} \quad (2.34)$$

en donde el subíndice q se refiere al encinar cuando $q = i$ y al alcornocal cuando $q = s$, y j representa una de las cuatro fincas de estudio. Cuanto más cercano sea el valor de α a la unidad, más se aproxima la espesura observada a la normalizada, y por consiguiente, en mejor estado se encuentra la superficie arbolada real.

En algunas de las fincas de estudio, se observan clases diamétricas y de circunferencia sobre corcho superiores a las edades críticas de regeneración natural, τ^* . En definitiva, aparecen árboles que han superado la edad a la que comienza el regenerado natural de los árboles adultos, esencialmente, $\tau^* = 250$ en el caso del encinar, $\tau^* = 144$ para el alcornocal procedente de regeneración natural, y $\tau^* = 142$ cuando el alcornocal procede de plantación artificial.

Las clases diamétricas y de circunferencia sobre corcho correspondientes a edades superiores a τ^* se analizan a partir de los ciclos selvícolas de no regeneración natural (selvicultura no sustentable), donde el arbolado termina desapareciendo por muerte natural y eventualmente tiene lugar el cambio de uso de suelo arbolado a desarbolado. Pues bien, un buen indicador acerca del grado de madurez del arbolado existente puede obtenerse mediante el siguiente cociente.

$$\beta_{q,j} = \frac{S_{q,j}^{n,nr}}{S_{q,j}^n} \quad \text{para } q = i, s \text{ y } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.35)$$

$S_{q,j}^{n,nr}$ representa la superficie con arbolado adulto de edad $\tau > \tau^*$ que no ha entrado en regeneración natural, y puede calcularse de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$\begin{aligned} S_{i,j}^{n,nr} &= \sum_{k=13}^{14} S_{i,j}^n(k) & \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \\ S_{s,j}^{n,nr} &= \sum_{k=39}^{42} S_{s,j}^n(k) & \text{para } j = 2, 4 \end{aligned} \quad (2.36)$$

Un valor de β cercano a la unidad indica que la superficie arbolada está muy envejecida, sin posibilidad de practicar sobre ella tratamientos de regeneración natural. Por el contrario, un valor de β cercano a cero, indica que la superficie arbolada se encuentra en un estado de madurez saludable, dentro de los límites establecidos para poder regenerar el arbolado mediante regeneración natural.

Adicionalmente, pueden calcularse indicadores sobre la incidencia de plantaciones artificiales, así como la presencia de regeneración natural no intencionada⁴.

⁴En la actualidad, no tienen lugar las prácticas de regeneración natural tal y como se establecen en los ciclos selvícolas considerados. La regeneración natural no intencionada representa los árboles con clases diamétricas jóvenes que logran sobrevivir el pastoreo de animales en la dehesa.

$$\left. \begin{aligned} \rho_{q,j} &= \frac{S_{q,j}^{n,a}}{S_{q,j}^n} \\ \pi_{q,j} &= \frac{S_{q,j}^{n,n}}{S_{q,j}^n} \end{aligned} \right\} \text{ para } q = i, s \text{ y } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.37)$$

en donde $S_{q,j}^{n,a}$ representa la superficie normalizada de plantación artificial con especie q sobre la finca de estudio j ,

$$S_{q,j}^{n,a} = \begin{cases} S_{q,j}^n (k=1) & \text{para } q = i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4 \\ S_{q,j}^n (k=2) & \text{para } q = s \text{ y } j = 2, 4 \end{cases} \quad (2.38)$$

y $S_{q,j}^{n,n}$ es el número de hectáreas en j con arbolado de especie q procedente de regeneración natural con edad $\tau < 20$.

$$S_{q,j}^{n,n} = \begin{cases} S_{q,j}^n (k=2) & \text{para } q = i \text{ y } j = 1, 2, 3, 4 \\ S_{q,j}^n (1) + S_{q,j}^n (3) + S_{q,j}^n (4) & \text{para } q = s \text{ y } j = 2, 4 \end{cases} \quad (2.39)$$

Cuanto mayores sean los valores de ρ y π más importante es la presencia de árboles jóvenes procedentes de plantación artificial y regeneración natural no intencionada, respectivamente.

2.2.4 Valor capital de la hectárea media de dehesa

El análisis expuesto en los apartados anteriores permite calcular el valor capital de la hectárea media de dehesa. Los inventarios forestales ofrecen la información sobre el reparto de usos del suelo, es decir, el número de hectáreas asignadas en cada finca a cada uso del suelo arbolado y desarbolado. Conocidos los valores capitales asociados a cada uno de los usos del suelo presentes en la dehesa y definido el proceso de normalización de superficies arboladas, la estimación del valor capital de la hectárea media de una dehesa es casi inmediata. Únicamente es necesario definir un vector de usos del suelo que pueda ser multiplicado escalarmente por un segundo vector de valores capitales.

En el caso de los usos del suelo arbolado, las diferentes edades del arbolado hacen necesaria una estimación previa del valor capital asociado a la hectárea media normalizada de encinar o alcornocal.

Se define una secuencia de pesos de superficie arbolada de diferentes edades.

$$\begin{aligned} \omega_{i,j}(k) &= \frac{S_{i,j}^n(k)}{S_{i,j}^n} & \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \text{ y } k \in \{1, \dots, 14\} \\ \omega_{s,j}(k) &= \frac{S_{s,j}^n(k)}{S_{s,j}^n} & \text{para } j = 2, 4 \text{ y } k \in \{1, \dots, 42\} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Se definen entonces los siguientes vectores de pesos de superficie arbolada.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\omega}_{i,j} &= \left(\omega_{i,j}(1) \quad \omega_{i,j}(2) \quad \cdots \quad \omega_{i,j}(14) \right) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \\ \boldsymbol{\omega}_{s,j} &= \left(\omega_{s,j}(1) \quad \omega_{s,j}(2) \quad \cdots \quad \omega_{s,j}(42) \right) \quad \text{para } j = 2, 4\end{aligned}\tag{2.41}$$

Por otro lado, tienen que definirse los vectores de valor capital del uso del suelo arbolado. Se necesitan dos vectores por especie arbórea: uno asociado al tipo de gestión forestal sustentable y otro asociado a la gestión forestal no sustentable. En el caso del encinar, a partir de las expresiones (2.7) y (2.11) se definen los siguientes vectores.

Para cada $l = ct, p, m$

$$\begin{aligned}\mathbf{V}_{i,\infty}(r) &= \begin{pmatrix} V_{i,a,\infty}(3, r) \\ V_{i,n,\infty}(18, r) \\ \vdots \\ V_{i,n,\infty}(244, r) \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(287, r) \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(320, r) \end{pmatrix} \\ \mathbf{V}_{i \rightarrow l,\infty}(r) &= \begin{pmatrix} V_{i,a \rightarrow l,\infty}(3, r) \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(18, r) \\ \vdots \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(244, r) \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(287, r) \\ V_{i,n \rightarrow l,\infty}(320, r) \end{pmatrix}\end{aligned}\tag{2.42}$$

Cada una de las filas de los vectores de valor capital corresponde al valor capital asociado a la hectárea teórica de cada una de las clases diamétricas registradas en la Tabla 2.1.

A partir de las expresiones (2.17), (2.18) y (2.22), pueden obtenerse los vectores de valor capital para el alcornoque.

Para cada $l = ct, p, m$

$$\mathbf{V}_{s,\infty}(r) = \begin{pmatrix} V_{s,n,\infty}(0,r) \\ V_{s,a,\infty}(3,r) \\ V_{s,n,\infty}(5,r) \\ \vdots \\ V_{s,n,\infty}(144,r) \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(148,r) \\ \vdots \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(176,r) \end{pmatrix} \quad (2.43)$$

$$\mathbf{V}_{s \rightarrow l,\infty}(r) = \begin{pmatrix} V_{s,n \rightarrow l,\infty}(0,r) \\ V_{s,a \rightarrow l,\infty}(3,r) \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(5,r) \\ \vdots \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(144,r) \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(148,r) \\ \vdots \\ V_{s,n \rightarrow l,\infty}(176,r) \end{pmatrix}$$

En donde cada una de las filas representa el valor capital de la hectárea teórica correspondiente a cada una de las clases de circunferencia sobre corcho o edad registradas en la Tabla 2.2, dependiendo del tipo de gestión forestal.

Puede entonces calcularse el valor capital de la hectárea media de encinar de una determinada finca j que se gestiona aplicando una selvicultura sustentable.

$$V_{i,\infty,j}(r) = \omega_{i,j} \cdot \mathbf{V}_{i,\infty}(r) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.44)$$

Si por el contrario la selvicultura aplicada al encinar es no sustentable, el valor capital de la hectárea media se obtiene mediante la siguiente expresión matemática.

$$V_{i \rightarrow l,\infty,j}(r) = \omega_{i,j} \cdot \mathbf{V}_{i \rightarrow l,\infty}(r) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \text{ y } l = ct, p, m \quad (2.45)$$

De igual manera puede estimarse el valor capital de la hectárea media de alcornocal normalizado bajo una gestión forestal sustentable o no sustentable.

$$V_{s,\infty,j}(r) = \omega_{s,j} \cdot \mathbf{V}_{s,\infty}(r) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.46)$$

$$V_{s \rightarrow l,\infty,j}(r) = \omega_{s,j} \cdot \mathbf{V}_{s \rightarrow l,\infty}(r) \quad \text{para } j = 2, 4 \text{ y } l = ct, p, m$$

Se denota la superficie agraria útil (SAU) de una finca j como S_j , formada por los diferentes usos del suelo descritos.

$$S_j = S_{i,j}^n + S_{s,j}^n + S_{p,j}^n + S_{p,j} + S_{ct,j} + S_{m,j} \quad \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.47)$$

en donde $S_{p,j}^n = S_{i,p,j}^n + S_{s,p,j}^n$ para $j = 1, 2, 3, 4$ y $S_{s,p,j}^n = 0$ para $j = 1, 3$, cf. supuesto **S3** (apartado 1.8).

Puede entonces definirse un vector de pesos de usos del suelo para cada finca mediante el cociente entre la superficie asociada a un determinado uso del suelo y la SAU total de la finca de estudio.

$$\left. \begin{aligned} \omega_j &= \frac{1}{S_j} (S_{i,j}^n \quad S_{s,j}^n \quad S_{p,j}^n \quad S_{p,j} \quad S_{ct,j} \quad S_{m,j}) \\ \omega_j &= (\omega_{i,j}^n \quad \omega_{s,j}^n \quad \omega_{p,j}^n \quad \omega_{p,j} \quad \omega_{ct,j} \quad \omega_{m,j}) \end{aligned} \right\} \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.48)$$

Para la estimación del valor capital de la hectárea media de dehesa de una determinada finca es necesario definir el vector de valores capitales asociados a la hectárea media de cada uso del suelo. La consideración de dos escenarios de gestión forestal, uno sustentable y otro no sustentable, hacen necesario determinar dos vectores de valor capital de la dehesa dependiendo de la hipótesis de gestión considerada.

Para cada $j \in \{1, \dots, 4\}$, $l = ct, p, m$ y $q = i, s$

$$\mathbf{V}_j(r) = \begin{pmatrix} V_{i,\infty,j}(r) \\ V_{s,\infty,j}(r) \\ V_p^q(r) \\ V_p^q(r) \\ V_p^q(r) \\ V_{ct}^q(r) \\ V_m^q(r) \end{pmatrix}; \quad \mathbf{V}_j^l(r) = \begin{pmatrix} V_{i \rightarrow l, \infty, j}(r) \\ V_{s \rightarrow l, \infty, j}(r) \\ V_p^q(r) \\ V_p^q(r) \\ V_p^q(r) \\ V_{ct}^q(r) \\ V_m^q(r) \end{pmatrix} \quad (2.49)$$

en donde el superíndice l del vector de valor capital bajo un escenario de gestión forestal no sustentable indica el uso del suelo desarbolado al que tiende la superficie arbolada en ausencia de regeneración natural continuada. Los valores capitales asociados a los usos del suelo desarbolado corresponden a los definidos por la expresión (2.2). Los usos del suelo desarbolado corresponden a $q = i$ cuando la dehesa es predominantemente de encinar ($j = 1, 3$), ó $q = s$ si la especie forestal predominante en la finca de estudio es el alcornoque ($j = 2, 4$).

Pues bien, el valor capital de la hectárea media de una determinada finca puede ser estimado bajo las dos hipótesis de gestión forestal consideradas mediante el producto escalar del vector de pesos de usos del suelo y el vector de valores capitales.

$$\left. \begin{aligned} V_j(r) &= \omega_j \cdot \mathbf{V}_j(r) \\ V_j^l(r) &= \omega_j \cdot \mathbf{V}_j^l(r) \end{aligned} \right\} \text{para } j = 1, 2, 3, 4 \text{ y } l = ct, p, m \quad (2.50)$$

2.3 Obtención, presentación y análisis de resultados

Los instrumentos metodológicos descritos en el apartado anterior permiten evaluar el estado físico en el que se encuentra la superficie arbolada de una finca en un determinado momento del tiempo así como el análisis económico de la finca de dehesa bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales.

En primer lugar se analiza el estado físico del arbolado en cada finca desde la perspectiva ofrecida por los indicadores físicos.

Seguidamente se estudian desde el punto de vista económico, por un lado las superficies arboladas de cada finca, y por otro, cada una de las fincas integrando el conjunto de usos del suelo presentes en cada una de ellas.

En el primer caso, se mide el coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases diamétricas y de circunferencia gestionadas de manera sustentable y no sustentable frente a su hipotética distribución en estado estacionario puro. Se estima así la diferencia entre los dos posibles escenarios de gestión y el óptimo ideal en términos de sustentabilidad forestal. El análisis se limita a las superficies arboladas registradas en el inventario forestal para captar de manera más clara las implicaciones derivadas de una gestión forestal estrictamente sustentable, es decir, la asociada al estado estacionario de la masa forestal, y evitar así la distorsión que pudiesen causar en el análisis las diferencias en las distribuciones de usos del suelo observadas en cada caso de estudio.

En el segundo, se calcula el coste de oportunidad de una gestión forestal sustentable frente a otra no sustentable, esta vez, integrando todos y cada uno de los usos del suelo presentes en cada finca de dehesa. Adicionalmente, los escenarios evaluados corresponden siempre a las distribuciones de clases de edad reales. La idea es ofrecer un escenario teórico más realista que simule el comportamiento de propietarios y planificadores centrales directamente implicados en la gestión de estos sistemas⁵, respecto a la cuestión de la renovación continuada del arbolado adulto presente en estos sistemas.

Las implicaciones de una gestión forestal sustentable frente a otra no sustentable, o de una gestión forestal sustentable/no sustentable frente a otra que mantiene la superficie arbolada en estado estacionario se estudian tanto desde el punto de vista de los agentes privados (propietarios) como de los agentes sociales (planificador central). Para ello se evalúan los valores capitales de las rentas de capital privadas a coste de los factores (RCPcf) y a precios de mercado (RCPpm) en el caso de los agentes privados, y las rentas salariales (MO), la renta de capital social (RCS) y la renta total social (RTS) en el caso de los agentes sociales. La RCPcf y la RCPpm identifican respectivamente de manera objetiva la renta que percibe un propietario bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales, y la percibida por un agente privado que se enfrenta a una economía de mercado pura sin intervención pública. La renta salarial y consecuentemente la renta total social son indicadores importantes

⁵Se supone que el propietario gestiona su finca como una unidad productiva que integra diferentes usos del suelo tanto arbolado como desarbolado.

para el planificador central preocupado por el nivel de empleo generado en cada escenario de gestión. La RCS capta la renta comercial y ambiental generada por el territorio y percibida por el conjunto de la sociedad. La RTS incluye ambas, la renta salarial y la renta de capital social.

El valor capital de la RCPpm de la hectárea media de dehesa calculado para diferentes tasas de descuento contiene información relevante acerca del valor de mercado de este activo. Comparando estos valores con los precios observados de la tierra según uso, se aproxima la tasa de descuento implícita en el mercado de la tierra para cada una de las fincas de estudio, o alternativamente, la rentabilidad anual mínima exigida por los propietarios de dehesa.

2.3.1 Análisis del estado físico de la superficie arbolada

Los indicadores físicos definidos en la metodología permiten una primera observación sobre el estado en que se encuentra el arbolado de cada finca. La Tabla 2.3 ofrece los valores de α (indicador de espesura), β (indicador de envejecimiento), ρ (indicador sobre la incidencia de las plantaciones artificiales) y π (indicador sobre la incidencia del regenerado natural no intencionado) para cada una de las fincas de estudio.

Tabla 2.3. Indicadores físicos de espesura, α , envejecimiento, β , reforestación, ρ , y regeneración natural de la masa, π , evaluados para cada finca de estudio.

q	Encinar				Alcornocal	
j	F1	F2	F3	F4	F2	F4
$\alpha_{q,j}$	.88	.48	.19	.29	.81	.32
$\beta_{q,j}$	.32				.05	.05
$\rho_{q,j}$	.48			.02		.12
$\pi_{q,j}$	.03				.0003	.0003

El encinar de F1 presenta una espesura arbórea muy similar a la establecida por los ciclos selvícolas prescritos. El valor de α cercano a uno (.88) así lo indica. Se observa un alto grado de envejecimiento de la masa, con un valor de β que supera el 30 por ciento de la superficie normalizada de encinar, no obstante, esta misma finca presenta el grado más alto de incidencia de las plantaciones artificiales, casi medio punto, y la regeneración natural no intencionada, un 3 por ciento de la superficie de encinar normalizada. No ocurre así en el resto de las fincas con encinar, donde los indicadores de envejecimiento son siempre nulos y tan sólo en F4 tiene lugar una plantación de encinas que no supera el 2 por ciento de la superficie normalizada de encinar. En términos del indicador de espesura la situación para F2, F3 y F4 es menos afortunada, registrándose valores muy por debajo del observado en F1, no superando en ninguno de los casos el medio punto y en el caso de F3, inferior a .2.

Si se estudia el estado del alcornocal, se observa que en términos de β tanto F2 como F4 presentan en torno a un 5 por ciento de la superficie normalizada en vías de desaparición. En términos de espesura de la masa forestal, F2 goza

de un estado saludable, alcanzando un valor de α mayor a .8, al contrario que F4, donde el mismo indicador ofrece un valor de .32. Respecto de la incidencia de las plantaciones artificiales con alcornoque así como del regenerado natural no intencionado, se observa una prácticamente nula presencia de regenerado natural no intencionado en F2 y F4 con un valor de $\pi = .0003$. La reforestación llevada a cabo en F4 ofrece un valor de $\rho = .12$, o dicho de otro modo, la superficie reforestada ocupa aproximadamente un 12 por ciento de la superficie total normalizada de alcornocal.

2.3.2 Evaluación económica de la superficie arbolada

Una forma de evaluar el estado actual del arbolado desde el punto de vista económico es a partir del análisis de la distancia existente respecto a su correspondiente estado estacionario. Conocido el valor capital del encinar/alcornocal en su estado actual, puede evaluarse la diferencia entre éste y el valor capital asociado al estado estacionario, estado en el que la masa forestal presenta una estructura de edades que puede considerarse óptima en términos de conservación.

A partir de las igualdades (2.29) y (2.33) se tiene que:

$$S_{q,j} = S_{q,j}^n + S_{q,p,j}^n \quad \text{para } q = i, s \text{ y } j = 1, 2, 3, 4 \quad (2.51)$$

En donde $S_{q,j}$ corresponde a la superficie arbolada de encinar ($q = i$) o alcornocal ($q = s$) registrada en el inventario para la finca j . Se define entonces el siguiente vector de pesos de superficie.

$$\begin{aligned} &\text{Para cada } q = i, s \text{ y } j \in \{1, \dots, 4\} \\ \boldsymbol{\nu}_{q,j} &= \frac{1}{S_{q,j}} \left(S_{q,j}^n, S_{q,p,j}^n \right) = \left(\nu_{q,j}, \nu_{q,p,j} \right) \end{aligned} \quad (2.52)$$

A partir de las expresiones (2.44), (2.45) y (2.46) de valor capital de la hectárea media normalizada de encinar y alcornocal, puede calcularse el valor capital de la hectárea media arbolada no normalizada, es decir la hectárea media de encinar y alcornocal que resulta de la distribución primaria de usos del suelo observada en el inventario forestal de cada finca.

$$\begin{aligned} &\text{Para cada } q = i, s, j \in \{1, \dots, 4\} \text{ y } l = ct, p, m \\ V_j^q(r) &= \boldsymbol{\nu}_{q,j} \cdot \left(\begin{array}{c} V_{q,\infty,j}(r) \\ V_p^q(r) \end{array} \right) \\ V_j^{q \rightarrow l}(r) &= \boldsymbol{\nu}_{q,j} \cdot \left(\begin{array}{c} V_{q \rightarrow l, \infty, j}(r) \\ V_p^q(r) \end{array} \right) \end{aligned} \quad (2.53)$$

Consecuentemente, la distancia económica en valor capital al estado estacionario bajo las hipótesis de gestión forestal sustentable y no sustentable se estima mediante las expresiones en (2.54).

Para cada $q = i, s$, $j \in \{1, \dots, 4\}$ y $l = ct, p, m$

$$D_j^q(r) = V_j^q(r) - V_q^*(r) \quad (2.54)$$

$$D_j^{q \rightarrow l}(r) = V_j^{q \rightarrow l}(r) - V_q^*(r)$$

En donde $V_q^*(r)$ es el valor capital de la hectárea media de encinar/alcornocal en estado estacionario, (ver expresiones (2.13) y (2.24)).

Las variables de renta en desviaciones de su respectivo estado estacionario permiten una evaluación clara acerca de las implicaciones que sobre los agentes privados y sociales tiene la aplicación de una gestión forestal sustentable bajo las condiciones de mercado y de intervención pública actuales. La idea de que el estado estacionario del encinar o alcornocal representa una gestión sustentable llevada a su punto óptimo permite justificar esta forma de análisis económico. Evaluando la distancia entre el valor capital de la superficie arbolada tal y como se encuentra en la actualidad y el valor capital de la misma superficie arbolada pero en estado estacionario, pueden identificarse las preferencias sociales y privadas acerca de la sustentabilidad forestal en la dehesa. Una forma práctica de identificar dichas preferencias es la representación gráfica de estas distancias en función de la tasa de descuento. De forma ilustrativa, valores sobre el eje x de $D_j^q(r)$ y $D_j^{q \rightarrow l}(r)$ representan total indiferencia entre el estado actual y el estacionario. Valores por encima del eje x indican mayor valor capital del encinar/alcornocal en su estado actual que en su correspondiente estado estacionario, y por consiguiente una preferencia social o privada por seguir gestionando el arbolado como en la actualidad. Finalmente, valores por debajo del eje de abscisas indican una pérdida en valor capital respecto del estado estacionario, en este caso, la sociedad y/o el propietario, dependiendo de la variable de renta evaluada en (2.54), preferiría el estado estacionario y por tanto estaría a favor de una gestión forestal sustentable en sentido estricto.

Los agentes sociales

Si quieren evaluarse las implicaciones que determinados tipos de gestión forestal tienen sobre los intereses de la sociedad, es necesario disponer de un conjunto adecuado de variables de renta social. Dentro de las variables de renta registradas en las Tablas 1.2 y 1.3 se consideran para el análisis la renta salarial (MO), la renta de capital social (RCS) y la renta total social (RTS), en donde:

$$RTS = RCS + MO \quad (2.55)$$

Tanto la RCS como la RTS captan el conjunto de beneficios generados por el territorio y percibidos por la sociedad. El análisis de la renta de capital ambiental (RCA) o de la renta de capital comercial (RCC) extendería y complicaría aún más la presentación y el seguimiento de resultados, además, estas variables

tan solo captan parcialmente la renta percibida por la sociedad, es decir, bien renta ambiental o bien comercial. Adicionalmente, el análisis de estas variables en desviaciones de sus correspondientes estados estacionarios no aporta información relevante en el caso del alcornocal. Las distancias $D_j^s(r)$ asociadas a la RCA son cero por definición según establece el supuesto **S2** (apartado 1.8). Como $RCS = RCA + RCC$ (ver Tabla 1.3), las $D_j^s(r)$ asociadas a la RCC coinciden con las mismas de la RCS.

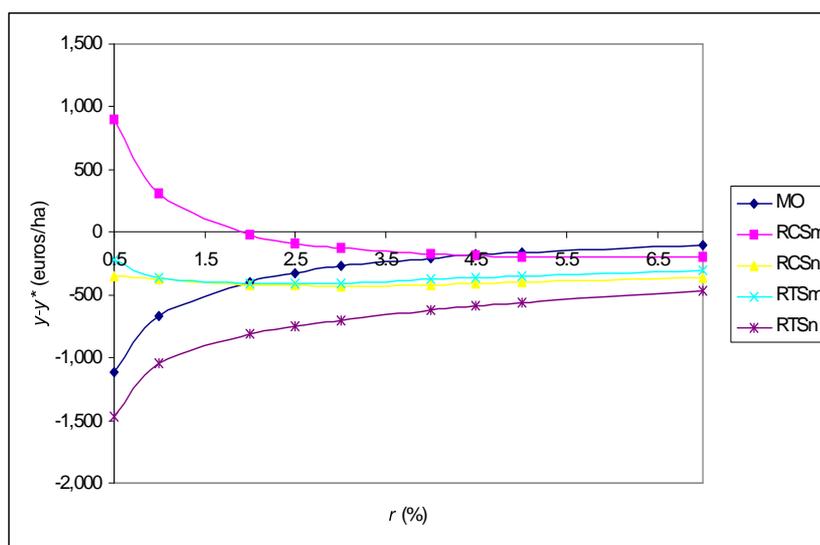
Los Anexos 2a-II y 2b-II en el caso del encinar y 3a-II y 3b-II en el del alcornocal, ofrecen las distancias en valor capital para el conjunto completo de variables de interés social, evaluadas para las diferentes tasas de descuento, los diferentes niveles de precios, y el tipo de gestión forestal, sustentable (Anexos 2a-II y 3a-II) y no sustentable (Anexos 2b-II y 3b-II).

Las Figuras 2.1 y 2.2 ilustran las distancias en valor capital (expresión (2.54)) evaluadas para las diferentes variables de interés social, a precios del año 1998 y para la secuencia de tasas de descuento especificadas en el supuesto **S0** (apartado 1.8). En el caso del encinar, la Figura 2.1 representa las distancias asociadas a la MO, la RCS y la RTS, estas dos últimas evaluadas en sus niveles mínimo y normal. La Figura 2.2, dedicada al alcornocal, evalúa las mismas variables aunque sólo en su nivel normal.

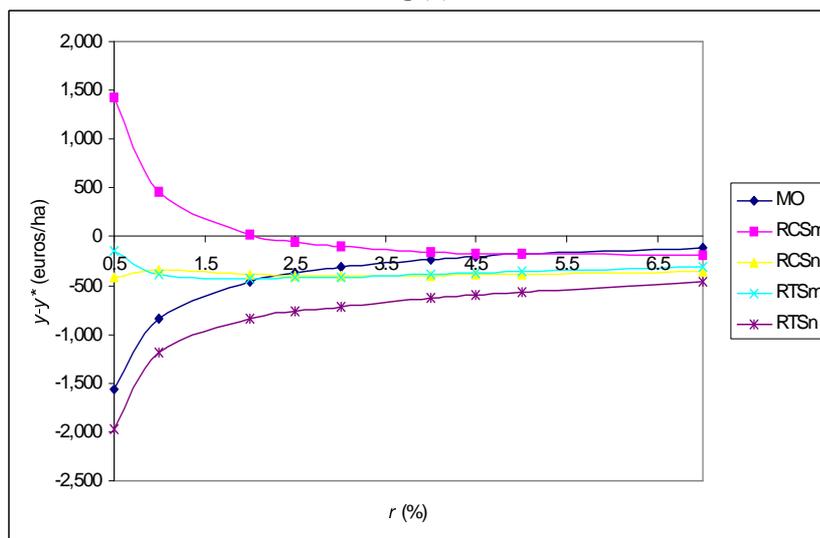
La primera observación clara de estas Figuras es que el valor capital de la renta salarial (MO) es en todas las fincas de estudio menor en su estado actual y bajo las dos hipótesis de gestión forestal que en su correspondiente estado estacionario. Esto es así tanto en el caso del encinar como el alcornocal independientemente de la tasa de descuento anual aplicada. Lo mismo sucede con el valor capital de la renta total social normal (RTSn), que a precios del año 1998, presenta en todas las fincas y para las dos especies arbóreas un valor inferior a su correspondiente estado estacionario, independientemente del nivel de descuento y del tipo de gestión forestal considerados. Asumiendo que la RTSn representa los intereses de la sociedad, el ejercicio realizado demuestra que la sociedad gana bajo una gestión sustentable estricta, es decir, dirigida a alcanzar el estado estacionario.

En el caso del encinar, se han evaluado además las rentas mínimas, es decir, las rentas correspondientes a una gestión que no aprovecha la bellota en montanera. El estado estacionario sigue siendo preferido por la sociedad en ambos escenarios de gestión, no obstante, las pérdidas en las que incurre la sociedad al no mantener el encinar en estado estacionario son mayores bajo la hipótesis de aprovechamiento de bellota en montanera⁶. Dicho de otro modo, el incentivo social por mantener el encinar indefinidamente en el tiempo aumenta si su bellota se aprovecha en montanera.

⁶ Esto se aprecia al estar las curvas asociadas a la RTSn siempre por debajo de las de la RTSm, y éstas a su vez, por debajo del eje x .

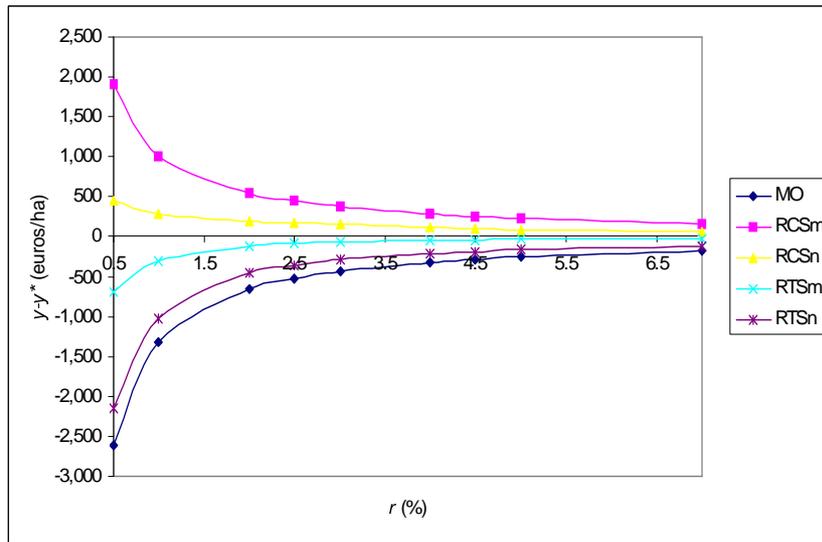


$$D_1^i(r)$$

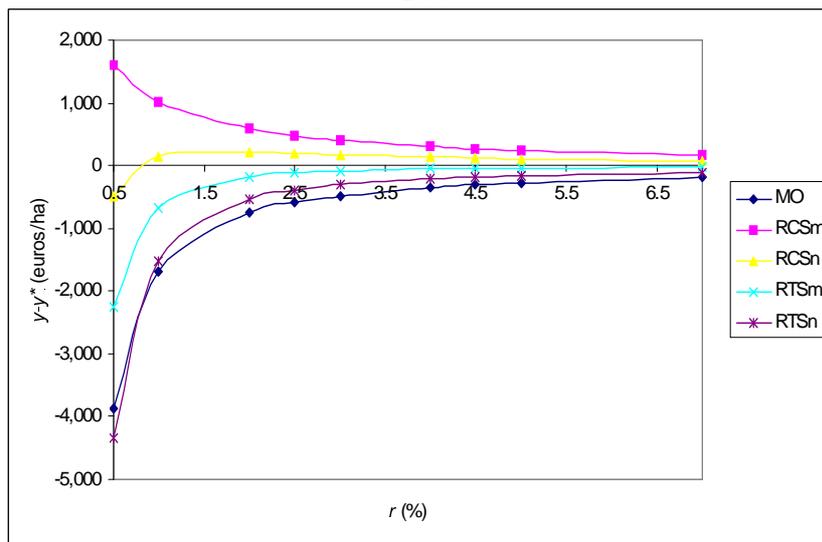


$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.1. Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

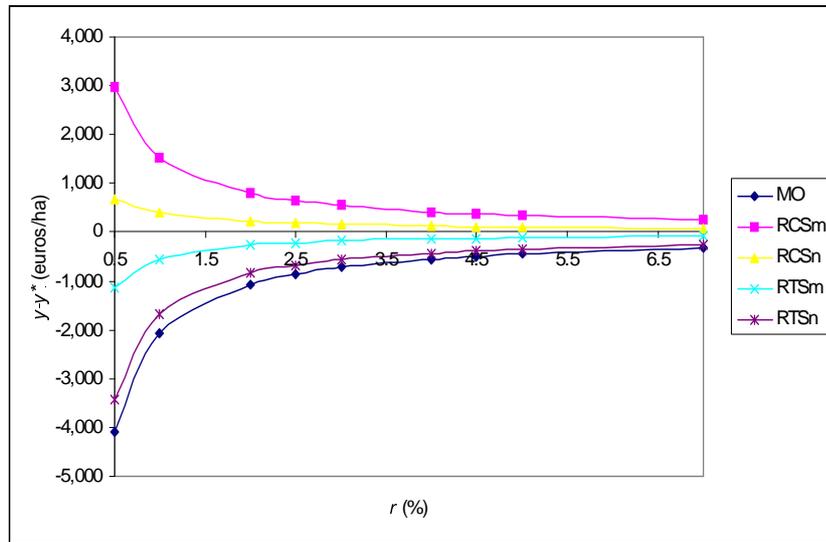


$D_2^i(r)$

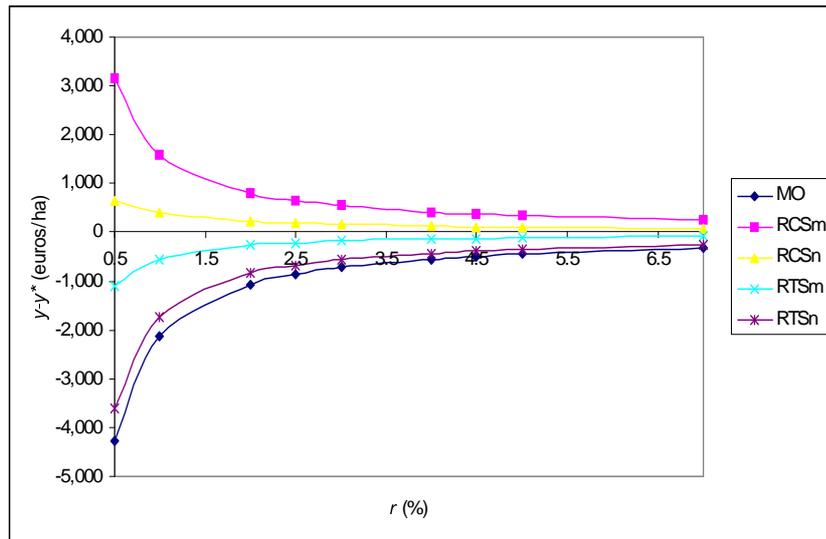


$D_2^{i \rightarrow m}(r)$

Figura 2.1 (continuación). Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

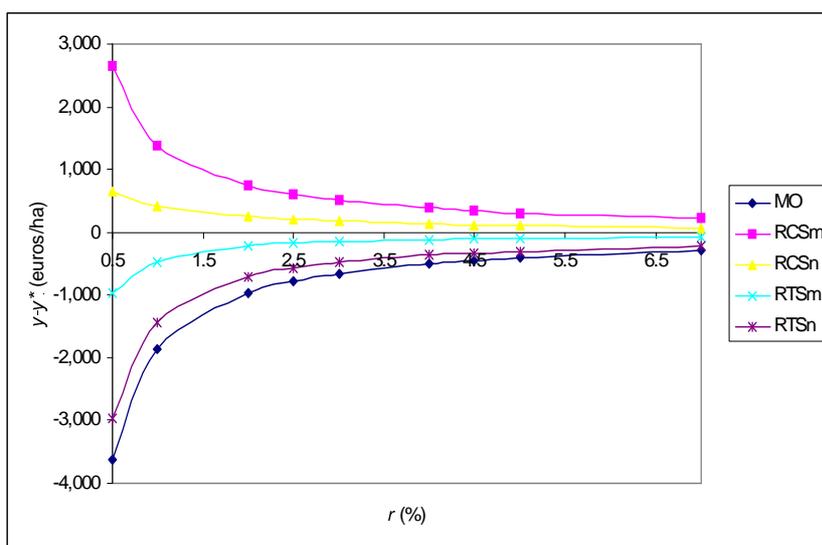


$$D_3^i(r)$$

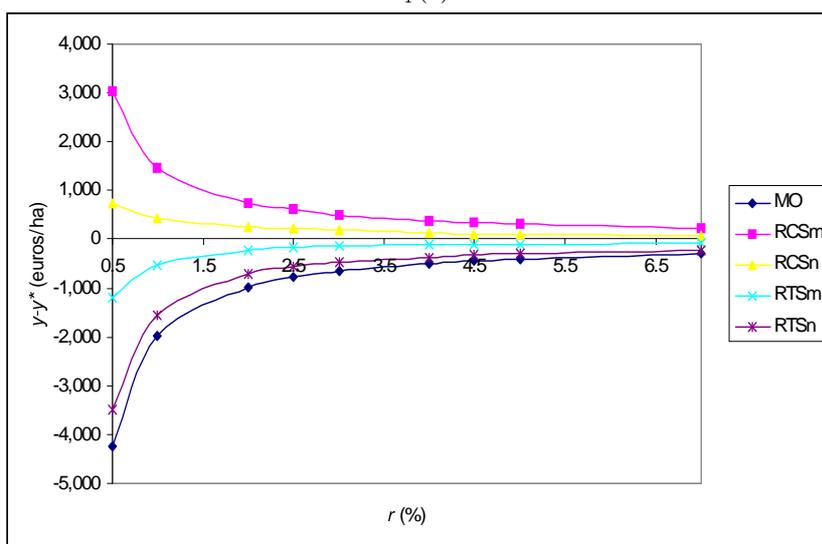


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.1 (continuación). Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

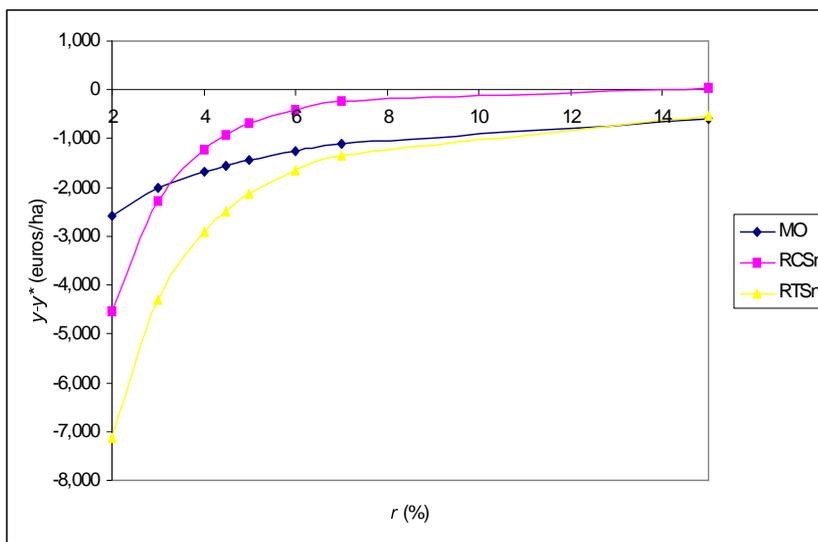


$$D_4^i(r)$$

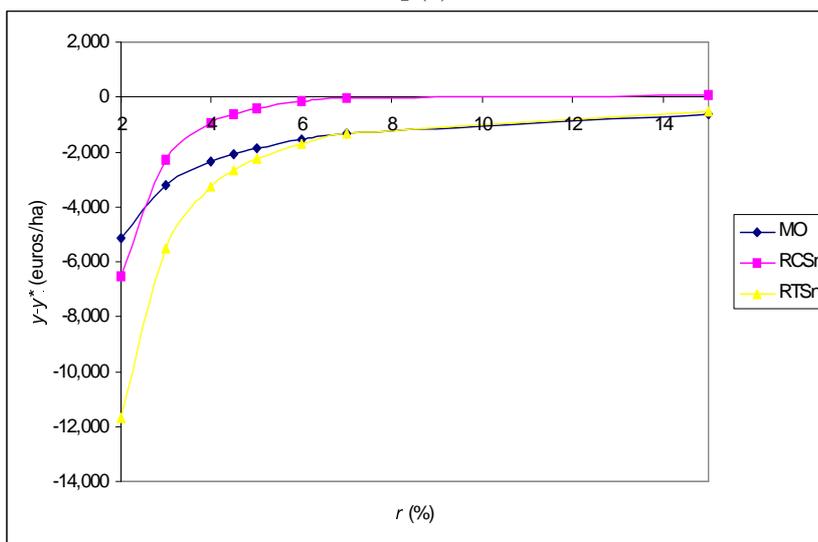


$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.1 (continuación). Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

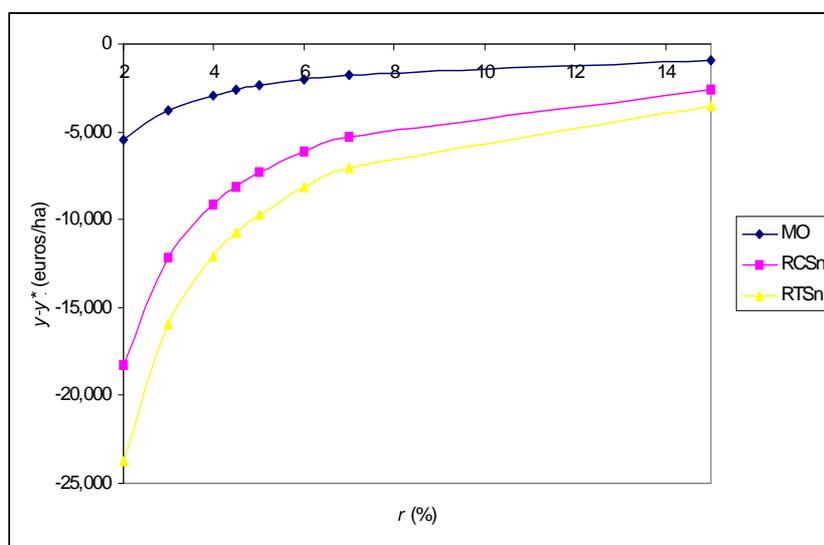


$$D_2^s(r)$$

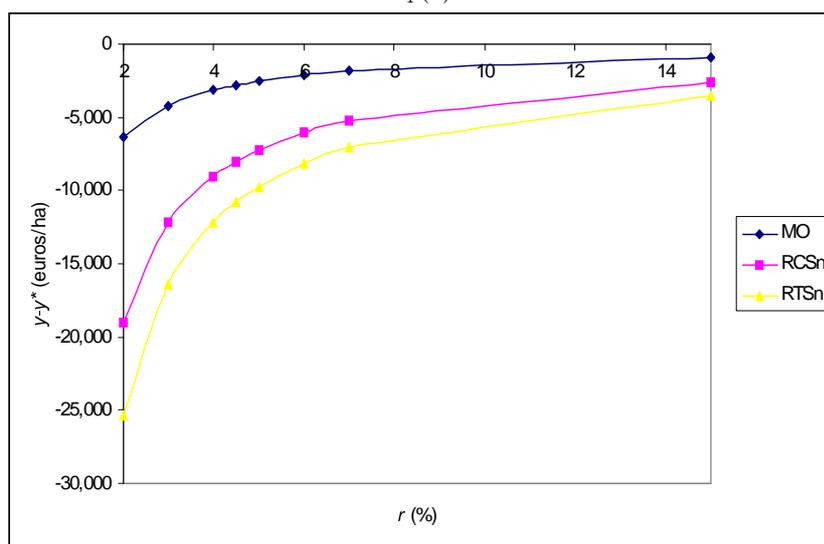


$$D_2^{s \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.2. Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.



$$D_4^s(r)$$



$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.2 (continuación). Renta salarial (MO), renta de capital social (RCS) y renta total social (RTS) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

Como se establece en la expresión (2.55), la renta total social está formada por la renta de capital social y la renta salarial. Si se observa la evolución de las distancias en valor capital de la renta de capital social (RCS), las cosas son un poco más complicadas que en el caso de la RTS. En el caso del encinar, los

valores asociados a esta variable tanto en sus niveles mínimo como normal son mayoritariamente positivos, aunque aparecen algunas excepciones:

- (i) RCSn: $D_1^i(r)$ y $D_1^{i \rightarrow ct}(r) < 0$
para $r \in \{.05, .01, .02, .025, .03, .04, .045, .05, .07\}$.
- (ii) RCSm: $D_1^i(r) < 0$ para $r \in \{.02, .025, .03, .04, .045, .05, .07\}$
y $D_1^{i \rightarrow ct}(r) < 0$ para $r \in \{.025, .03, .04, .045, .05, .07\}$.
- (iii) RCSn: $D_2^{i \rightarrow m}(.05) < 0$.

Desde el punto de vista de la renta de capital social, el estado actual del encinar resulta más lucrativo que la hipotética opción del estado estacionario en todos los casos a excepción de F1 y F2. En F1, la renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su correspondiente estado estacionario es negativa independientemente de la tasa de descuento y el tipo de gestión forestal. Las distancias asociadas a la renta de capital social mínima (RCSm) son también negativas para todas las tasas de descuento superiores al 1.0 por ciento en el caso de una gestión forestal sustentable, y al 2.0 por ciento si la gestión forestal es no sustentable. Respecto a F2, sólo si la tasa de descuento es del .5 por ciento y se consideran las distancias asociadas a la RCSn, resulta más atractiva la opción estacionaria a la actual.

En el caso del alcornocal, al contrario que en el de encinar, las distancias asociadas a la RCSn son generalmente negativas. Tan solo se tiene $D_2^s(.15)$ y $D_2^{s \rightarrow m}(.15) > 0$. Es decir, las distribuciones del alcornocal en estado estacionario son preferidas a las distribuciones actuales en términos de la RCSn, excepto en F2 cuando la tasa de descuento es del 15 por ciento.

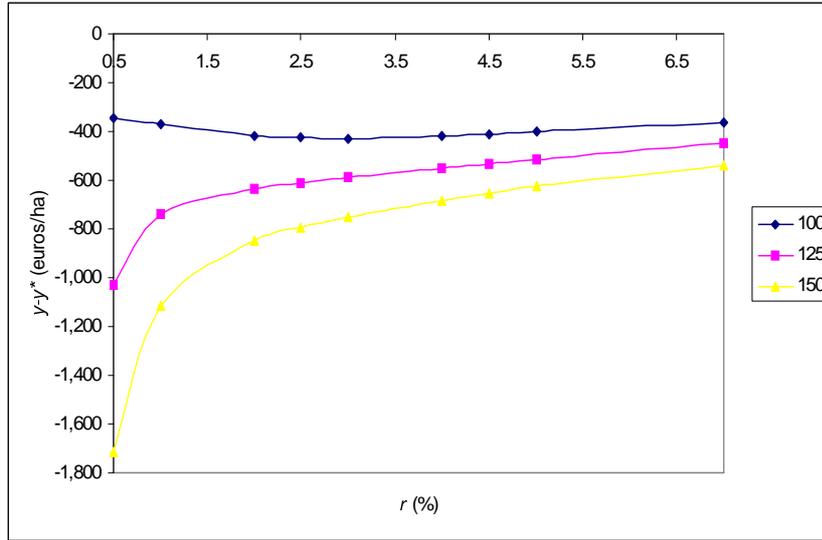
Las pérdidas en valor capital de renta salarial derivadas del estado actual del arbolado y no su hipotético estado estacionario son siempre⁷ mayores si el arbolado se gestiona de manera no sustentable. Esto es, el nivel de empleo generado en estado estacionario es mayor, y esta diferencia es más importante si la gestión actual del arbolado es no sustentable.

El valor capital de la RTS asociado al encinar y alcornocal en su estado actual sigue siendo inferior al mismo en estado estacionario incluso en los casos en los que las distancias asociadas a la RCS son positivas (todos los casos de encinar salvo excepciones (i), (ii) y (iii) y el caso aislado de alcornocal en F2 cuando $r = .15$). Esto se debe a que las pérdidas en valor capital de la renta salarial son mayores que las ganancias en renta de capital social derivadas del mantenimiento del arbolado en su estado actual y no en su correspondiente estado estacionario. Consecuentemente el efecto final sobre la RTS es siempre favorable al estado estacionario.

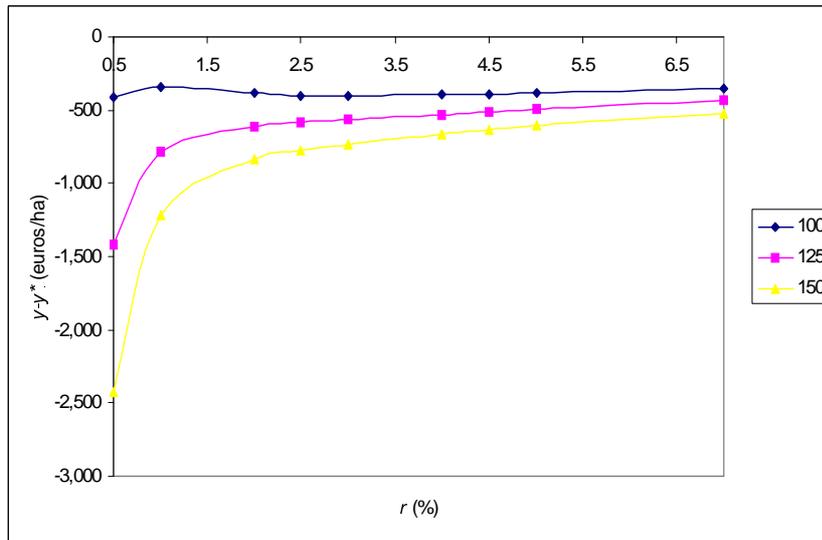
Para completar el análisis se presentan los resultados derivados del análisis de sensibilidad en los precios de los bienes comerciales más relevantes dentro del encinar (arropa repuesta en montanera) y el alcornocal (corcho) (ver supuesto **S1**, apartado 1.8). La Figura 2.3 representa la RCSn en desviaciones del estado

⁷ Para todos los casos de estudio, tasas de descuento intertemporal y nivel de precios, especie forestal y tipo de gestión evaluados.

estacionario para las diferentes tasas de descuento y para los tres niveles de precios considerados de la arroba repuesta en montanera. La Figura 2.4 realiza el mismo ejercicio pero evaluando la RTSn.

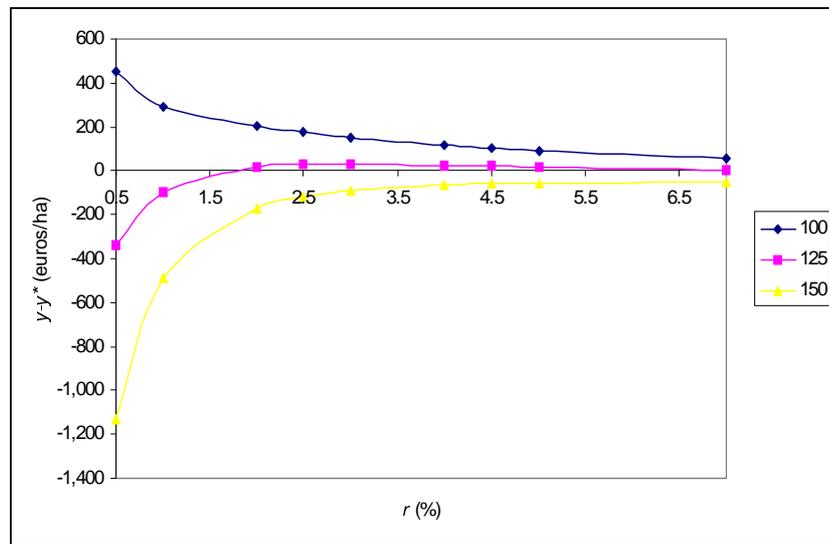


$$D_1^i(r)$$

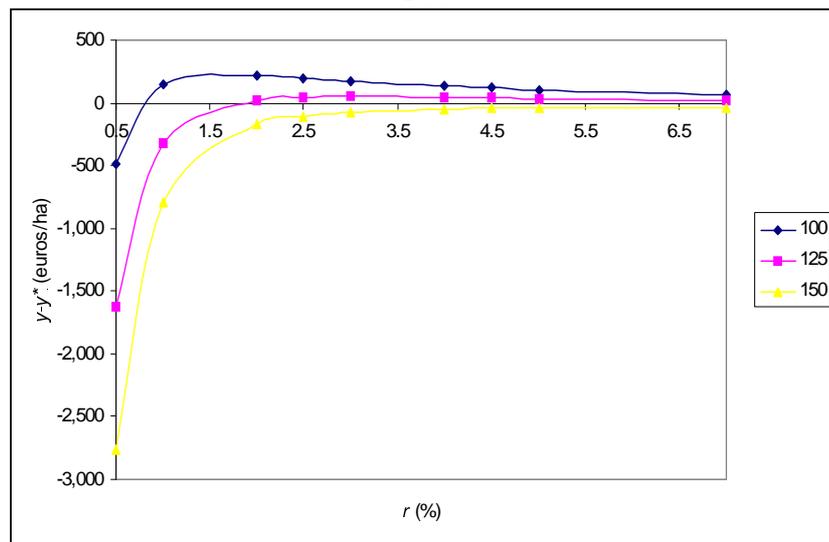


$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.3. Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.

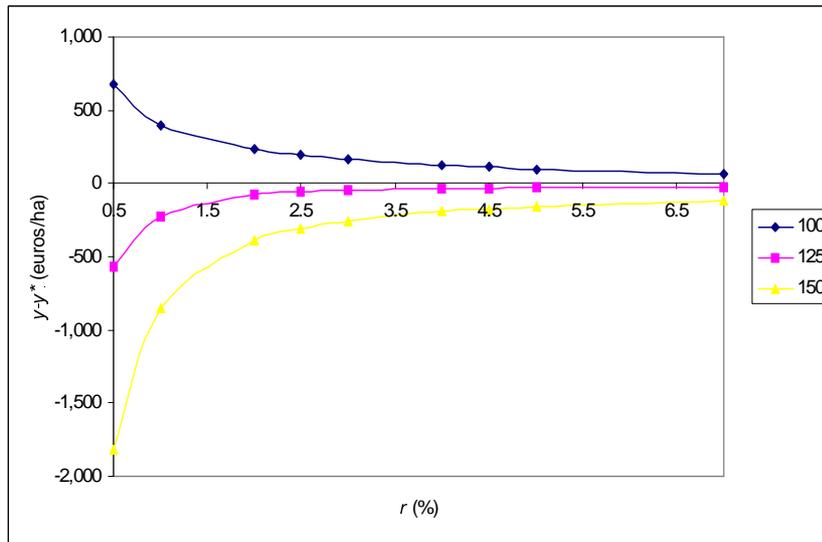


$$D_2^i(r)$$

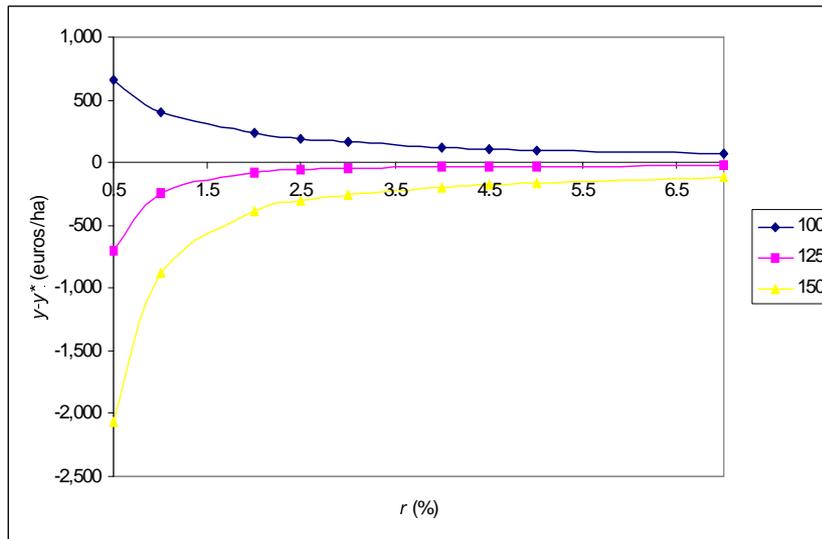


$$D_2^{i \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.3 (continuación). Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arborescencia en montanera.

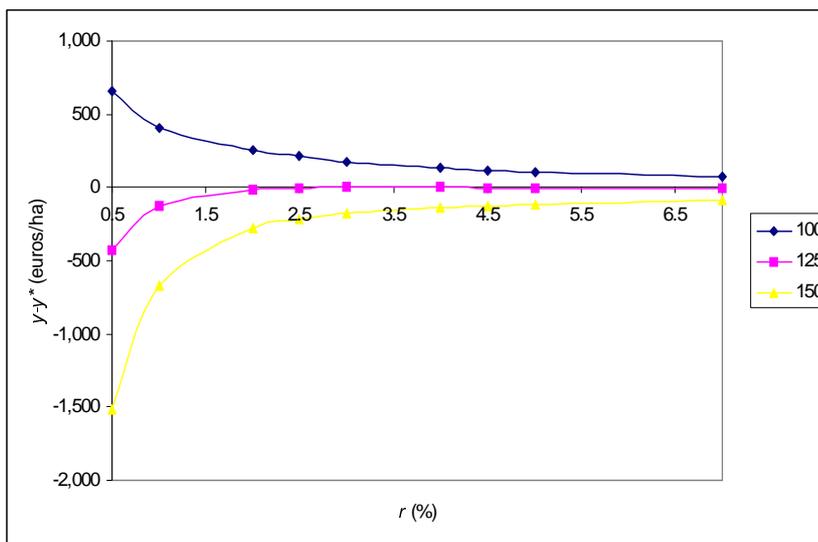


$$D_3^i(r)$$

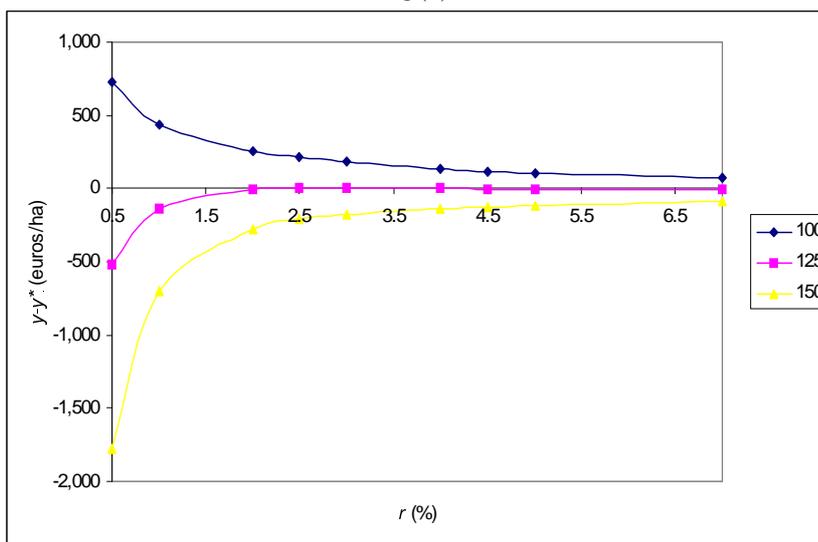


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.3 (continuación). Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.



$$D_4^i(r)$$



$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.3 (continuación). Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arbo repuesta en montanera.

La primera cuestión que resalta del análisis gráfico realizado en la Figura 2.3 es el efecto que sobre las curvas de las distancias de la RCSn tiene el aumento de precio de la arbo repuesta en montanera. El resultado es siempre el desplazamiento de las curvas hacia el cuadrante negativo. Esto es, a me-

didada que aumenta el precio de este recurso, el incentivo a permanecer en estado estacionario es mayor.

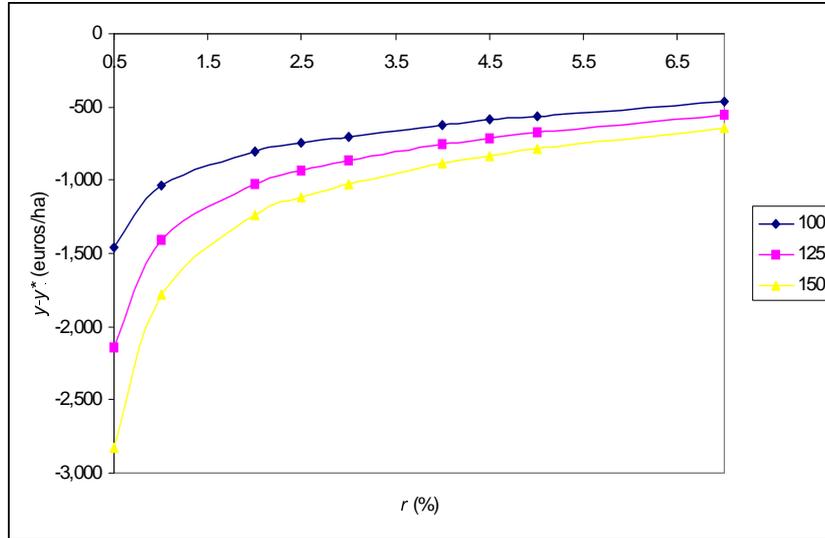
Como se apuntó en el análisis de la Figura 2.1, destaca el encinar de F1 como único caso que presenta valores negativos de la RCSn en desviaciones de su estado estacionario, para todas las tasas de descuento (*cf.* excepción (i)) y niveles de precios evaluados, independientemente del tipo de gestión aplicada sobre las actuales distribuciones de clases de edad del encinar.

La situación que presentan el resto de las fincas difiere notablemente de la de F1, aunque también pueden identificarse algunas regularidades. Las distancias $D_j^i(r)$ y $D_j^{i \rightarrow l}(r)$ son siempre negativas cuando el precio de la arroba repuesta en montanera aumenta un 50 por ciento. Esto es, el aumento de precio hace que el estado estacionario sea preferido al estado actual para todas las tasas de descuento consideradas y ambos tipos de gestión forestal actual. En F3, las distancias son también siempre negativas cuando el aumento de precio es del 25 por ciento. El encinar de F2 presenta distancias negativas cuando el aumento de precio es del 25 por ciento, tanto si la gestión actual es sustentable como no sustentable, no obstante, solo para tasas de descuento bajas ($r = .005$ y $r = .01$). En el caso de F4, este aumento del 25 por ciento en el precio del recurso hace que las distancias asociadas a la RCSn sean negativas para $r \in \{.005, .01, .02, .025\}$ si la gestión forestal actual es sustentable y para $r \in \{.005, .01, .02\}$ si la gestión actual es no sustentable. Las distancias evaluadas a precios del año 1998 son siempre positivas a excepción del mencionado caso de F2 cuando la gestión forestal de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar es no sustentable y la tasa de descuento evaluada es la más baja ($r = .005$, excepción (iii)).

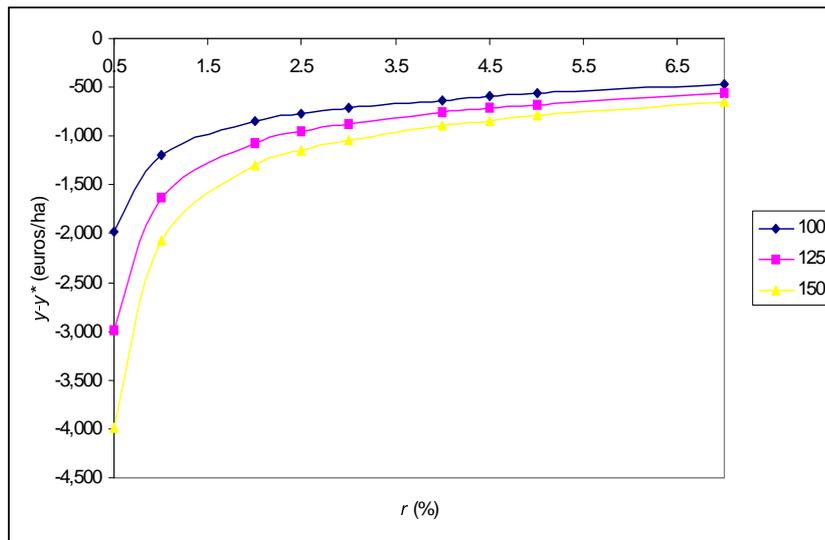
La Figura 2.4 evalúa la gestión del encinar en los diferentes casos de estudio pero desde la perspectiva ofrecida por la RTSn. En este caso, el análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera no modifica los resultados derivados del análisis de la Figura 2.1. La RTSn en desviaciones de su estado estacionario es en todos los casos de estudio negativa, independientemente del nivel de precio del recurso, las tasas de descuento, o el tipo de gestión forestal evaluada. El aumento en el precio del recurso tan solo acentúa el interés social por conservar el encinar en estado estacionario.

Dado que el signo de la RTSn en desviaciones de su correspondiente estado estacionario es siempre negativo, resulta interesante comparar los encinares de cada una de las fincas en función de la magnitud de las distancias $|D_j^i(r)|$ y $|D_j^{i \rightarrow l}(r)|$ evaluadas en las tasas de descuento más bajas. De este modo, se observa que el encinar de F1 tiene las distancias con menor valor absoluto independientemente del tipo de gestión forestal evaluada. En otras palabras, el encinar de F1 es el más próximo al hipotético estado estacionario, al menos desde la perspectiva económica ofrecida por la RTSn. También puede decirse que el coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar, expresado en términos de esta variable de renta social es inferior en F1. Este acercamiento económico al estado estacionario no es del todo sorprendente puesto que los indicadores de la Tabla 2.3, muestran un estado físico más

favorable en este caso de estudio.



$$D_1^i(r)$$

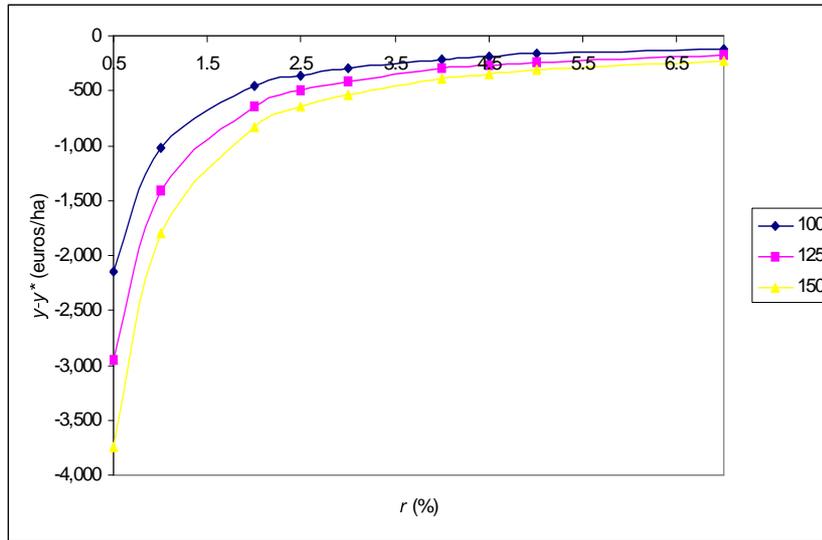


$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

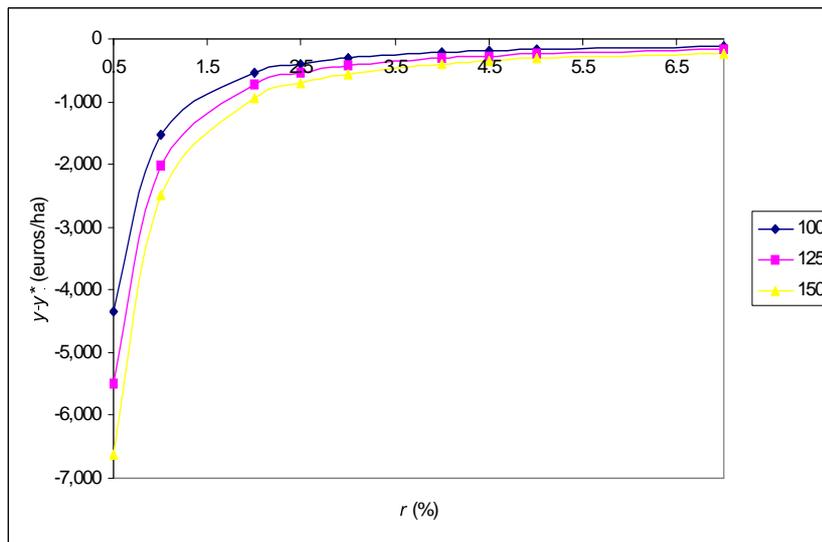
Figura 2.4. Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arbo repuesta en montanera.

La siguiente regularidad más evidente es que el encinar de F3 se encuentra más alejado en términos de la RTSn, que el de F4 del hipotético estado estacionario, tanto si la actual gestión forestal es sustentable como no sustentable.

Esto coincide con un mejor estado físico en términos de espesura y la presencia de una plantación artificial sobre el 2 por ciento de la superficie normalizada de encinar en F4.

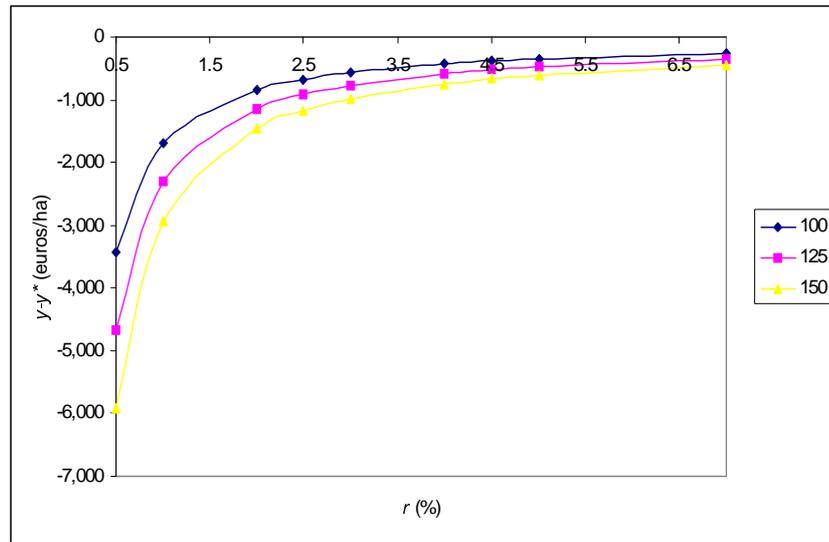


$$D_2^i(r)$$

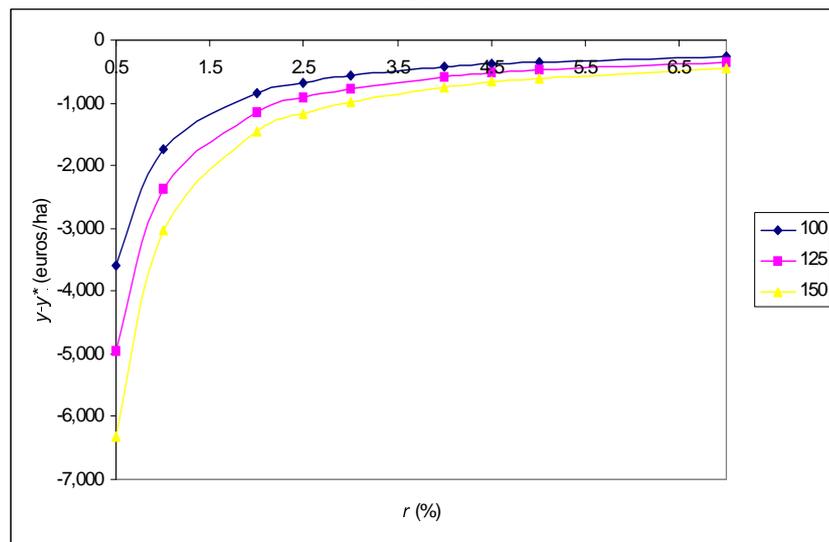


$$D_2^{i \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.4 (continuación). Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.



$$D_3^i(r)$$

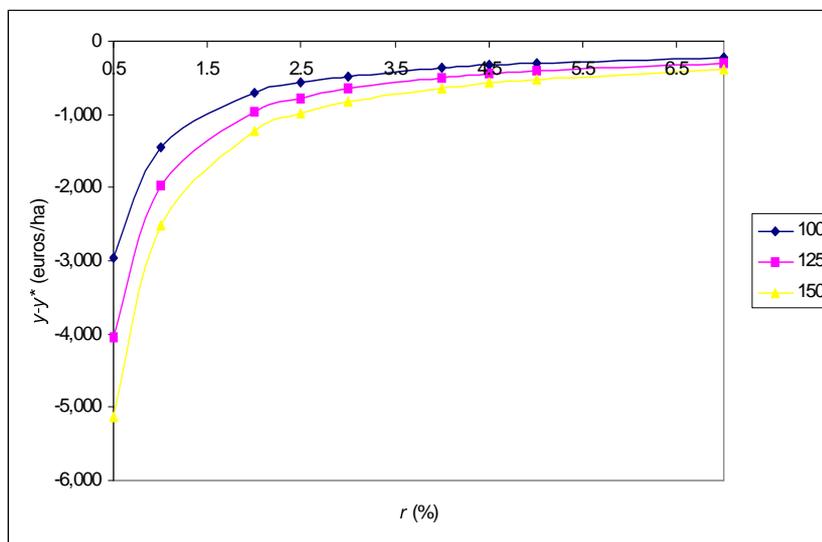


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

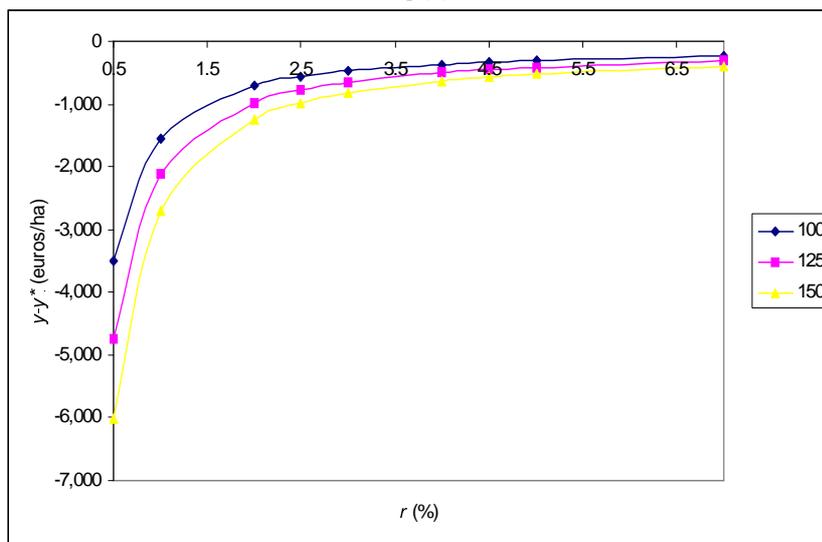
Figura 2.4 (continuación). Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arboza repuesta en montanera.

Finalmente, la comparación de la magnitud de las distancias $|D_j^i(r)|$ y $|D_j^{i \rightarrow l}(r)|$ (para valores de r bajos) entre F2, F3 y F4, pone de manifiesto que el encinar de F2 está más cercano al encinar estacionario desde el punto de vista de la RTSn si la gestión forestal actual es sustentable, en caso contrario,

los encinares de F3 y F4 se aproximan más en valor capital que F2 a su correspondiente estado estacionario. En términos físicos, el encinar de F2 presenta un nivel de espesura superior a los asociados a F3 y F4 (ver Tabla 2.3).



$$D_4^i(r)$$

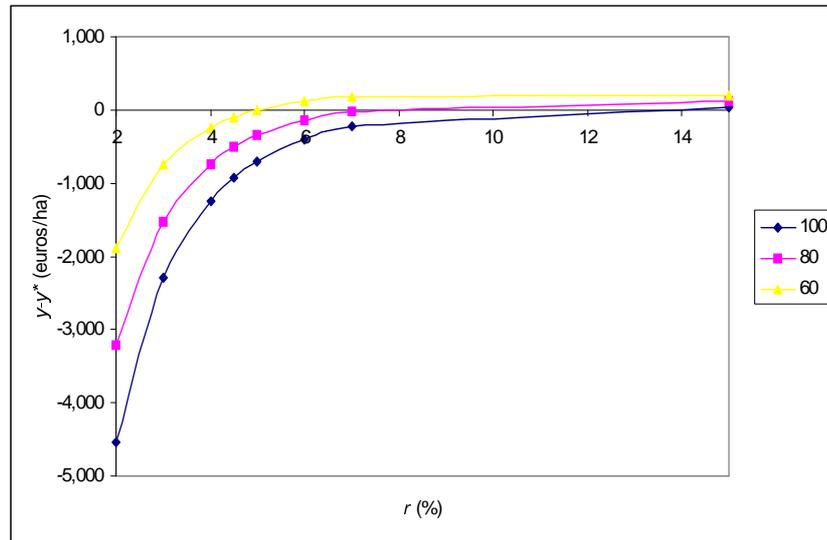


$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

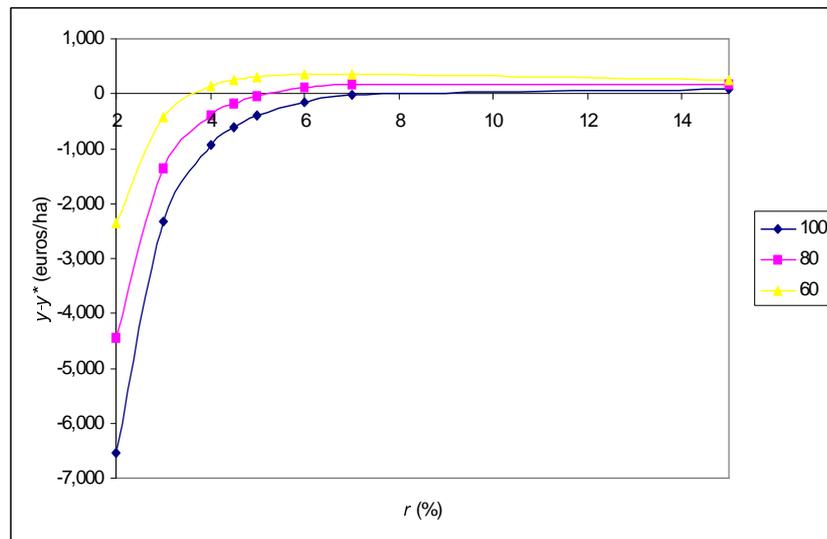
Figura 2.4 (continuación). Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arropa repuesta en montanera.

Las Figuras 2.5 y 2.6 están dedicadas al análisis económico del alcornocal

desde el punto de vista de la RCSn y la RTSn.

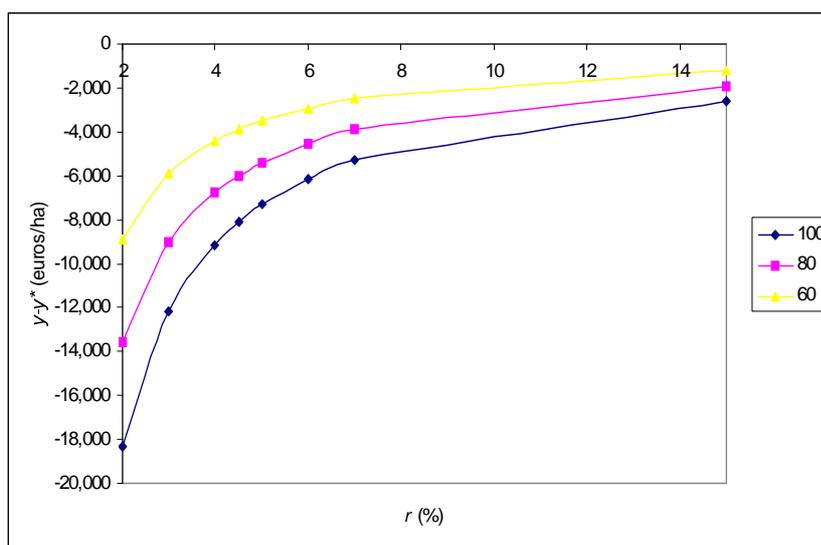


$$D_2^s(r)$$

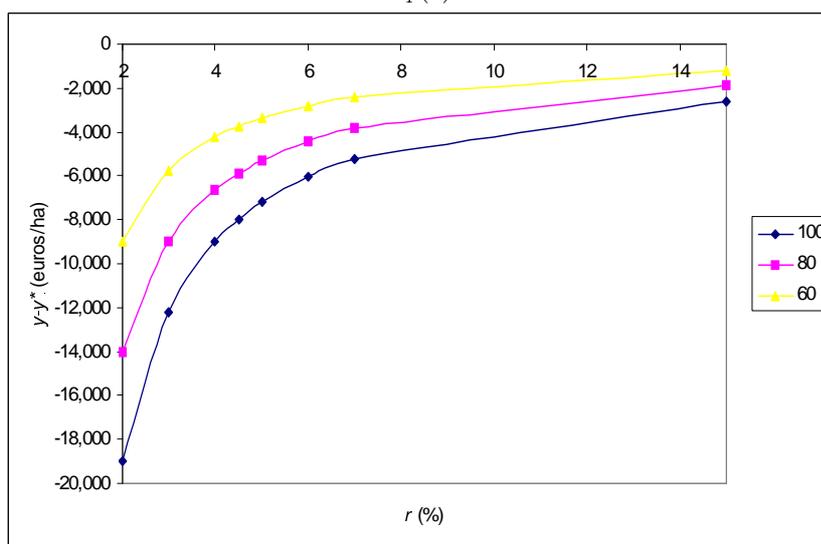


$$D_2^{s \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.5. Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.



$$D_4^s(r)$$



$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.5 (continuación). Renta de capital social normal (RCSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.

El análisis de sensibilidad en precio del corcho muestra en F2, que revisiones a la baja provocan cambios de signo en los valores de la RCSn expresada en desviaciones de su correspondiente estado estacionario. Cuando las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal se gestionan de manera sustentable, el rango de tasas de descuento para las cuales la gestión actual ofrece mayores

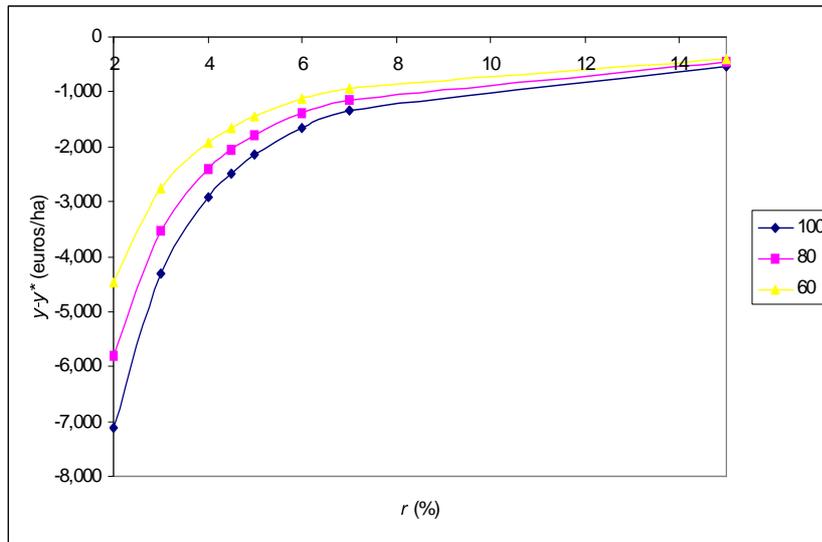
niveles de RCSn que la hipotética gestión del estado estacionario, aumenta, no obstante, solo si el nivel de precio desciende hasta el 60 por ciento de su valor original. En este caso, además de la tasa de descuento del 15 por ciento observada a precios del año 1998 y al nivel reducido un 20 por ciento, se tienen las tasas del 5, 6 y 7 por ciento. Si alternativamente el alcornocal es gestionado de manera no sustentable, la reducción del 20 por ciento en el nivel de precio del corcho es suficiente para inducir cambios en el signo de las distancias $D_2^{s \rightarrow m}(r)$ de la RCSn. Para este nivel de precio del corcho se añaden las tasas del 6 y 7 por ciento, y del 4, 5, 6 y 7 por ciento si el precio correspondiente al año 1998 disminuye un 40 por ciento.

En el caso de F4, se observa que la reducción en el nivel de precio del corcho no altera el signo de la RCSn en desviaciones de su correspondiente estado estacionario, que sigue siendo negativo en todos los niveles de descuento evaluados, independientemente del tipo de gestión forestal, ya sea sustentable o no sustentable. Las reducciones en el precio del corcho desplazan las curvas hacia arriba, pero nunca lo suficiente como para convertir en favorita la opción actual. Es decir, las curvas de la RCSn en desviaciones de su estado estacionario en ningún momento cruzan el eje de abscisas.

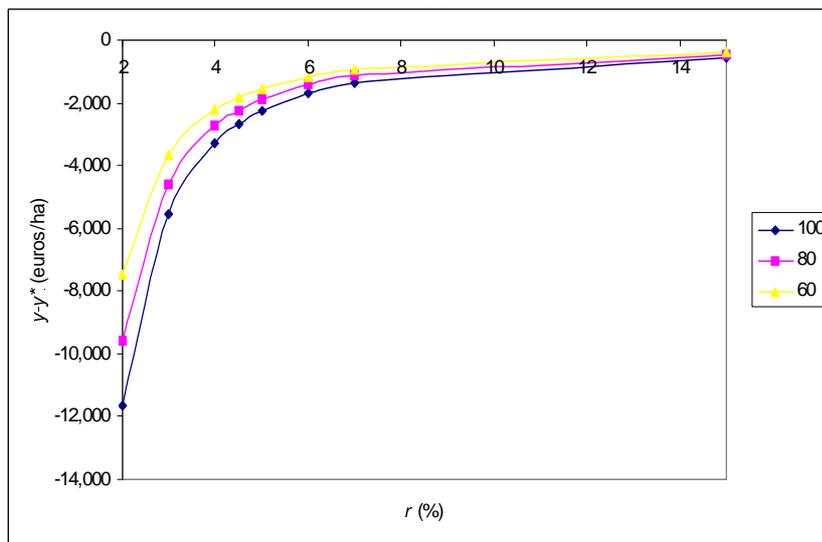
Algo muy similar sucede cuando se evalúan las distancias en valor capital de la RTSn. Tanto en F2 como en F4, el signo de las curvas sigue siendo negativo independientemente del nivel de precio de corcho y tipo de descuento evaluados (Figura 2.6). El alcornocal estacionario ofrece mayores niveles de RTSn que el alcornocal tal y como se encuentra en la actualidad, y por tanto, puede suponerse que la opción estacionaria es más atractiva que la actual desde el punto de vista social. Se observa además que las pérdidas en RTSn derivadas de la ausencia del estado estacionario en el alcornocal son mayores si la gestión forestal es no sustentable, al menos para tasas de descuento moderadas⁸ como puede apreciarse en la Figura 2.6.

Un aspecto que destaca en el análisis de la RCSn (Figura 2.5) y la RTSn (Figura 2.6) es que las distancias $D_j^s(r)$ y $D_j^{s \rightarrow p}(r)$ tienen siempre mayor valor absoluto en F4 que en F2, independientemente del nivel de precio de corcho y tipo de descuento evaluados. En otras palabras, el alcornocal de F4 parece estar relativamente más distante del estado estacionario que el de F2. La explicación reside en las características físicas de cada uno de ellos. La Tabla 2.3 muestra que el alcornocal de F2 se encuentra en un estado mucho más saludable en términos de espesura que el de F4. Adicionalmente, el alcornocal relativamente más aclarado de F4 tiene un 12 por ciento de su superficie normalizada en reforestación (*cf.* Anexo 1b-II). Este hecho ensancha aún más la distancia económica existente entre su estado actual y el hipotético estado estacionario, puesto que son los primeros años de la plantación los más costosos en términos comerciales.

⁸Evaluando las diferencias $D_j^s(r) - D_j^{s \rightarrow l}(r)$ de la RTSn en F2 y F4, se obtienen valores positivos siempre que la tasa de descuento no supere el 6 por ciento anual. Esto es así para los tres niveles de precio de corcho considerados.

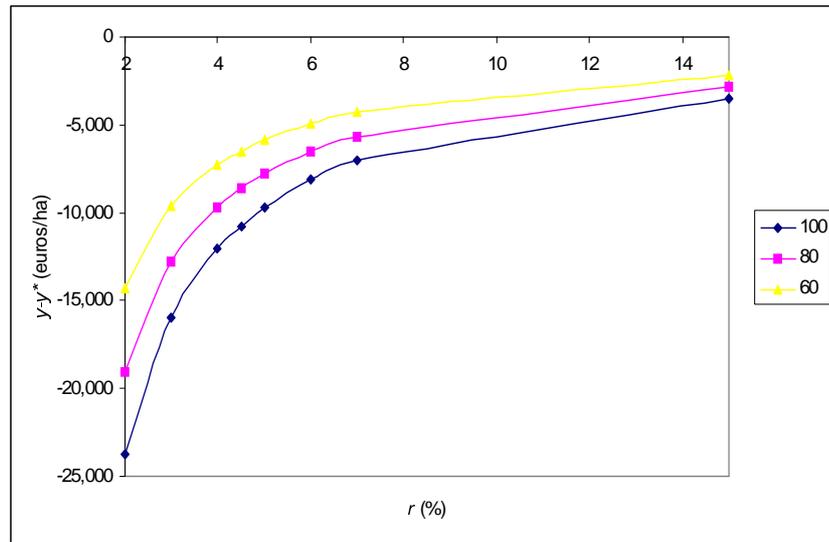


$D_2^s(r)$

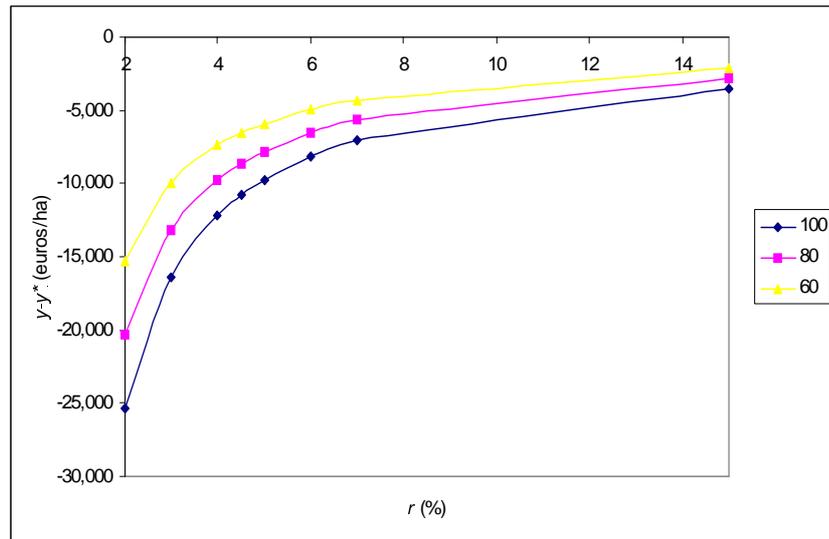


$D_2^{s \rightarrow m}(r)$

Figura 2.6. Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.



$$D_4^s(r)$$



$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.6 (continuación). Renta total social normal (RTSn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.

Los agentes privados

Las variables de renta social no hacen mención alguna al conjunto de subvenciones percibidas e impuestos pagados por el conjunto de la sociedad. El sistema de cuentas agroforestales (ver apartado 1.9) supone que la sociedad tratada en

su conjunto, percibe finalmente un saldo nulo del conjunto de subvenciones netas de impuestos. Contrariamente, las variables de renta privada incluyen un saldo mayoritariamente positivo en el caso de la RCPcf, y nulo en el caso de la RCPpm, que representa la magnitud de subvenciones netas de impuestos (SNI) percibidas por el agente privado o propietario. De la Tabla 1.3 se tiene que,

$$RCPcf = RCPpm + SNI \quad (2.56)$$

Se incluyen las subvenciones derivadas de la aplicación del reglamento comunitario sobre reforestación en tierras agrarias. En particular las asociadas a la plantación artificial de encina y alcornoco: (i) establecimiento de la plantación en el primer año para el cerramiento, laboreo del suelo, plantación y protección de plántulas, (ii) prima de mantenimiento durante los cinco primeros años para la reposición de marras y realización de escardas, (iii) prima compensatoria por pérdida de renta durante los 20 primeros años en los que las plantaciones permanecen acotadas al pastoreo de animales y (iv) las ayudas asociadas a otros tratamientos selvícolas tales como desbroces, podas de formación, clareos, claras, establecimiento y mantenimiento de cortafuegos.

El reglamento comunitario no incluye ayudas a la regeneración natural del arbolado. Se han supuesto las mismas subvenciones que en el caso de la plantación artificial, no obstante, la prima del primer año se ha calculado manteniendo el valor del cociente observado en las plantaciones artificiales de subvenciones sobre costes. La prima resultante para la regeneración natural del arbolado es inferior ya que los costes de establecimiento del regenerado natural están notablemente por debajo de los de la plantación artificial, al menos durante los primeros años.

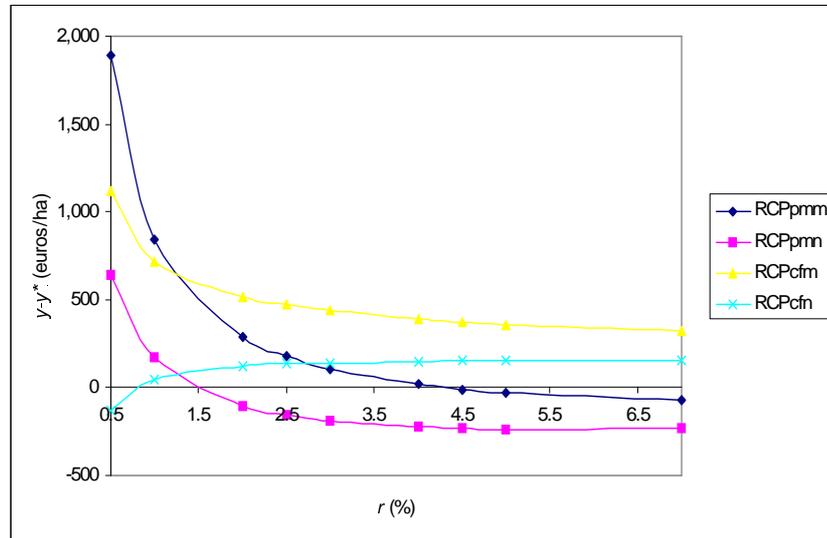
Los impuestos considerados son los vigentes. Esencialmente, el propietario paga un 7 por ciento que se aplica a los costes totales de cada una de las actividades selvícolas, a excepción de los costes asociados al cerramiento, que pagan un 16 por ciento de impuesto sobre el valor añadido (IVA). Además, los propietarios perciben un 4 por ciento adicional (impuestos negativos) por la venta de productos forestales tales como el corcho o la leña.

Pues bien, en este apartado se analizan las distancias $D_j^q(r)$ y $D_j^{q \rightarrow l}(r)$ de las variables de renta de capital privada a precios de mercado y a coste de los factores (RCPpm y RCPcf). En el primer caso se analizan las preferencias privadas sobre el grado de sustentabilidad en la gestión forestal del suelo arbolado cuando el propietario de la finca opera en ausencia de subvenciones e impuestos. En el segundo, se analiza el mismo problema pero en el caso de un propietario que tiene derecho a percibir el conjunto de subvenciones netas de impuestos descrito en los párrafos anteriores.

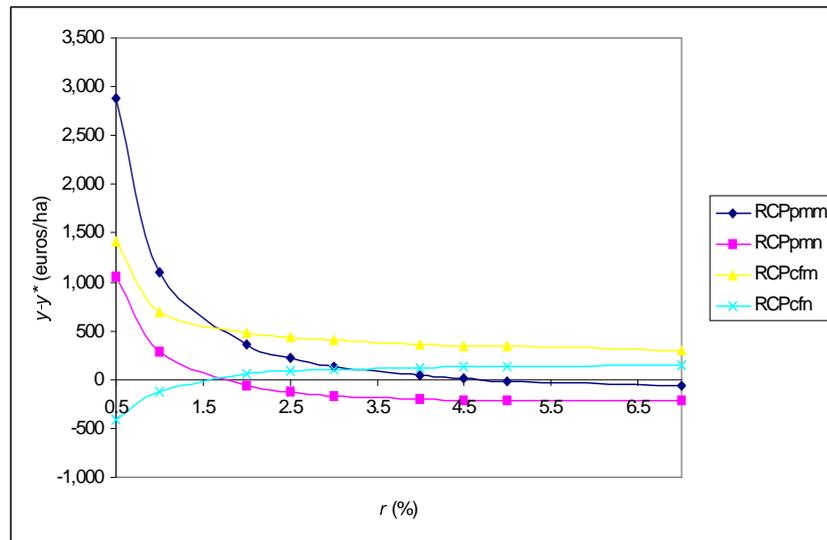
En el Apéndice de este Capítulo, los Anexos 2c-II y 2d-II en el caso del encinar y 3c-II y 3d-II en el del alcornocal, ofrecen las distancias en valor capital para el conjunto completo de variables de renta privada evaluadas para las diferentes tasas de descuento, los diferentes niveles de precios, y el tipo de gestión forestal, sustentable (Anexos 2c-II y 3c-II) y no sustentable (Anexos 2d-II y 3d-II).

A continuación, las Figuras 2.7 y 2.8 representan las distancias para la RCPcf y la RCPpm en sus niveles mínimo y normal (supuesto **S4**, apartado 1.8), para

el encinar y el alcornocal respectivamente. Las Figuras 2.9-2.12 realizan análisis de sensibilidad en los niveles de precios de reposición en montanera y corcho sobre las variables de renta de capital privada en su nivel normal.



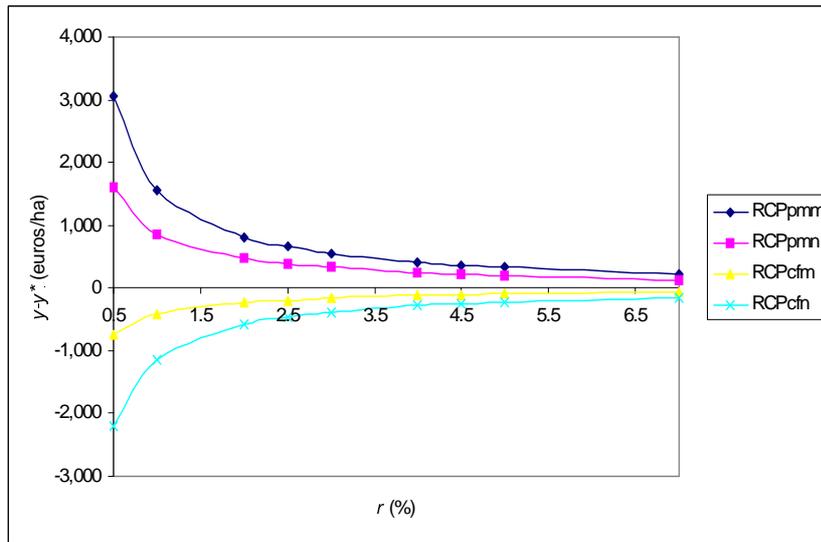
$$D_1^i(r)$$



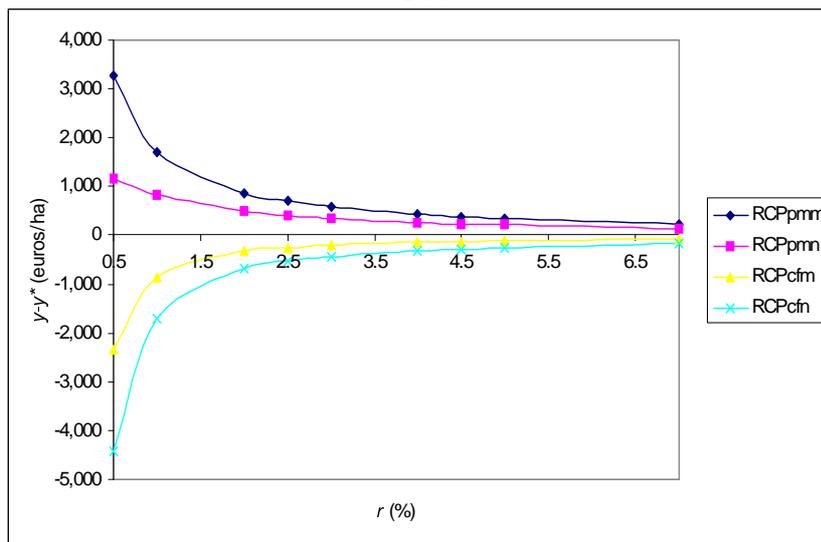
$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.7. Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.

Valores en euros/ha a precios de 1998.

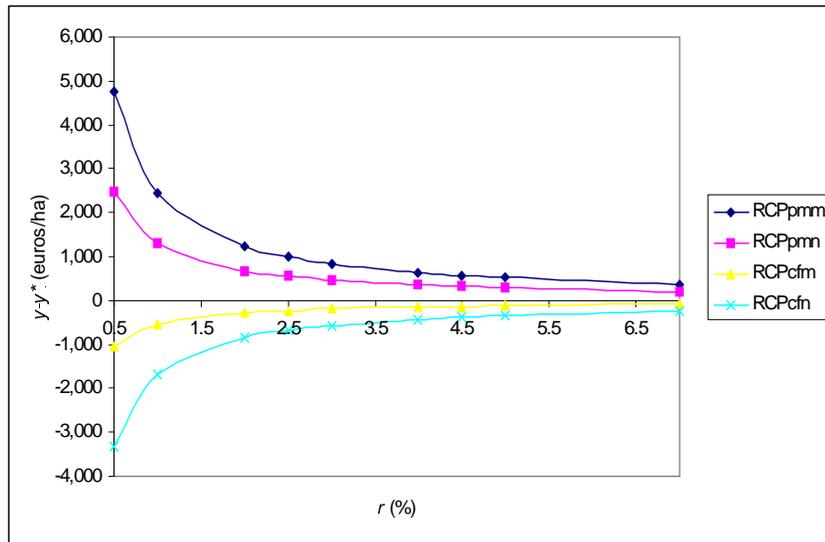


$$D_2^i(r)$$

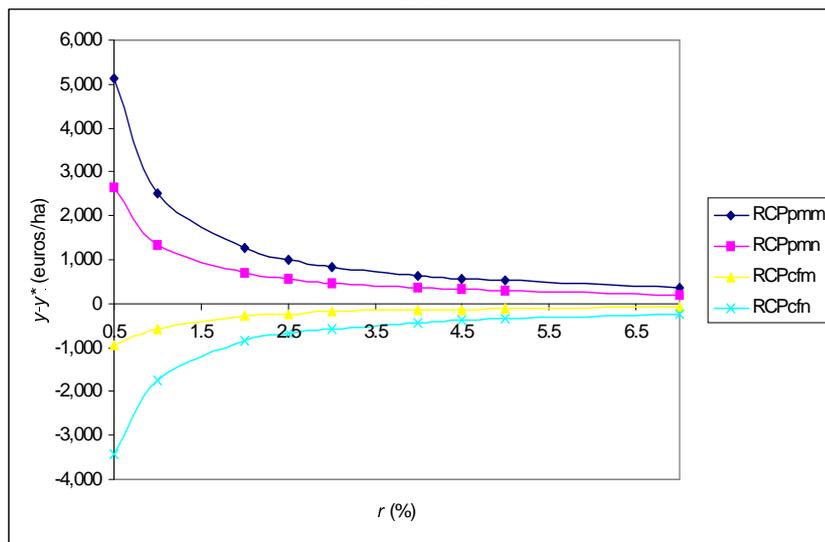


$$D_2^{i \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.7 (continuación). Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.
Valores en euros/ha a precios de 1998.

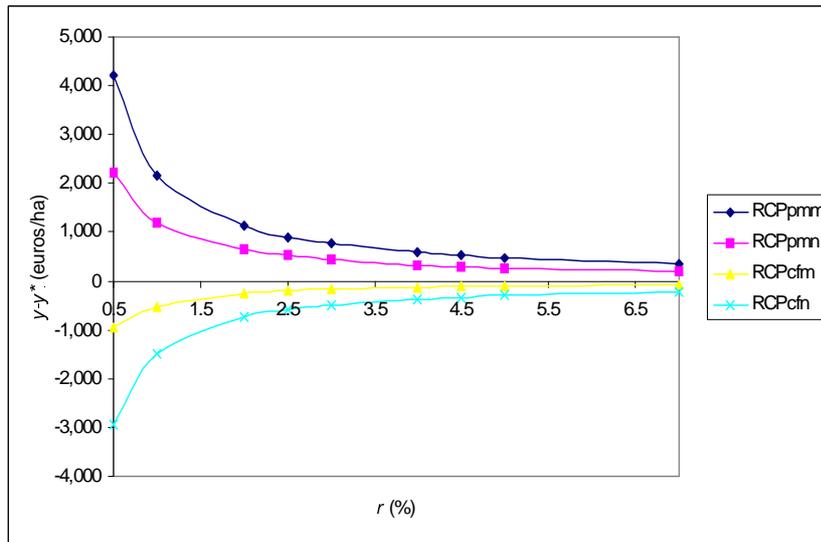


$$D_3^i(r)$$

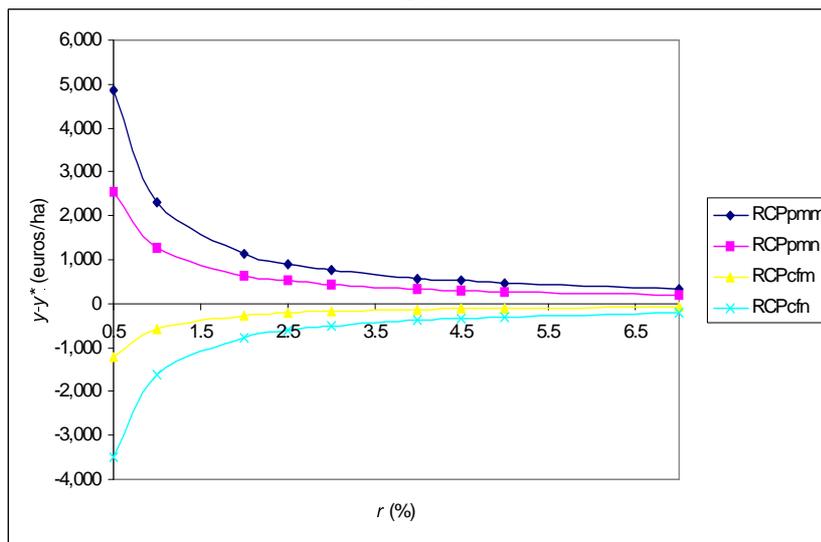


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.7 (continuación). Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.
Valores en euros/ha a precios de 1998.



$$D_4^i(r)$$



$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.7 (continuación). Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.

Valores en euros/ha a precios de 1998.

En ausencia de subvenciones y en una situación de renta normal, es decir, de aprovechamiento de bellota en montanera, el propietario de F1 estaría incentivado a conservar su encinar en estado estacionario si estuviese descontando

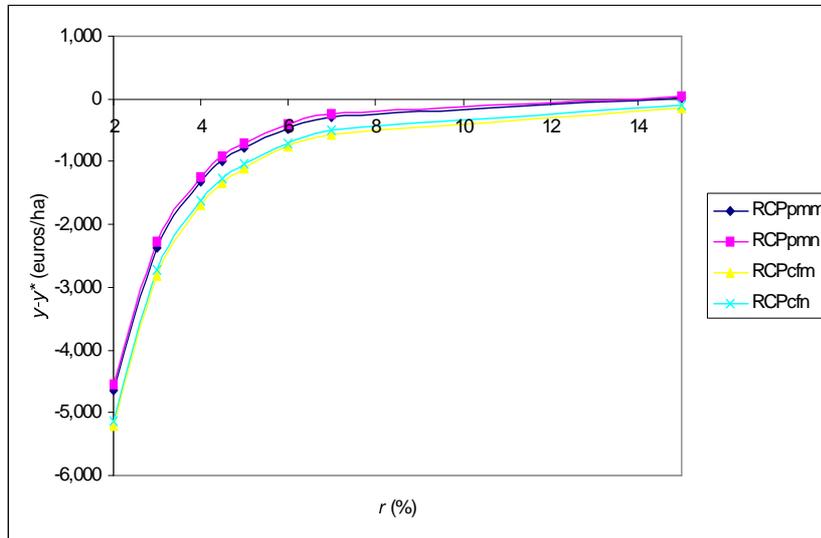
el futuro a tasas de descuento del 2 por ciento anual o superiores tanto si la gestión forestal que aplica al arbolado es sustentable como no sustentable. Esto se observa en la evolución de las distancias $D_1^i(r)$ y $D_1^{i \rightarrow ct}(r)$ asociadas a la RCPpmm a lo largo del cuadrante negativo en el mencionado rango de tasas de descuento. La inclusión de subvenciones tiene en este caso particular un resultado de selección adversa, ya que modifica las preferencias del propietario a una situación desfavorable a la conservación del encinar en estado estacionario, puesto que para tasas de descuento del 1 por ciento anual y superiores (si la gestión forestal aplicada al encinar es sustentable), y del 2 por ciento o superiores (si es no sustentable), el propietario de F1 prefiere la alternativa actual a la alternativa estacionaria. Esto puede explicarse en términos de la importante reforestación con encina llevada a cabo en el año 1995 (ver Tabla 2.3 y Anexo 1a-II). Siendo los primeros años de la plantación artificial los que mayor volumen de subvenciones perciben, el peso de casi un 50 por ciento de la superficie normalizada de encinar⁹ es lo suficientemente importante como para hacer que la RCPcfn sea superior bajo la alternativa actual que bajo la hipotética alternativa del estado estacionario. Desde el punto de vista de la RCPpmm, los altos costes en los que se incurre durante los primeros años de la plantación artificial, hacen que la alternativa estacionaria sea más lucrativa que la actual.

Si alternativamente se evalúa una gestión forestal que no aprovecha la bellota en montanera, el propietario de F1 estaría incentivado a mantener el encinar en su estado actual y no en estado estacionario bajo las condiciones de mercado e intervención pública del año 1998, independientemente del tipo de gestión forestal y la tasa a la que descuenta el futuro. En ausencia de subvenciones (RCPpmm) se mantiene este resultado para tasas de descuento inferiores al 4.5 por ciento si la gestión forestal actual es sustentable, e inferiores al 5 por ciento si es no sustentable. Para tasas de descuento superiores, esta variable en desviación de su correspondiente estado estacionario se hace ligeramente negativa indicando que el propietario estaría incentivado a conservar su encinar en estado estacionario puesto que percibiría mayores niveles de renta de capital privada a precios de mercado.

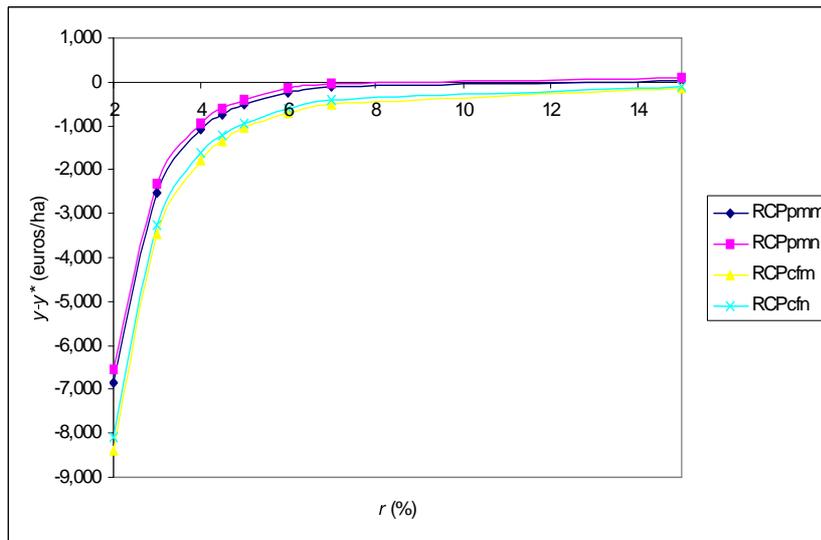
El análisis del resto de casos de estudio presenta un comportamiento privado más regular y generalizado. En ausencia de subvenciones, los propietarios de F2, F3 y F4 están incentivados a mantener el encinar en su estado actual y no en estado estacionario, y este incentivo es mayor si el aprovechamiento de bellota no se realiza en montanera. Esto lo indican las curvas asociadas a la RCPpmm y la RCPpmm, que para todas las tasas de descuento consideradas están por encima del eje horizontal, estando la mínima siempre por encima de la normal. La inclusión de subvenciones netas de explotación tiene un efecto positivo sobre la conservación del encinar al desplazar las distancias de RCP al cuadrante negativo. Las distancias asociadas a la RCPcf se encuentran siempre por debajo del eje de abscisas en F2-F4, estando las curvas normales por debajo de las mínimas. En otras palabras, la alternativa del encinar en estado estacionario es

⁹Muy superior al peso de las superficies en regeneración natural bajo una distribución de clases de edad sincronizada, $\frac{20}{250} = .08$.

más atractiva desde el punto de vista del propietario que la alternativa actual tanto si la gestión forestal es sustentable como no sustentable, y resulta aún más atractiva si la bellota se aprovecha en montanera.



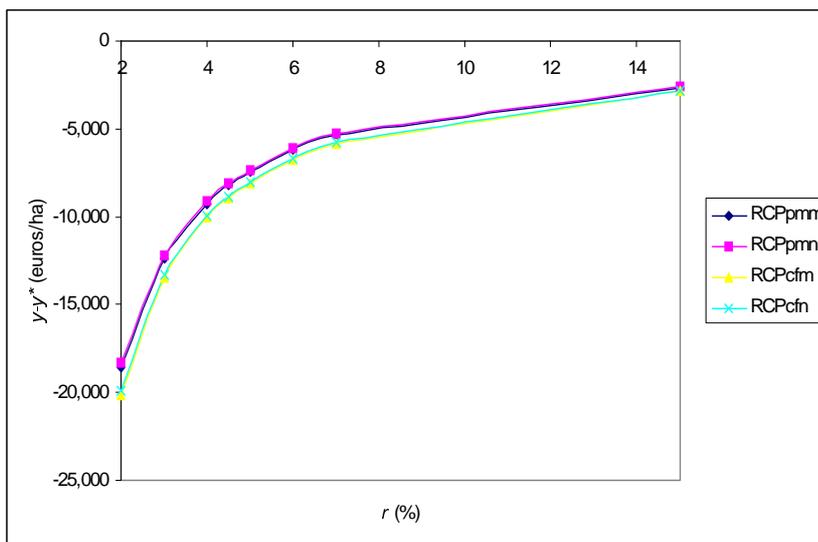
$$D_2^s(r)$$



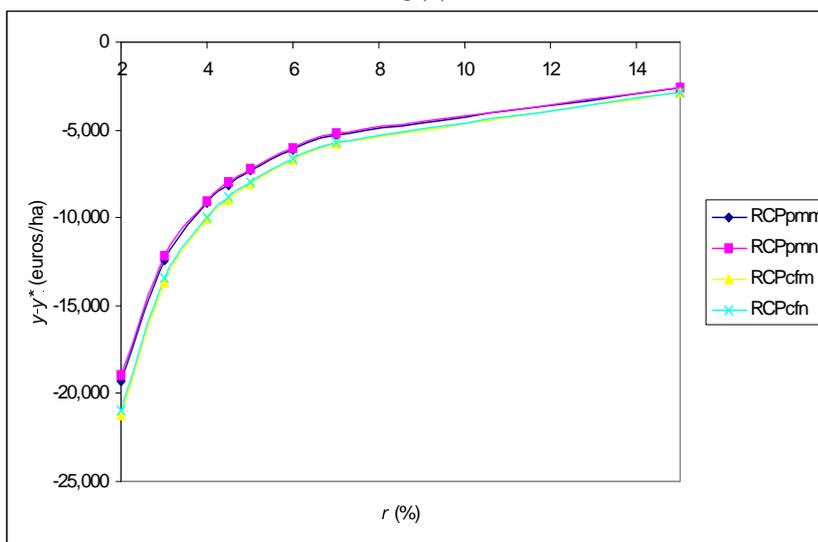
$$D_2^{s \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.8. Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.

Valores en euros/ha a precios de 1998.



$$D_4^s(r)$$



$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.8 (continuación). Rentas de capital privadas a precios de mercado (RCPpm) y a coste de los factores (RCPcf) en desviaciones del estado estacionario para cada finca bajo dos hipótesis de gestión forestal, en función de la tasa de descuento.

Valores en euros/ha a precios de 1998.

Las preferencias privadas acerca de la conservación del alcornoque en estado estacionario son claras. Bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales los propietarios de F2 y F4 preferirían que sus alcornoques

estuviesen en estado estacionario y no como se encuentran en la actualidad, independientemente del tipo de gestión forestal aplicada a las actuales distribuciones de edad, ya sea sustentable o no sustentable. Tan sólo en F2 y suponiendo niveles de descuento altos ($r = .15$), se obtienen valores positivos de la RCPpm en desviación de su correspondiente valor estacionario, no obstante, la inclusión de las subvenciones netas de impuestos ejerce un efecto positivo sobre las preferencias privadas acerca de la conservación del alcornocal en estado estacionario, al encontrarse las distancias asociadas a la RCPcf por debajo del eje de abscisas.

Como observación generalizada a ambos casos de estudio y tipos de gestión forestal, las distancias $D_j^s(r)$ y $D_j^{s-l}(r)$ asociadas a la RCPcf se encuentran siempre por debajo de las RCPpm, indicando que las pérdidas de renta en valor capital en las que se incurre por no estar en estado estacionario son mayores si se incluyen las SNI.

Por otro lado, la inclusión de rentas cinegéticas desplaza las curvas asociadas a la RCPpm y la RCPcf hacia arriba, indicando una menor distancia económica al estado estacionario. Al contrario que en el encinar, el tratamiento de la RCP en su nivel normal desincentiva, en términos relativos, la conservación del alcornocal en estado estacionario. En este caso, la actividad asociada al nivel normal entra en conflicto con el alcornocal durante el período de acotamiento al paso de ganado¹⁰ necesario para la regeneración del arbolado, ya sea mediante plantación artificial o regeneración natural.

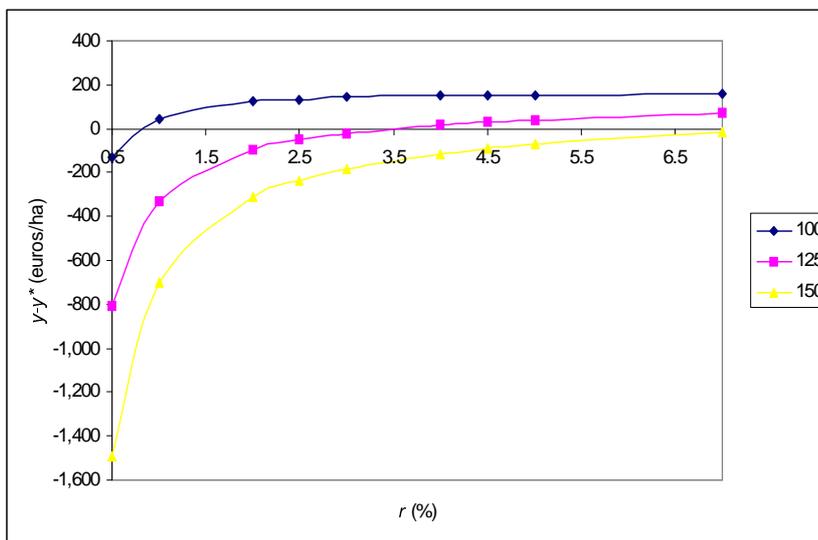
Comparando ambos casos de estudio, se observa que las pérdidas en las que incurre el propietario de F4 por no mantener su alcornocal en estado estacionario son notoriamente superiores a las del propietario de F2. Como se indicó en el análisis de las variables de interés social, la explicación reside en un mejor estado de F2 en términos de espesura y la reforestación con alcornoque llevada a cabo en F4 (ver Tabla 2.3), que hacen que la distancia económica al estado estacionario sea mayor en F4 que en F2, también desde la perspectiva ofrecida por la RCPpm y la RCPcf.

La Figura 2.9 presenta el análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera realizado sobre la RCPcf para el encinar de los cuatro casos de estudio. La observación general al conjunto de casos es que el aumento en el nivel de precio de este recurso forestal aumenta el incentivo a conservar el encinar en estado estacionario. En otras palabras, el aumento de precio de la reposición en montanera desplaza las distancias asociadas a la RCPcf hacia abajo.

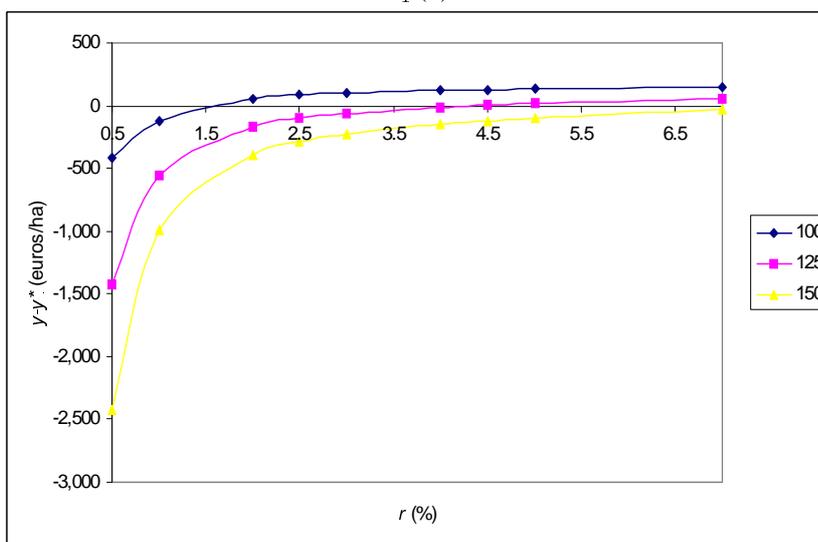
En ninguno de los casos, a excepción de F1, el aumento en el precio de la arroba repuesta en montanera produce cambios en el signo de esta variable evaluada en desviaciones de su correspondiente valor estacionario. En el caso de F1, se observa que la opción estacionaria es preferida a la actual para cualquiera de los niveles de descuento evaluados y ambos escenarios de gestión forestal, cuando el nivel del precio de la arroba de reposición es un 50 por ciento superior al registrado en el año 1998. Si alternativamente el aumento de precio es del 25

¹⁰Durante este período de 20 años el propietario no percibe la renta procedente del uso cinegético mayor.

por ciento, las tasas de descuento a partir de las cuales la opción actual ofrece mayores niveles de RCPcf que la estacionaria aumenta del 1 al 4 por ciento si la gestión forestal actual es sustentable, y del 2 al 4.5 por ciento, si la gestión es no sustentable.

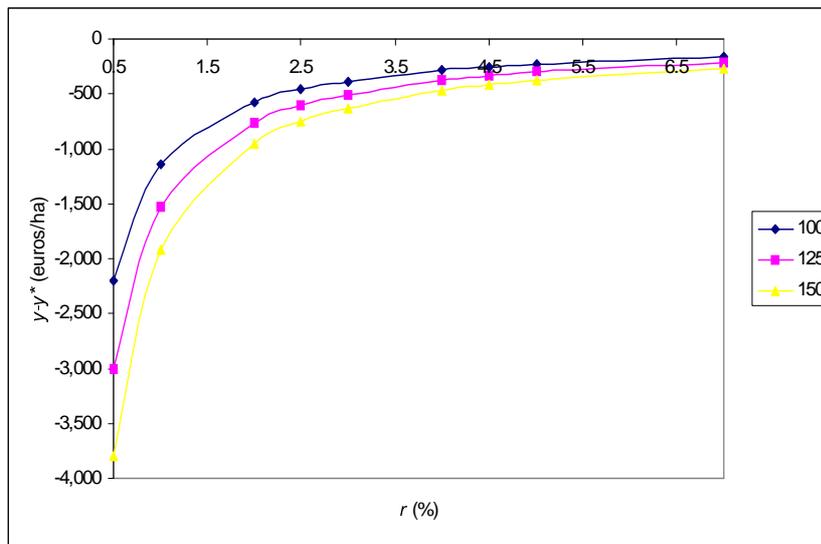


$$D_1^i(r)$$

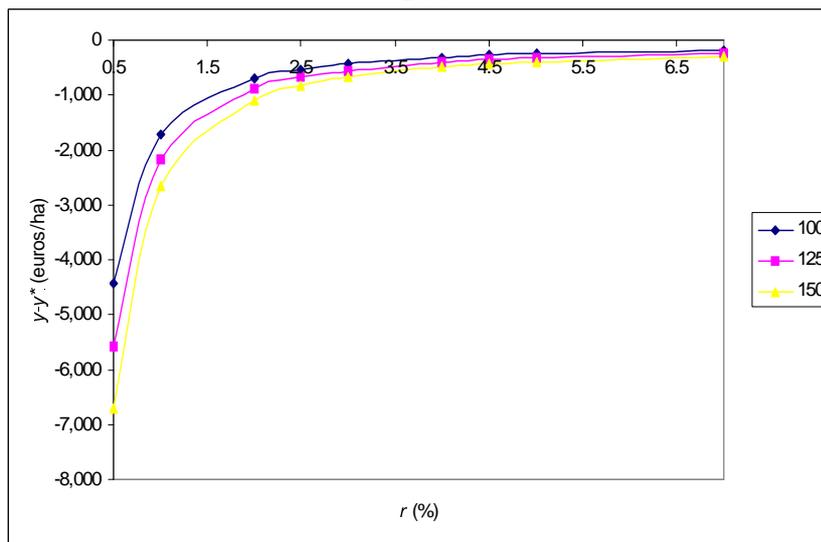


$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.9. Renta de capital privada a coste de los factores normal (RCPcfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.



$D_2^i(r)$

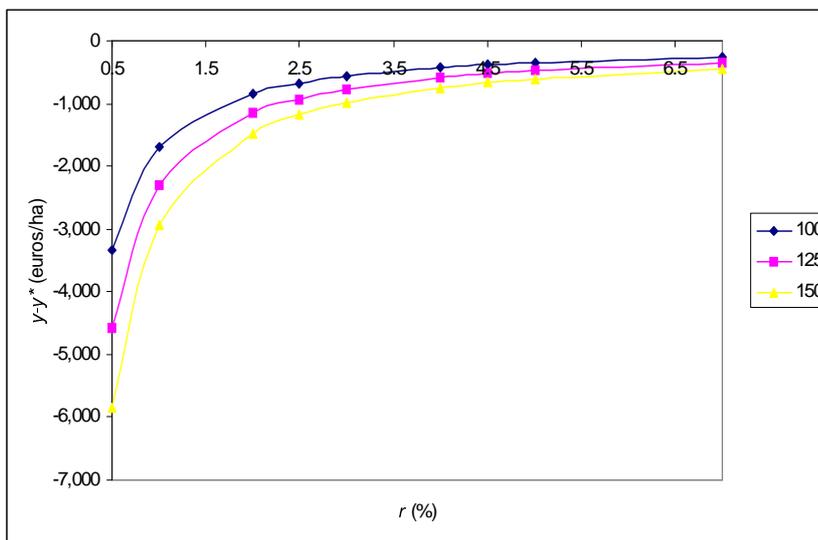


$D_2^{i \rightarrow m}(r)$

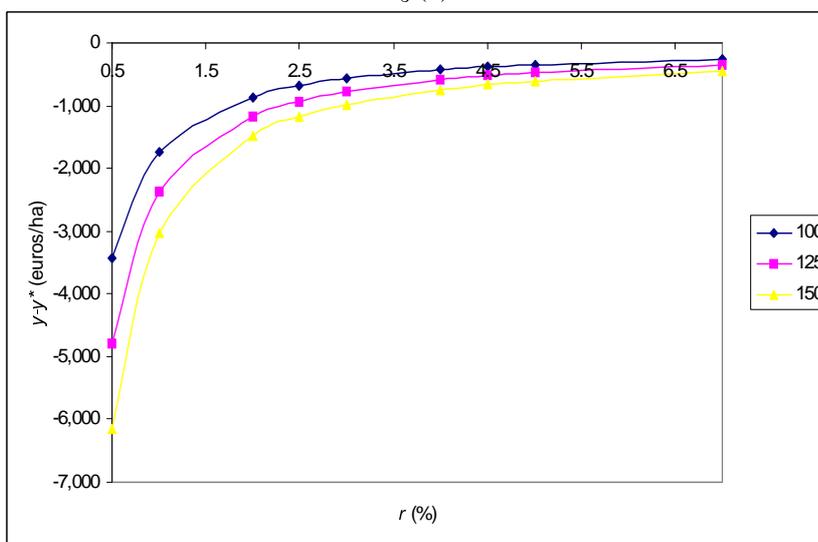
Figura 2.9 (continuación). Renta de capital privada a coste de los factores normal (RCPcfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.

Si se comparan las distancias $|D_j^i(r)|$ y $|D_j^{i \rightarrow l}(r)|$ evaluadas en la tasa de descuento más baja ($r = .005$) se obtienen resultados muy parecidos a los obtenidos en el análisis de la RTSn. El encinar de F1 es el caso más cercano al estado estacionario en términos de la RCPcfn, independientemente del nivel de precio

y la gestión forestal evaluada. Comparando los encinares de F3 y F4, el primero está más alejado del estado estacionario que el segundo en todos los casos salvo cuando a precios del año 1998, la gestión actual del encinar es no sustentable.

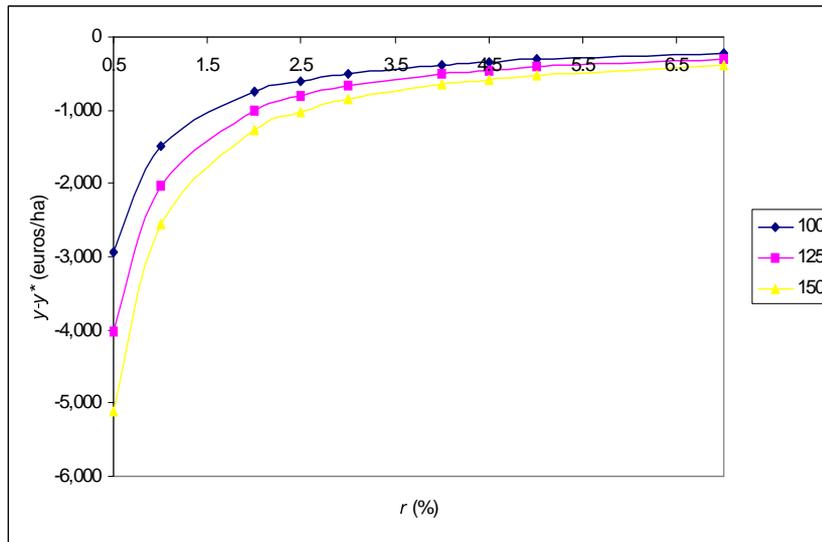


$$D_3^i(r)$$

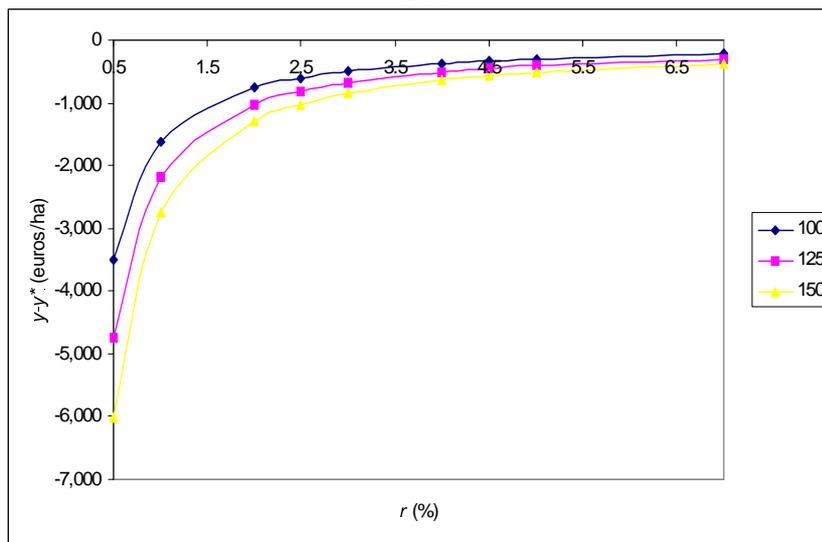


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

Figura 2.9 (continuación). Renta de capital privada a coste de los factores normal (RCPfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arropa repuesta en montanera.



$$D_4^i(r)$$

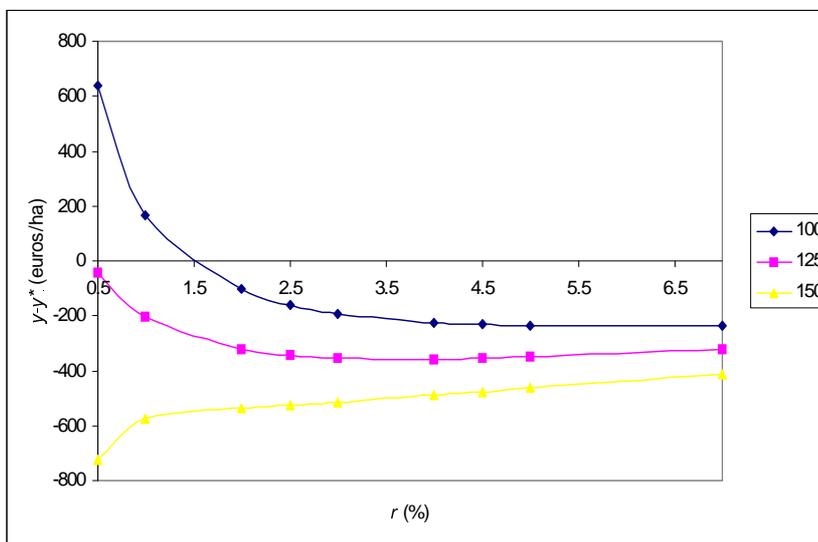


$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

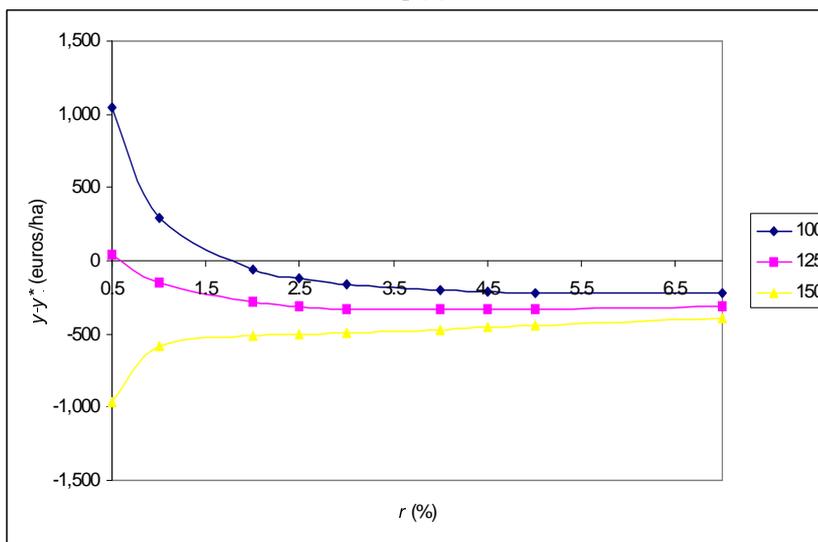
Figura 2.9 (continuación). Renta de capital privada a coste de los factores normal (RCPcfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.

La comparación de la magnitud de las distancias al estado estacionario en términos de la RCPcfn entre los encinares de F2 y los de F3 y F4 ofrece los mismos resultados que el análisis realizado en términos de la RTSn, al menos cuando la tasa de descuento es del .5 por ciento. El encinar de F2 está más

próximo al estado estacionario que los de F3 y F4 siempre y cuando la gestión forestal actual sea sustentable, en caso contrario, son los de F3 y F4 los más cercanos al estado estacionario.



$$D_1^i(r)$$

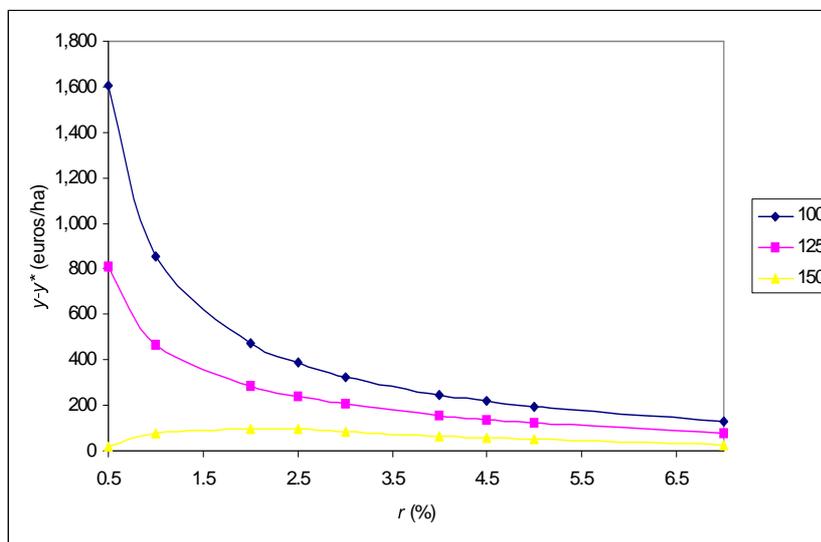


$$D_1^{i \rightarrow ct}(r)$$

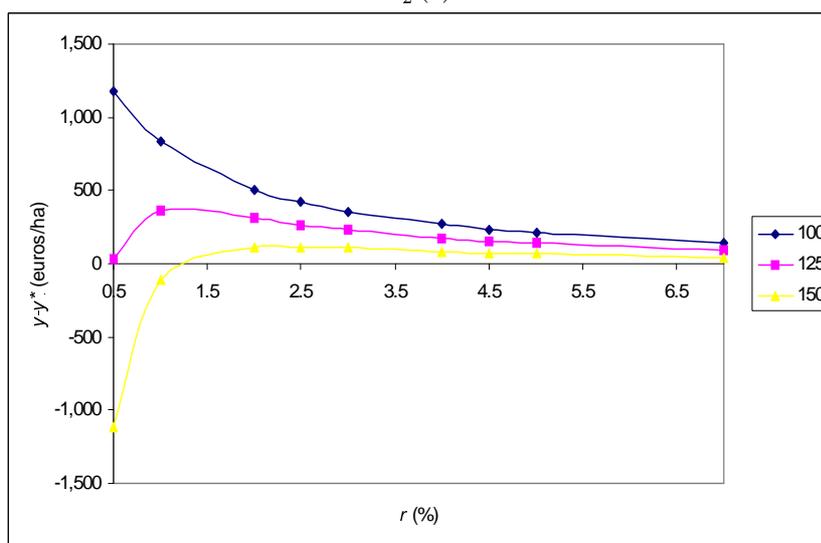
Figura 2.10. Renta de capital privada a precios de mercado normal (RCPpmm) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arropa repuesta en montanera.

La Figura 2.10 realiza análisis de sensibilidad en el precio de la arropa re-

puesta en montanera sobre la variable de RCPpmm en desviaciones de su correspondiente estado estacionario para el encinar de cada uno de los cuatro casos de estudio.



$$D_2^i(r)$$

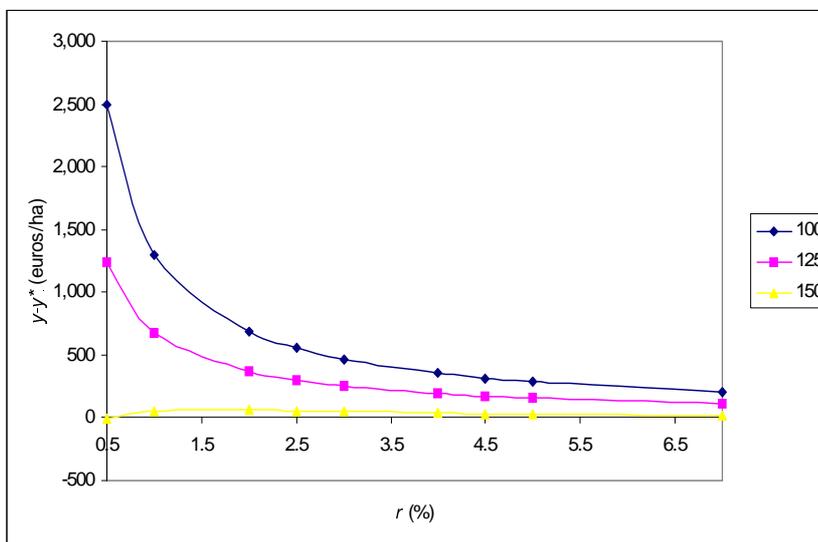


$$D_2^{i \rightarrow m}(r)$$

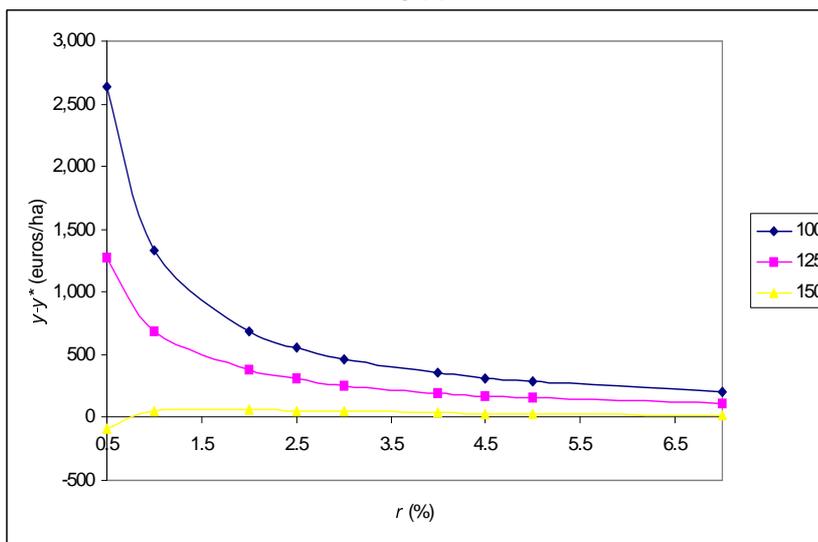
Figura 2.10 (continuación). Renta de capital privada a precios de mercado normal (RCPpmm) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.

Si las actuales distribuciones de clases de edad del encinar de F1 se gestionan

de manera sustentable, un aumento del 25 por ciento en el nivel de precio de reposición en montanera hace que la opción estacionaria sea preferida a la actual en todos los niveles de descuento evaluados.



$$D_3^i(r)$$

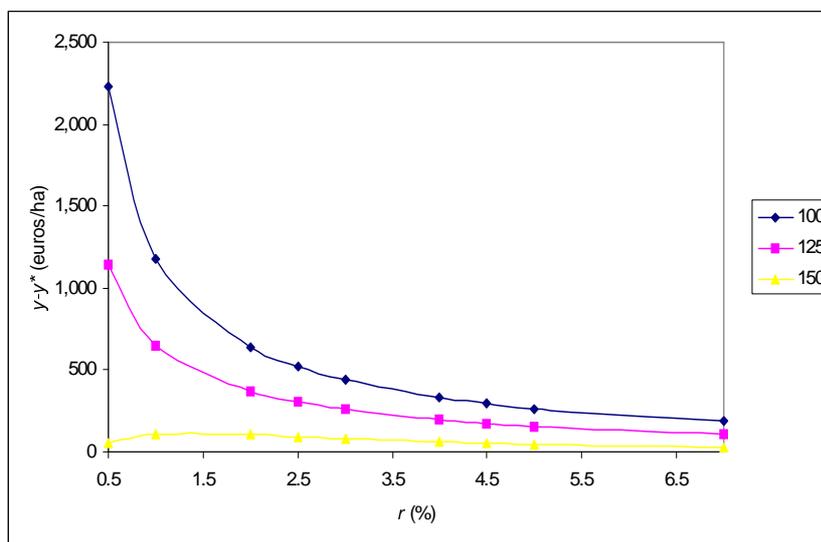


$$D_3^{i \rightarrow ct}(r)$$

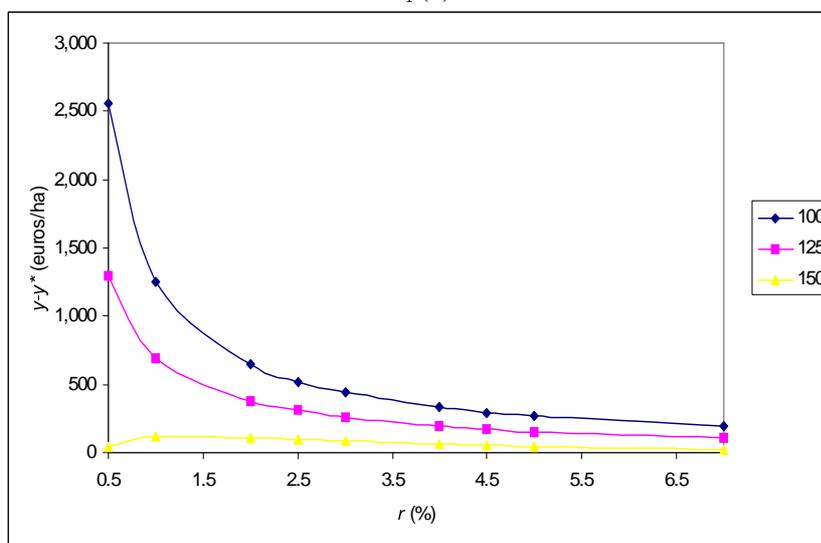
Figura 2.10 (continuación). Renta de capital privada a precios de mercado normal (RCPpmn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arropa repuesta en montanera.

Si el encinar de F1 se gestiona de manera no sustentable, la opción actual

sigue siendo preferida a la estacionaria para $r = .005$ cuando el nivel de precio del recurso en cuestión aumenta un 25 por ciento. Si el aumento alcanza el 50 por ciento, la opción del estado estacionario es preferida desde el punto de vista de la RCPpmm en todos los niveles de descuento considerados.

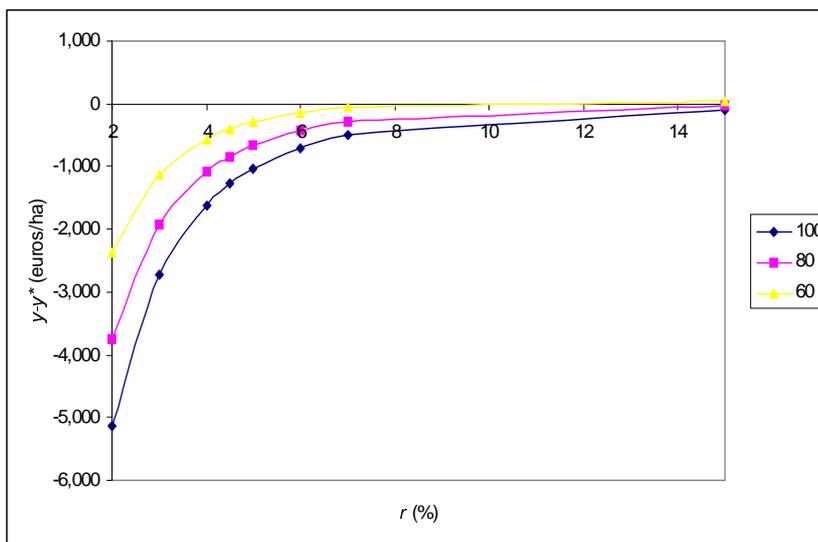


$$D_4^i(r)$$

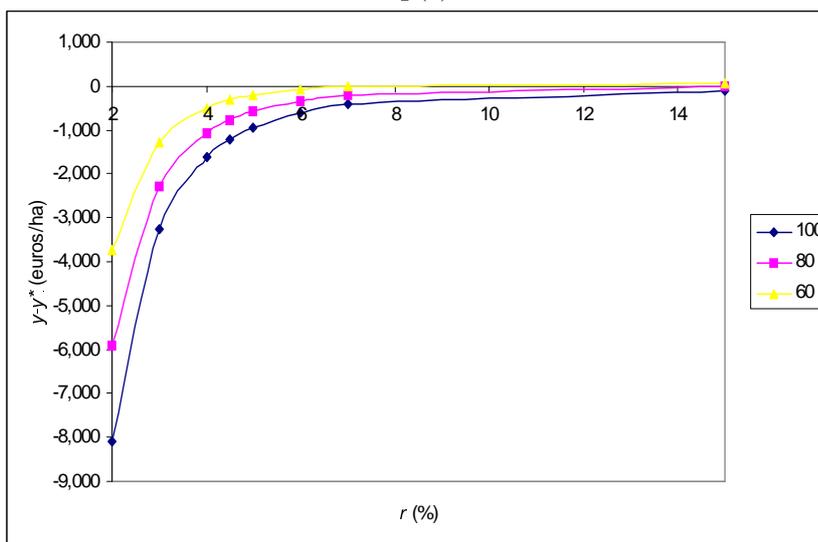


$$D_4^{i \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.10 (continuación). Renta de capital privada a precios de mercado normal (RCPpmm) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio de la arroba repuesta en montanera.



$$D_2^s(r)$$



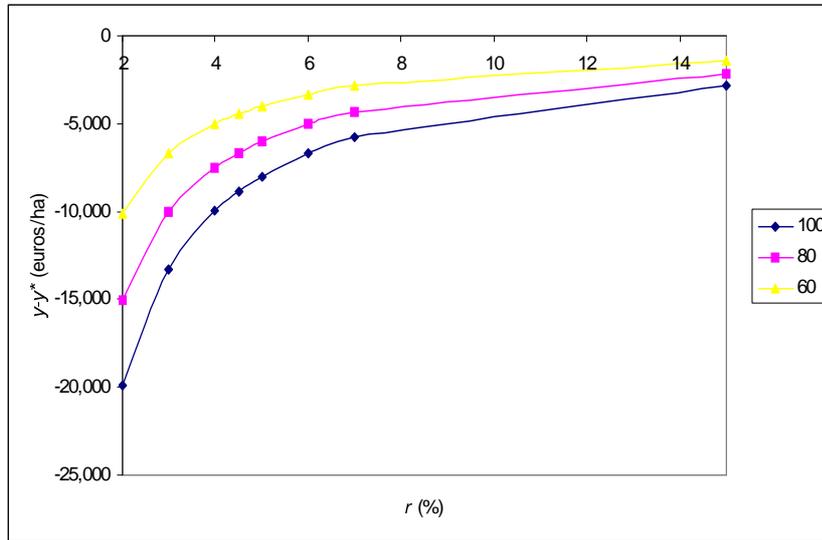
$$D_2^{s \rightarrow m}(r)$$

Figura 2.11. Renta de capital privada a coste de los factores (RCPcfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.

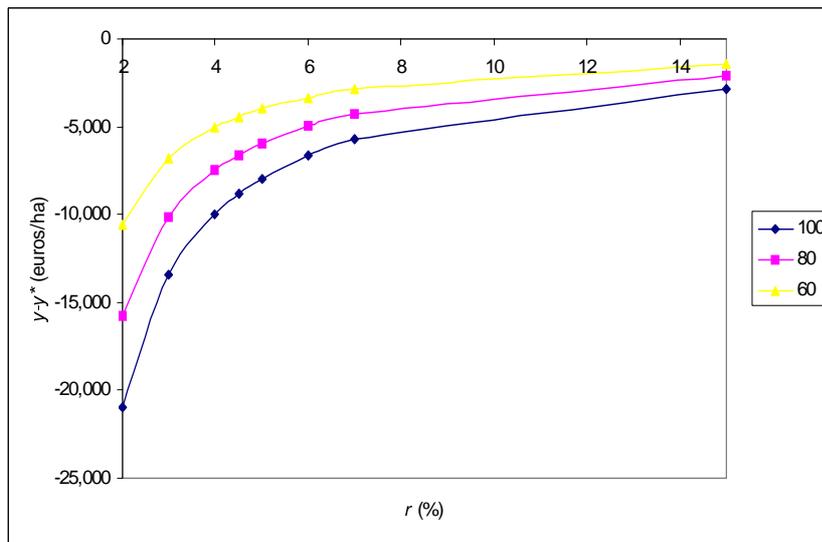
Tan solo en el encinar de F3 bajo los dos escenarios de gestión forestal ($r = .005$), y en el de F2 cuando la gestión actual es no sustentable ($r = \{.005, .01\}$), un aumento del 50 por ciento en el precio de la reposición en montanera es suficiente como para alterar el signo positivo de las distancias asociadas a la

RCPpmm.

Las Figuras 2.11 y 2.12 realizan análisis de sensibilidad en el precio del corcho sobre la RCPcfn y la RCPpmm evaluadas en desviaciones de sus correspondientes estados estacionarios para los alcornocales de F2 y F4.

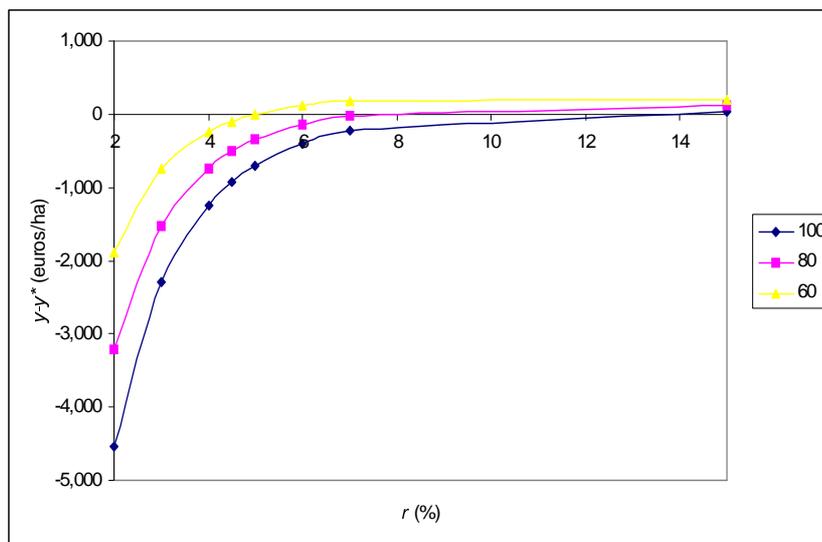


$$D_4^s(r)$$

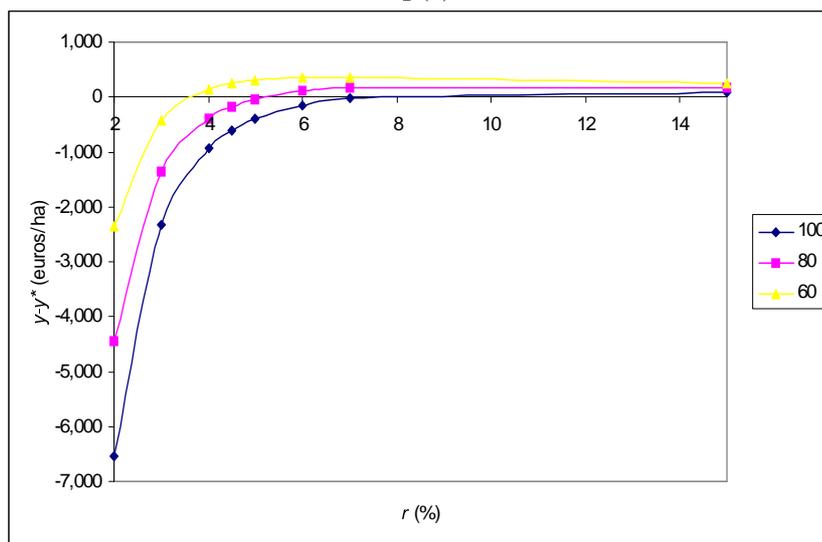


$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.11 (continuación). Renta de capital privada a coste de los factores (RCPcfn) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.



$$D_2^s(r)$$

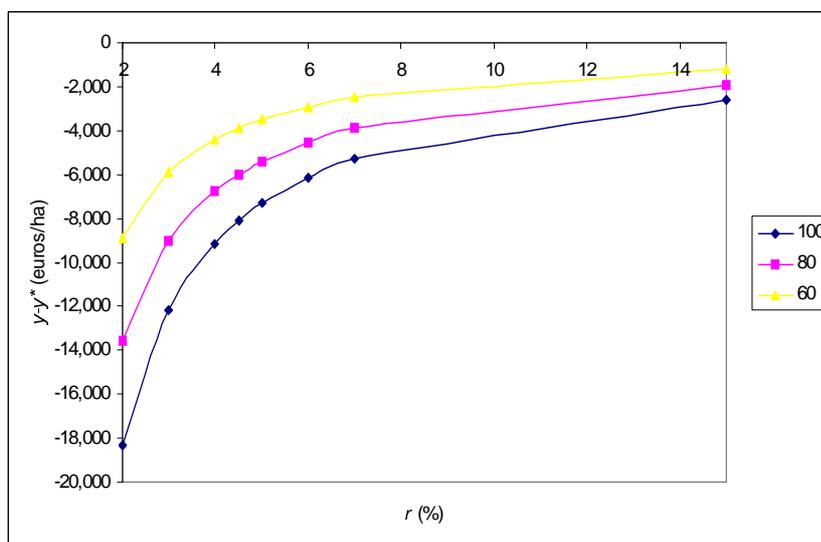


$$D_2^{s \rightarrow m}(r)$$

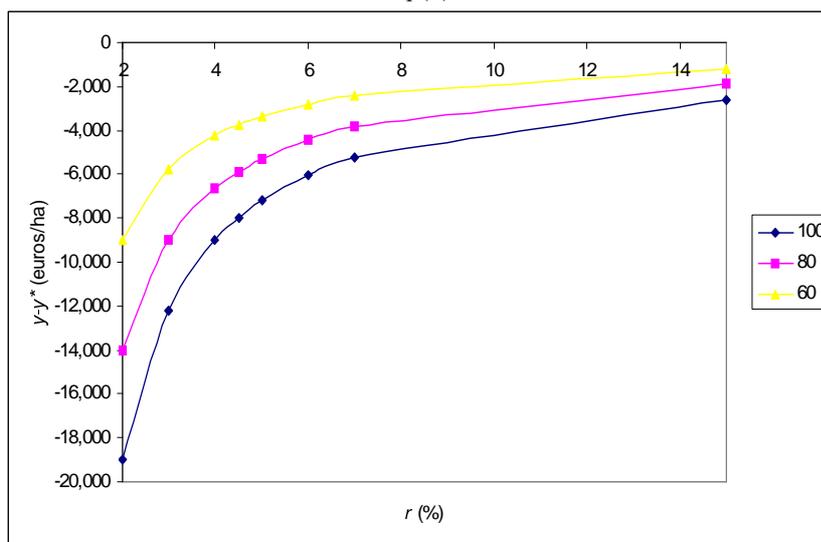
Figura 2.12. Renta de capital privada a precios de mercado (RCPpmm) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.

La RCPcfn en desviaciones de su correspondiente estado estacionario presenta generalmente valores negativos en ambos casos de estudio. Solo en F2 cuando el precio de corcho disminuye un 40 por ciento y la tasa de descuento evaluada es del 15 por ciento resulta la opción actual más atractiva que la esta-

cionaria.



$$D_4^s(r)$$



$$D_4^{s \rightarrow p}(r)$$

Figura 2.12 (continuación). Renta de capital privada a precios de mercado (RCPpmm) en desviaciones de su estado estacionario para cada finca bajo dos escenarios de gestión forestal. Análisis de sensibilidad en precio del corcho.

Las disminuciones en el precio del corcho evaluadas no son lo suficientemente importantes en F4 como para cambiar el signo negativo de la RCPpmm en desviaciones de su correspondiente estado estacionario, independientemente del

tipo de gestión forestal actual, ya sea sustentable o no sustentable. Se observa no obstante que las pérdidas en las que incurre el propietario por no mantener su alcornocal en estado estacionario son menores bajo un escenario de precios de corcho relativamente más bajos. Esto es, disminuciones en el nivel de precio de este recurso provocan desplazamientos hacia arriba de las distancias asociadas a la RCPpmn.

Cuando el alcornocal de F2 se gestiona de manera sustentable, una disminución en el precio del corcho del 40 por ciento aumenta el rango de tasas de descuento para las que la opción actual es preferida a la estacionaria. Además del 15 por ciento observado a precios del año 1998¹¹, se tienen las tasas del 5, 6 y 7 por ciento. Cuando la gestión forestal actual es no sustentable, una reducción en el precio del corcho del 20 por ciento añade las tasas del 6 y 7 por ciento, y del 4, 5, 6, y 7 por ciento cuando la disminución en el precio de este recurso es del 40 por ciento.

2.3.3 Evaluación económica de la finca de dehesa

El primer objetivo de este apartado consiste en estudiar para la finca de dehesa en su conjunto, si la alternativa de una gestión forestal sustentable ofrece o no mayores niveles de valor actual neto para la sociedad y los propietarios privados que la alternativa de no sustentabilidad forestal. Para ello, se calcula el valor capital de cada una de las fincas de estudio en su estado actual tanto bajo la hipótesis de una gestión forestal sustentable como no sustentable y se evalúa la diferencia entre ambos valores. A partir de las expresiones en (2.50) puede calcularse dicha diferencia.

$$D_j(r) = V_j(r) - V_j^l(r) \quad \forall j \in \{1, \dots, 4\} \quad (2.57)$$

Evaluando y representado gráficamente $D_j(r)$ para las diferentes tasas de descuento (supuesto **S0**, apartado 1.8) y un grupo de variables de renta salarial, social y privada, pueden identificarse las preferencias del propietario y el conjunto de la sociedad sobre la conservación de las dehesas bajo las condiciones actuales de mercado e intervención pública. En este caso, valores por encima del eje x indican preferencia social/privada por una gestión forestal sustentable en la dehesa.

En primer lugar se estudia el caso del planificador central a través de las variables MO, RCSn y RTSn. El análisis de la RCPcf y la RCPpm en sus niveles mínimo y normal permite estudiar las preferencias de un propietario bajo las actuales condiciones de mercado e intervención pública y alternativamente bajo un escenario sin intervención pública en la forma de impuestos y subvenciones.

Finalmente se analiza el valor capital de la RCPpm de la hectárea media de dehesa evaluado en las tasas de descuento 2, 3, 4, 4.5, 5 y 7 por ciento para cada una de las cuatro fincas de estudio. El objetivo es aproximar la tasa de rentabilidad exigida por los agentes que operan en el mercado de la

¹¹ También cuando el precio del corcho disminuye un 20 por ciento.

tierra de dehesa, o dicho de otro modo, la tasa de descuento implícita en dicho mercado. Para ello se comparan los valores capitales de esta variable de renta privada con el valor que resulta de la ponderación según distribución de uso del suelo registrada en inventario forestal, de los diferentes precios de mercado disponibles.

La información numérica resultante de la evaluación de las diferencias $D_j(r)$ para el conjunto de variables de renta social y privada descritas en la Tabla 1.3, y las tasas de descuento consideradas (supuesto **S0**, apartado 1.8) se encuentra en las Tablas del Apéndice, Anexos 4a-II (fincas F1 y F3) y 4b-II (fincas F2 y F4). Los valores capitales de cada una de las fincas de dehesa, $V_j(r)$ y $V_j^l(r)$, evaluados para el conjunto de tasas de descuento mencionado en el párrafo anterior y las diferentes variables de renta social y privada se registran en los Anexos 5a-II (gestión forestal sustentable) y 5b-II (gestión forestal no sustentable).

Los agentes sociales

La Figura 2.13 representa las diferencias en valor capital de la RCS, la RTS y la MO derivadas de la comparación de un escenario sustentable en el que las selviculturas del arbolado incluyen los tratamientos de regeneración natural continuada, $V_j(r)$, frente a otro no sustentable que permite la eventual desaparición de los árboles en la dehesa, $V_j^l(r)$. Cada uno de los gráficos de la Figura 2.13 corresponde a una de las cuatro fincas de estudio.

La primera observación más general es que la opción sustentable es siempre preferida a la no sustentable desde el punto de vista de las rentas salariales, siendo las fincas en las que el alcornocal está presente (F2 y F4), las que más ganan en términos de rentas de trabajo si la gestión forestal aplicada es sustentable. Los supuestos de uso del suelo de transición (supuesto **S5**, apartado 1.8), es decir, el uso del suelo desarbolado que tiene lugar una vez que el arbolado desaparece por mortalidad natural, son consistentes con esta observación. A las fincas F1 y F3 corresponde el cultivo al tercio de cereal mientras que son el matorral y el pastizal los usos del suelo supuestos en F2 y F4 respectivamente. Las rentas salariales estimadas para el cultivo al tercio de cereal son positivas, no obstante, las asociadas al matorral y el pastizal se han estimado nulas. Consecuentemente, bajo una gestión forestal no sustentable la aportación de rentas de trabajo será siempre inferior en los casos con $l = \{m, p\}$.

El análisis comparado de los pares de fincas de encinar puro, F1 y F3, así como en las que además existe alcornocal, F2 y F4, revela lo siguiente. Las ganancias en rentas salariales derivadas de una selvicultura de regeneración natural continuada son mayores en F1 que en F3. En las fincas con alcornocal, estas ganancias en valor capital de las rentas de trabajo son más elevadas en F4 que en F2.

Comparando estas regularidades con los indicadores físicos registrados en la Tabla 2.3, se observa que en los casos de encinar, las mayores ganancias en renta salarial derivadas de una gestión forestal sustentable coinciden con un acusado índice de envejecimiento de la masa forestal que abarca más del 30 por ciento de la superficie normalizada de encinar, no obstante un estado saludable en tér-

minors de espesura ($\alpha_{i,1} = .88$), una importante plantación artificial con encina ($\rho_{i,1} = .48$) y la presencia moderada de regeneración natural no intencionada del arbolado ($\pi_{i,1} = .03$).

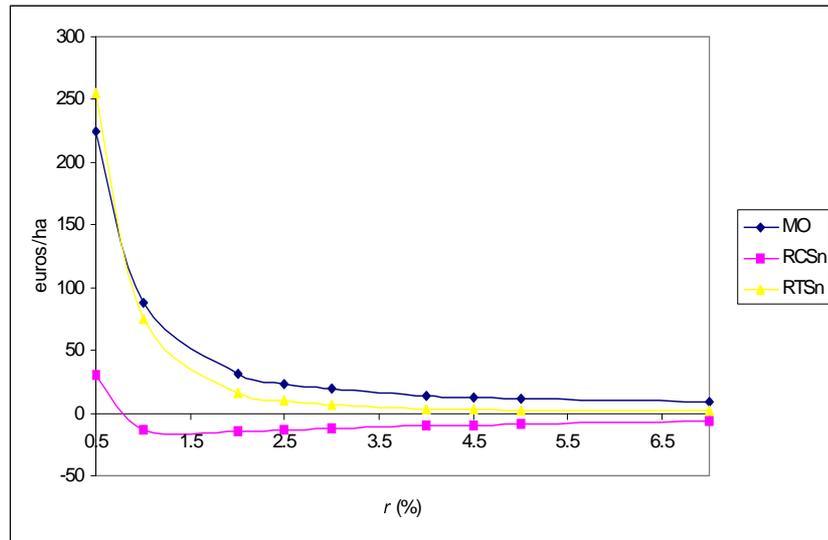
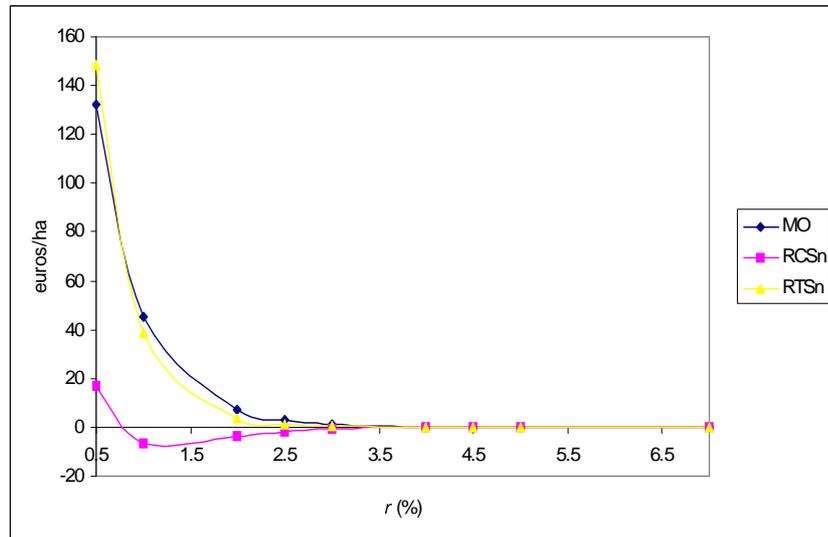
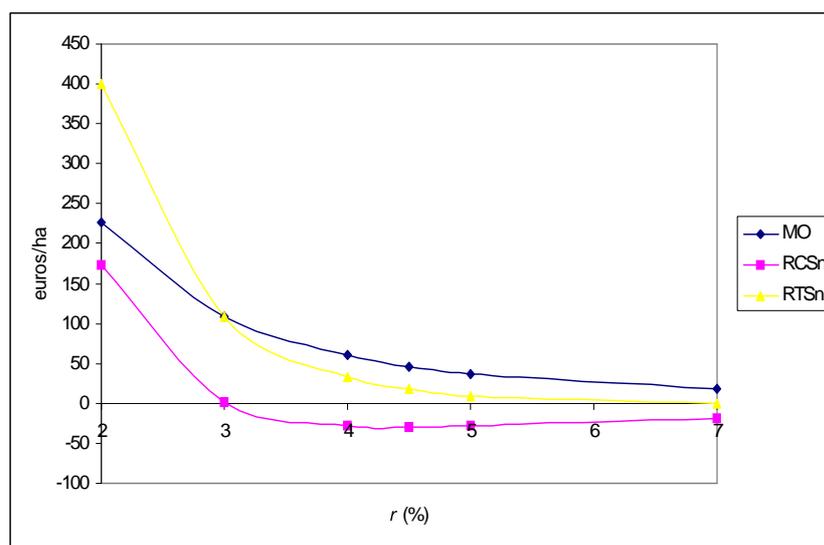
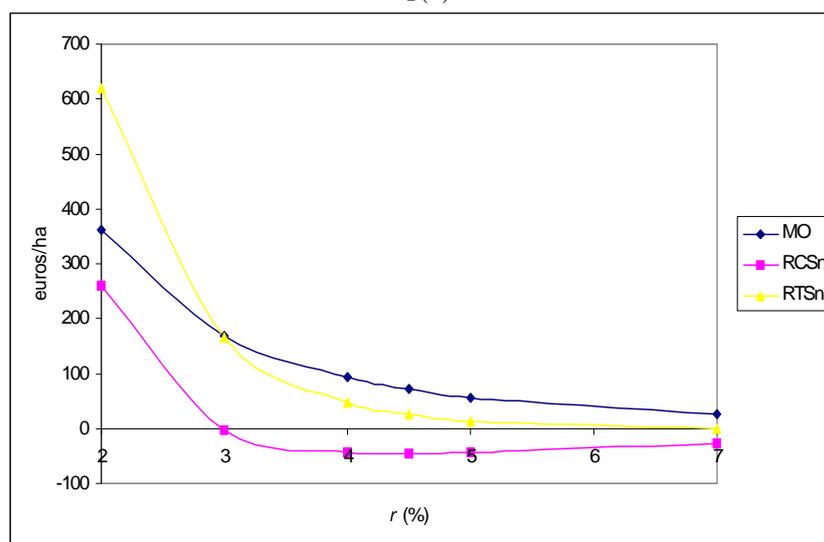

 $D_1(r)$

 $D_3(r)$

Figura 2.13. Diferencias $D_j(r)$ evaluadas para la renta salarial (MO), renta de capital social normal (RCSn) y renta total social normal (RTSn), en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.



$D_2(r)$



$D_4(r)$

Figura 2.13 (continuación). Diferencias $D_j(r)$ evaluadas para la renta salarial (MO), renta de capital social normal (RCSn) y renta total social normal (RTSn), en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

Respecto a F2 y F4, las mayores ganancias en rentas salariales coinciden con un peor estado de la masa forestal en términos de espesura y una reforestación con encina y alcornoque sobre aproximadamente el 2 y el 12 por ciento de las superficies normalizadas de encinar y alcornocal respectivamente.

Las diferencias $D_j(r)$ asociadas a la RTSn son mayoritariamente positivas,

tan sólo se observan valores negativos en las fincas con alcornocal F2 y F4 cuando la tasa de descuento es del 7 por ciento.

Cuando se evalúan las diferencias en términos de la RTSm en las fincas de encinar F1 y F3 (ver Anexo 4a-II), se observa que la gestión forestal que mayores niveles de renta total social aporta es la sustentable, salvo cuando la tasa de descuento evaluada es del .5 por ciento, en este caso, la alternativa no sustentable es más atractiva tanto en F1 como en F3.

En términos de la RCS, la opción no sustentable resulta generalmente más atractiva que la sustentable. Tan sólo se observan valores positivos de las diferencias asociadas a esta variable en F1 y F3, cuando la bellota se aprovecha en montanera y la tasa de descuento es del .5 por ciento, y en F2 y F4 cuando además de aprovecharse la bellota de encina en montanera tiene lugar aprovechamiento cinegético mayor y la tasa de descuento es del 2 y 3 por ciento en F2 y del 2 por ciento en F4.

En la finca de dehesa F3 se produce una situación de indiferencia entre el tipo de gestión forestal cuando la tasa de descuento es del 7 por ciento, esto sucede tanto desde el punto de vista de la RCS como de la RTS, e independientemente del nivel de renta evaluado, mínimo o normal (ver Anexo 4a-II).

En F1 y F2, se produce una peculiaridad en términos de la renta de capital ambiental, RCA, que ofrece mayores niveles bajo una gestión forestal no sustentable cuando la tasa de descuento evaluada es del 7 por ciento (ver Anexo 4a-II y 4b-II). La explicación reside en los ingresos ambientales procedentes del consumo de bellotas de encina por la fauna salvaje (ver expresión (1.1) y supuesto **S2**, apartado 1.8). A una tasa de descuento anual del 7 por ciento se penaliza notoriamente el futuro. Dada la propia naturaleza de las selviculturas adoptadas, es perfectamente posible que en el corto plazo se registren mayores producciones de bellota bajo un escenario de gestión forestal no sustentable. Esto es, en ausencia de cortas de regeneración natural, las encinas adultas siguen produciendo por un período de hasta 70 años, mientras que en la opción sustentable, una parte de la producción actual de bellota ha de sacrificarse en beneficio de la continuidad del arbolado, al menos temporalmente hasta que el regenerado natural alcanza su madurez productiva. Pues bien, esto es precisamente lo que sucede en estos dos casos de estudio. La distribución de clases de edad del arbolado de F1 y F2 aporta un mayor valor capital de ingresos ambientales procedentes del consumo de bellotas por la fauna salvaje cuando no tiene lugar el regenerado natural continuado de las masas de encinar y alcornocal existentes y la tasa de descuento es del 7 por ciento. Estos dos casos de estudio registran además los mejores resultados en términos relativos de espesura tanto en el encinar como en el alcornocal (*cf.* Tabla 2.3).

Finalmente señalar que las ganancias o pérdidas derivadas de una gestión forestal sustentable son siempre mayores en F1 que en F3 en términos tanto de la RCS como de la RTS. Si alternativamente se comparan los dos casos de estudio con alcornocal, las ganancias o pérdidas derivadas de una gestión forestal sustentable son siempre superiores en F4 para las mencionadas variables de renta social.

Los agentes privados

En este apartado se presentan los resultados de las diferencias $D_j(r)$ para las variables de renta privada. En particular, se evalúan las diferencias para la renta de capital privada a coste de los factores y a precios de mercado en sus niveles mínimo y normal. La Figura 2.14 representa los resultados correspondientes a cada una de las fincas de estudio.

El rasgo más destacable en todos los casos de estudio es que las diferencias $D_j(r)$ de la RCPcf son mayoritariamente superiores a las mismas de la RCPpm (Anexos 4a-II y 4b-II, y Figura 2.14). En ningún caso llegan a estar por encima las curvas asociadas a la RCPpm, y por tanto, el caso de selección adversa observado en F1 cuando se contrasta la gestión forestal actual de su encinar con un escenario de sustentabilidad forestal estricta (estado estacionario), no es aplicable al conjunto de la finca incluidos todos sus usos del suelo. Tan solo en F3 cuando la tasa de descuento es del 7 por ciento se tiene que las diferencias asociadas a la RCPpm y la RCPcf coinciden estrictamente siendo su valor igual a cero. En esta finca se observa además que las diferencias asociadas a la RCPpm en su nivel mínimo y normal coinciden para tasas de descuento del 4.5, 5 y 7 por ciento. Igual ocurre en el caso de la RCPcf, no obstante a las tasas de descuento del 5 y 7 por ciento. Es decir, la inclusión del aprovechamiento de bellota en montanera no modifica en F3 las ganancias o pérdidas privadas derivadas de una gestión forestal sustentable a las tasas de descuento mencionadas.

Las coincidencias en la evolución de las diferencias asociadas a las rentas de capital privadas a coste de los factores y a precios de mercado en sus niveles mínimo y normal sólo aparecen en los casos F1 y F3. En el párrafo anterior se mencionan las coincidencias estrictas. No obstante se observan ejemplos adicionales en los que bien en niveles (mínimo y normal), o en términos de la inclusión o no de subvenciones netas de impuestos, la evolución de las diferencias asociadas a estas variables de renta privada es aproximadamente la misma. De esta manera se tiene que en F1 y en F3, tanto las curvas asociadas a la RCPcf como a la RCPpm presentan para tasas del 2.5 por ciento en adelante, una evolución de sus niveles mínimo y normal muy próxima. En F3 además, esta coincidencia se extiende al conjunto completo de variables siendo las diferencias asociadas a las cuatro variables prácticamente nulas para tasas de descuento del 4 por ciento y superiores (*cf* Figura 2.14). En otras palabras, para los propietarios de F1 y F3, maximizadores bien de RCPcf o RCPpm, la inclusión del aprovechamiento de bellota de encina en montanera no modifica sus preferencias acerca del tipo de gestión forestal cuando sus exigencias de rentabilidad real son de al menos el 2.5 por ciento y año. Adicionalmente, el propietario de F3 que descuenta el futuro a tasas del 4 por ciento o superiores es esencialmente indiferente en el tipo de gestión forestal independientemente de la inclusión o no de subvenciones netas de impuestos en su variable de decisión.

En las fincas F1 y F3, la presencia de ayudas a la reforestación y regeneración natural incentiva la sustentabilidad forestal de la dehesa en todos los niveles de descuento salvo cuando $r = .005$. En ausencia de subvenciones netas de impuestos una gestión forestal no sustentable es siempre preferida desde el

punto de vista privado puesto que ofrece mayores niveles de RCPpm, excepto la mencionada excepción de F3 ($D_3(.07) = 0$ para las cuatro variables de renta de capital privada consideradas).

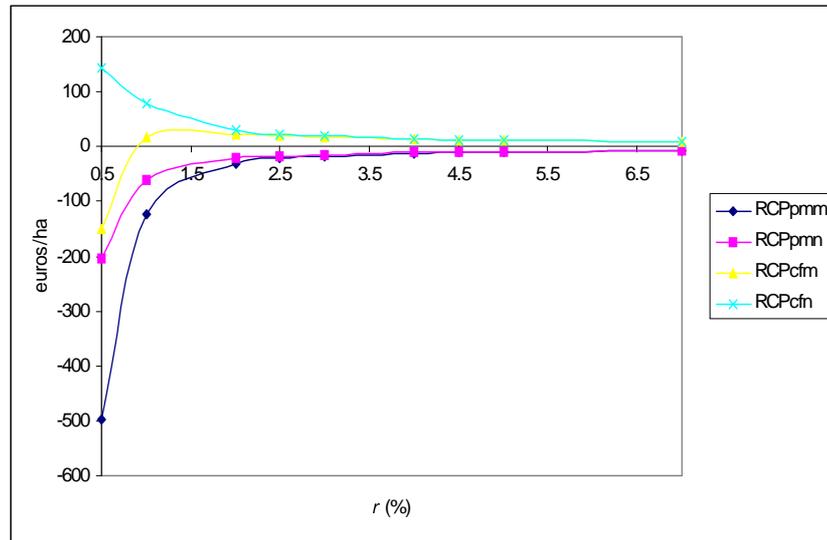
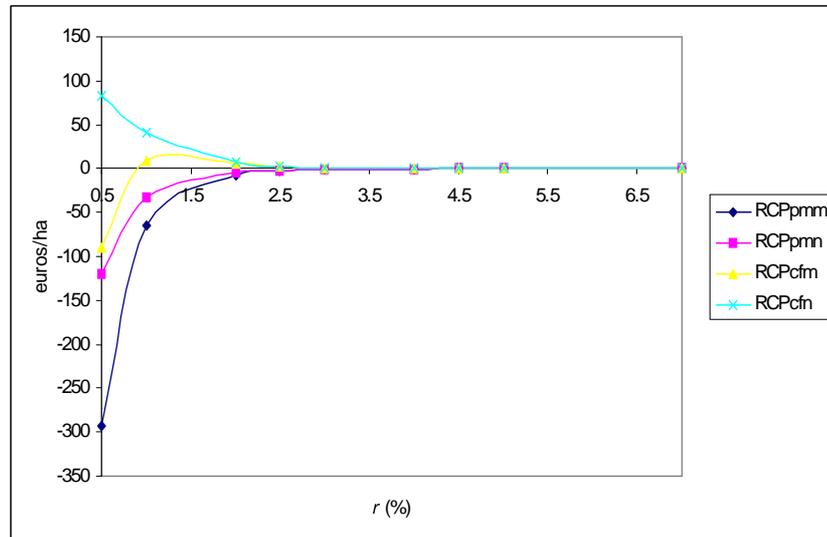
 $D_1(r)$  $D_3(r)$

Figura 2.14. Diferencias $D_j(r)$ evaluadas para la renta de capital privada a coste de los factores (RCPcf) y a precios de mercado (RCPpm), en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

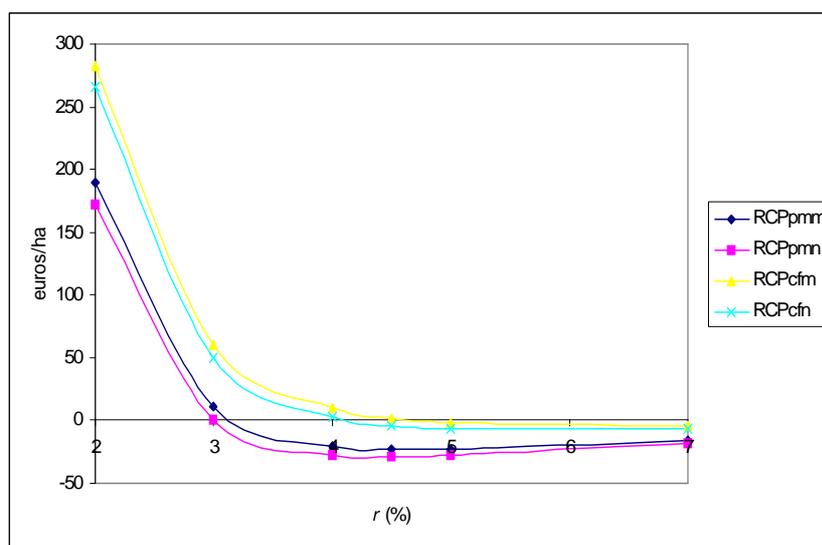
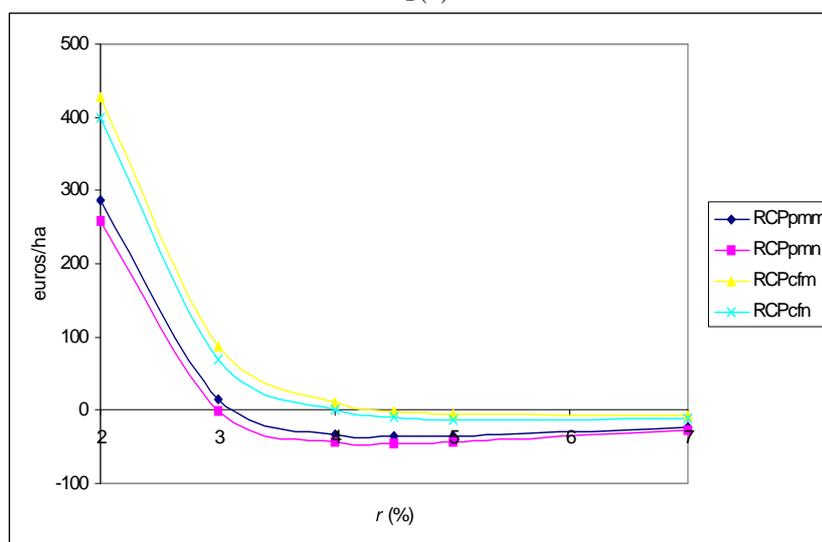
 $D_2(r)$  $D_4(r)$

Figura 2.14 (continuación). Diferencias $D_j(r)$ evaluadas para la renta de capital privada a coste de los factores (RCPcf) y a precios de mercado (RCPpm), en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios de 1998.

En los casos de estudio con alcornocal, el propietario de F2 estaría incentivado a aplicar la regeneración natural continuada del arbolado incluso en ausencia de subvenciones si descontase el futuro a tasas del 3 por ciento anual o inferiores. Igual sucede en F4 cuando no hay aprovechamiento cinegético mayor (escenario de renta mínima) y a tasas del 2 por ciento o inferiores cuando si hay

aprovechamiento cinegético mayor (escenario de renta normal). La evaluación de la RCPcf indica que bajo un escenario de renta normal, tasas del 4.5 por ciento o superiores hacen la opción no sustentable más atractiva que la sustentable en F2, y del 4 por ciento o superiores en F4. En términos de la RCPcf en su nivel mínimo, la opción sustentable ofrece mayores niveles de renta siempre y cuando la rentabilidad exigida sea igual o inferior al 4.5 por ciento en F2, e igual o inferior al 4 por ciento en el caso de F4.

En los casos F1 y F3, las ganancias en RCPcf derivadas de una gestión sustentable de sus encinares son generalmente superiores si el aprovechamiento de bellota se realiza en montanera. Contrariamente, las pérdidas en RCPpm resultantes de la aplicación de una gestión forestal sustentable son mayoritariamente superiores en ausencia de aprovechamiento de bellota en montanera. De este modo puede decirse que el aprovechamiento de bellota en montanera hace la alternativa de regeneración natural continuada más atractiva que en el caso alternativo en el que la producción de bellota deriva en un nivel menor de ingresos comerciales.

No ocurre así en F2 y en F4 donde los ingresos comerciales procedentes del alcornocal *mandan* sobre los del encinar. En ambos casos, el escenario de renta normal, que además del aprovechamiento de bellota de encina en montanera incluye el aprovechamiento cinegético mayor, es más favorable a una gestión de no regeneración natural continuada del arbolado. En estos casos de estudio, las ganancias privadas derivadas de una gestión forestal sustentable del arbolado son superiores bajo un contexto de renta mínima. Las pérdidas no obstante son siempre mayores en una situación de renta normal.

El mercado

Conocidos los diferentes usos del suelo de cada finca así como su distribución, el objetivo de este apartado consiste en ofrecer un marco metodológico que permita aproximar por un lado el precio de mercado de la hectárea media de dehesa y por otro, la rentabilidad real mínima exigida por un potencial propietario o comprador de dehesa.

El precio de mercado de la hectárea media de dehesa se calcula ponderando los precios de mercado observados¹² por sus correspondientes pesos en términos de la distribución de usos del suelo registrada en el inventario forestal de cada finca. Considerando cada una de las columnas de la Tabla 2.4 como vectores 5×1 , (\mathbf{p} : vector de precios; ρ_j : vectores de pesos de superficie) puede estimarse dicho valor de mercado para cada una de las fincas de dehesa estudiadas mediante el siguiente producto.

$$\hat{p}_j = \mathbf{p}' \cdot \rho_j \quad \forall j \in \{1, \dots, 4\} \quad (2.58)$$

¹²Estos precios proceden de encuestas realizadas a corredores de fincas de la comarca de Monfragüe, y corresponden al año 1998: Pedro Bueno (Comunicación personal, 1998) e Inmobiliaria Caballero (Comunicación personal, 1998).

2.3. OBTENCIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 97

La Tabla 2.4 muestra el conjunto de precios de mercado disponibles así como la distribución de usos del suelo observada en cada uno de los casos de estudio.

Tabla 2.4. Precios de mercado observados y distribución de usos del suelo según inventarios forestales de cada finca.

Usos del suelo	Finca	Precios euros/ha	Usos del suelo			
			F1	F2	F3	F4
Notación vectorial		\mathbf{p}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4
Pastizales con encina		2,554.30	.50	.07	.85	.28
Pastizales con alcornoque		3,155.31	-	.09	-	.39
Pastizales desarbolados		1,502.53	.39	.12	.05	-
Matorrales desarbolados		901.52	-	.72	-	.31
Cultivo al tercio		1,803.04	.11	-	.10	.02
Total			1.00	1.00	1.00	1.00

La disponibilidad de precios de mercado de encinar y alcornocal es lo suficientemente limitada como para no poder registrar variaciones en función del estado físico de la masa forestal. Los precios de la Tabla 2.4 asociados al uso arbolado representan una hectárea media de encinar y alcornocal con espesuras generalmente inferiores a las establecidas en los ciclos selvícolas teóricos (*cf.* valores del indicador α en la Tabla 2.3). De este modo, la estimación del precio de mercado considera en la ponderación las superficies observadas a partir del inventario forestal y no las resultantes del proceso de normalización descrito en la metodología. La Tabla 2.5 muestra los pesos normalizados de usos del suelo arbolado y desarbolado para cada finca. Las diferentes clases diamétricas y de circunferencia observadas han sido agregadas en cuatro usos del suelo arbolado, diferenciando dentro de las superficies de encinar y alcornocal las superficies reforestadas en el año 1995.

Tabla 2.5. Pesos de superficie normalizada según usos del suelo.

Usos del suelo	F1	F2	F3	F4
Pastizales con encinas	.23	.03	.16	.08
Pastizales con alcornoque	-	.07	-	.11
Pastizales desarbolados	.45	.18	.74	.46
Matorrales desarbolados	-	.72	-	.32
Cultivos desarbolados	.11	-	.10	.02
Reforestación encina, año 1995	.21	-	-	.0016
Reforestación alcornoque, año 1995	-	-	-	.01
Total	1.00	1.00	1.00	1.00

El uso de estos pesos normalizados no resulta apropiado para el conjunto de información de precios de mercado disponible. Su introducción en (2.58) otorgaría mayor importancia al uso de pastizal desarbolado (*cf.* Tablas 2.4 y 2.5), incurriendo en una infravaloración del precio de mercado y consecuentemente, una sobrestimación de la rentabilidad mínima exigida o la tasa de descuento aplicada en el mercado de la tierra de dehesas, al ser el valor de mercado del

pastizal desarbolado notoriamente inferior al del pastizal arbolado (columna **p** en Tabla 2.4).

Si por otro lado se supone que el agente privado forma sus expectativas de precio de dehesa a partir del valor capital esperado de los rendimientos económicos derivados de este activo, el siguiente paso consiste en determinar la variable de renta, lógicamente privada, que en mejor medida registra el conjunto completo y relevante de dichos rendimientos en el contexto considerado de compra venta de dehesa. La RCPpm incluye todos los beneficios privados, ya sean comerciales o ambientales, no obstante no considera las subvenciones netas de impuestos asociadas al cultivo al tercio de cereal, la plantación artificial de encina y alcornoque así como el escenario de ayudas simulado para la regeneración natural del arbolado. Si se acepta que la RCPpm es la variable de renta relevante en la formación de expectativas de precio se admite que el mercado interioriza el consumo ambiental de los propietarios pero no el atractivo programa de ayudas públicas dirigidas a las diversas actividades agroforestales que tienen lugar en estos sistemas. El razonamiento que justifica esta última forma de actuar se basa fundamentalmente en que el derecho a percibir estas ayudas no es universal y depende de la condición fiscal y laboral del posible propietario. Adicionalmente, los programas de ayudas públicas no tienen una aplicación indefinida, presentando renovaciones y actualizaciones periódicas. Respecto a la consideración de los servicios recreativos auto consumidos por los propietarios, algunos autores han identificado la reciente inclusión de estos servicios ambientales en la cesta de consumo de los individuos, como uno de los factores explicativos de la tendencia al alza observada en los últimos años en el valor de mercado de las dehesas (Campos, 1998, Campos y Mariscal, 2000, Mariscal y Campos, 2001).

Pues bien, considerando los pesos de superficie resultantes del proceso de normalización, en el que además de la distribución de usos del suelo se tiene en cuenta la distribución de clases de edad del arbolado, el precio de la hectárea media de una finca de dehesa puede calcularse a partir de la expresión (2.50) de valor capital. Para ello, es necesario determinar la tasa *implícita* de descuento, r^* , que opera en el mercado de la tierra, o en otras palabras, la rentabilidad real mínima exigida por el potencial comprador de dehesa. A esta tasa de descuento, el valor capital de la RCPpm tiene un valor muy próximo al precio de mercado estimado de acuerdo a la expresión (2.58).

Martín *et al.* (2001) y Campos *et al.* (2002c) estiman tasas implícitas de descuento del 2.5 por ciento en el caso del encinar, y alrededor del 4.5 por ciento en el caso del alcornocal. En ambos casos se estudiaron masas de encinar y alcornocal puramente *teóricas*, es decir, iguales a las establecidas por los ciclos selvícolas. En el presente ejercicio, las distribuciones observadas de clases de edad del encinar y alcornocal difieren notablemente de las teóricas y entran a formar parte del precio de la tierra todos los diferentes usos de suelo presentes en una hectárea media de dehesa. Consecuentemente se observa en las fincas de encinar una tasa de descuento ligeramente superior en torno al 3 por ciento anual, mientras que las fincas F2 y F4 presentan una tasa mínima de rentabilidad real notoriamente superior que se aproxima al 7 por ciento.

La Tabla 2.6 muestra los resultados de la estimación de precios de mercado

de la hectárea media de cada finca así como los valores capitales de la RCPpm en sus niveles mínimo y normal, bajo los dos escenarios de gestión forestal, sustentable, $V_j(r^*)$, y no sustentable, $V_j^l(r^*)$, evaluados en la tasa de rentabilidad mínima exigida por los agentes privados que operan en el mercado de la tierra de dehesas, determinada a partir del análisis de sensibilidad en tasas de descuento presentado en los Anexos 5a-II y 5b-II.

Tabla 2.6. Tasa de descuento implícita en el mercado de la tierra, r^* , y precios de la hectárea media de cada finca estimados mediante los dos métodos.
Euros/ha, año 1998.

Finca	\hat{p}_j	r^*	$V_j(r^*), V_j^l(r^*) : y = \begin{cases} \text{RCP}_{\text{pmm}} \\ \text{RCP}_{\text{pmn}} \end{cases}$		
			$V_j(r^*)$	l	$V_j^l(r^*)$
F1	2,058.93	3.0	2,237.69	<i>ct</i>	2,254.63
			2,331.99		2,346.36
F2	1,289.78	7.0	1,479.47	<i>m</i>	1,495.20
			2,120.12		2,138.42
F3	2,426.17	3.0	2,556.47	<i>ct</i>	2,557.56
			2,646.38		2,647.30
F4	2,255.06	7.0	2,047.90	<i>p</i>	2,071.50
			2,659.89		2,687.52

Es la RCPpmm bajo un escenario de sustentabilidad forestal, la variable que más aproxima el valor capital $V_j(r^*)$, al precio estimado \hat{p}_j , en todos los casos de estudio a excepción de F4, en donde el escenario no sustentable resulta más apropiado.

La tasa de rentabilidad real resultante en los casos de estudio con alcornocal es muy superior si se compara con la rentabilidad real procedente de cualquier activo financiero de riesgo equivalente, o el tipo de interés real a largo plazo emitido por el Banco Europeo. Es probable que los precios \hat{p}_j y consecuentemente la tasa real de descuento r^* , estén ligeramente infra y sobre valorados respectivamente. Esto se explica en términos del peso tan elevado que ejercen las superficies de matorral desarbolado, que superan el 70 por ciento en F2, y el 30 por ciento en F4 (Tabla 2.4). Por otro lado, la información declarada por los corredores de fincas acerca de los precios de mercado presenta incentivos a estar sesgada a la baja.

Por último señalar que los valores estimados del precio de mercado de dehesa aumentan con el peso relativo de las superficies arboladas no normalizadas. De este modo se tiene que a los valores de mercado más altos acompañan peores resultados físicos en términos de espesura de la masa forestal. El valor de mercado más bajo corresponde a la finca de dehesa F2, precisamente con el mejor índice de espesura de los dos casos de alcornocal, y el segundo puesto entre los casos de encinar. F3, la dehesa con la superficie de encinar observada en inventario forestal más importante (Tabla 2.4), pero donde peores resultados

se observan en términos de espesura (Tabla 2.5), presenta el valor de mercado más alto por delante de F4 y F1 (Tabla 2.6).

2.4 Conclusiones

El análisis económico realizado tanto de la superficie arbolada como de la finca de dehesa incluidos los usos del suelo desarbolado, permite identificar los escenarios de gestión forestal que mayores niveles de renta aportan a los propietarios de cada una de las fincas así como al conjunto de la sociedad. Por un lado se evalúan las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y alcornocal comparadas con sus correspondientes distribuciones sincronizadas del estado estacionario. Por otro, se analiza a nivel de la hectárea media de dehesa, el incentivo social y privado a la aplicación de selviculturas con regeneración natural continuada o alternativamente, selviculturas no sustentables que permiten la eventual desaparición del arbolado.

Un planificador central que represente los intereses de la sociedad y tome decisiones de acuerdo al valor capital de la renta total social obtendría mayores niveles de renta si las superficies de encinar y alcornocal observadas en cada caso de estudio estuviesen en estado estacionario, independientemente del tipo de gestión forestal aplicada a las actuales distribuciones de clases de edad del arbolado, ya sea sustentable o no sustentable. Se observa además, que el incentivo por parte de la sociedad a gestionar el encinar en estado estacionario aumenta si la bellota se aprovecha en montanera, y el aumento es mayor cuanto mayor sea el precio de la arroba de reposición. En los casos de alcornocal F2 y F4, se observa que el interés social por la conservación del arbolado también aumenta con el precio del corcho. Si las exigencias sociales de rentabilidad real no superen el 6 por ciento anual, la ausencia de estado estacionario en estos alcornocales provoca mayores pérdidas de renta total social si la gestión forestal actual es no sustentable, independientemente del nivel de precio de corcho evaluado.

Si se comparan los resultados del encinar y el alcornocal, se observa que las pérdidas de RTSn en valor capital por no mantener el arbolado en estado estacionario, son considerablemente mayores en el caso del alcornocal que en el encinar.

Desde el punto de vista social, son las rentas salariales en valor capital las que en muchos casos juegan el papel crucial de incentivar la conservación del arbolado. El planificador central que basase sus decisiones en función del valor capital de la renta de capital social, encontraría a menudo que las actuales distribuciones de clases diamétricas y de circunferencia aportan niveles de renta más elevados que las hipotéticas distribuciones del estado estacionario. Sólo el alcornocal de F4 y el encinar de F1 cuando su bellota se aprovecha en montanera, aportan mayores niveles de renta de capital social en estado estacionario para el conjunto completo de tasas de descuento y niveles de precios de corcho y arroba de reposición en montanera.

Cuando el encinar de F1 no aprovecha su bellota en montanera, se observan mayores niveles de RCSm en su estado actual que en su correspondiente

estado estacionario para tasas de descuento real inferiores al 2 y al 2.5 por ciento, dependiendo si la gestión forestal actual es sustentable o no sustentable, respectivamente.

Un aumento del 50 por ciento en el nivel de precio observado para el año 1998 de la arroba repuesta en montanera, hace que todos los casos de encinar presenten una situación favorable al estado estacionario desde el punto de vista de la RCSn. Igual sucede en el encinar de F3 cuando el aumento de precio es del 25 por ciento. Este mismo incremento de precio provoca cambios en las preferencias sociales sobre el tipo de gestión forestal de los encinares de F2 y F4, no obstante, para tasas de descuento real moderadas, no superiores al 1 por ciento en el caso de F2, y al 2.5 por ciento en el de F4 cuando el encinar actual se gestiona de manera sustentable. Si el tipo de gestión aplicada a las actuales distribuciones de clases de edad del encinar de F4 es no sustentable, la rentabilidad social máxima admitida para que el estado estacionario resulte en mayores niveles de RCSn es del 2 por ciento.

El alcornocal de F2 presenta a precios de 1998, valores positivos de la RCSn en desviaciones de su correspondiente estado estacionario sólo cuando la tasa de rentabilidad real mínima exigida por la sociedad es del 15 por ciento. Reducciones en el nivel de precio de corcho introducen no obstante, tasas de descuento adicionales para las que el estado actual aporta mayores niveles de RCSn que el hipotético estado estacionario. De este modo, una reducción del 20 por ciento en el precio de este recurso provoca que para tasas de descuento superiores al 5 por ciento, el estado actual sea preferido al estacionario si las actuales distribuciones de clases de circunferencia se gestionan de manera no sustentable. Si alternativamente el precio de corcho disminuye hasta un 60 por ciento del nivel observado en el año 1998, exigencias de rentabilidad social superiores al 4.5 (si la gestión forestal actual es sustentable) y al 3 por ciento (si no sustentable), inducen niveles inferiores de RCSn en el hipotético estado estacionario.

Desde el punto de vista de un propietario que toma sus decisiones de acuerdo al valor capital de la RCPcf, se observa que comparando el estado actual del arbolado con su correspondiente estado estacionario, sería óptimo en todas las fincas a excepción de F1, mantener el arbolado en estado estacionario y no en su estado actual. No ocurre lo mismo en ausencia de subvenciones, en tal caso la gestión del encinar tal y como viene gestionándose hasta el momento, es más favorable desde el punto de vista de la RCPpm que la hipotética ordenación en estado estacionario. En el caso del alcornocal, el nivel relativamente alcista de precios de corcho observado en el año 1998 hace que la inclusión de las subvenciones netas de impuestos en la variable de decisión del propietario sea menos crucial a la hora de incentivar la conservación del arbolado en estado estacionario. Tan sólo en F2 y cuando las exigencias mínimas de rentabilidad anual del propietario son del 15 por ciento, se observan valores positivos de la RCPpm en desviaciones de su correspondiente estado estacionario.

La reforestación con encina realizada en F1 durante el año 1995 sobre casi el 50 por ciento de la superficie normalizada de encinar, produce resultados bien diferentes a los mencionados en el párrafo anterior. En este caso, la importante dotación de ayudas que acompañan esta plantación artificial convierten la opción

actual en preferida. Si el aprovechamiento de bellota se realiza en montanera, la opción actual ofrece mayores niveles de la RCPcfn para tasas de rentabilidad real superiores al .5 por ciento si la gestión forestal es sustentable, y al 1 por ciento si es no sustentable. En un contexto de renta mínima, el estado actual del encinar de F1 aporta mayores niveles de RCPcfn que el hipotético estado estacionario, independientemente del nivel de descuento evaluado. Contrariamente, en ausencia de subvenciones, el hipotético estado estacionario aportaría mayores niveles de RCPpmn cuando las exigencias de rentabilidad real son al menos del 2 por ciento anual. Si alternativamente se evalúa la RCPpm en su nivel mínimo, el estado estacionario sigue siendo preferido, no obstante, para tasas de descuento superiores. En este caso, las tasas del 4.5 por ciento si la gestión forestal actual es sustentable, y del 5 por ciento si es no sustentable, representan las exigencias mínimas de rentabilidad real del propietario que prefiere la opción estacionaria a la actual.

Aumentos en el nivel de precio de la arropa repuesta en montanera observado para el año 1998, provocan importantes cambios en las preferencias privadas del encinar de F1. La opción estacionaria es más lucrativa que la actual desde el punto de vista de la RCPcf e independientemente de la tasa de descuento evaluada, cuando el nivel de precio aumenta un 50 por ciento. Desde el punto de vista de la RCPpmn, un aumento del 25 por ciento es suficiente como para que el estado estacionario genere niveles de renta superiores independientemente del tipo de descuento evaluado cuando la gestión forestal actual del encinar de F1 es sustentable.

En el resto de los casos de encinar, el aumento de precio de la arropa de reposición en montanera no modifica las pautas identificadas a precios del año 1998, en términos de la RCPcf, que sigue siendo superior en el estado estacionario que en el estado actual. En ausencia de subvenciones, el aumento del 50 por ciento en el nivel de precio de la arropa respuesta en montanera modifica las preferencias del propietario de F3 cuando sus exigencias de rentabilidad real son bajas, independientemente del tipo de gestión forestal aplicada a su encinar. Igual sucede en F2, no obstante cuando la gestión forestal actual del encinar es sustentable. En ambos casos la opción estacionaria resulta en niveles de RCPpm más elevados para exigencias de rentabilidad real no superiores al .5 por ciento en F3 y al 1 por ciento en F2.

El análisis de sensibilidad realizado en precio del corcho sobre la RCPpmn y la RCPcfn revela que las disminuciones en el precio de este recurso sólo modifican las preferencias privadas en el alcornocal de F2. Esto es, a la tasa de rentabilidad real más alta, $r = .15$, una reducción en el precio de corcho del 40 por ciento hace la opción actual más atractiva que la estacionaria desde el punto de vista de la RCPcfn. En términos de la RCPpmn, una gestión forestal sustentable del alcornocal generaría mayores niveles de renta que el estado estacionario para tasas de descuento superiores al 4.5 por ciento si el precio de corcho descendiese a un 60 por ciento de su nivel en el año 1998. Si alternativamente la gestión del alcornocal actual en F2 es no sustentable, una disminución del 20 por ciento en el nivel de precio de corcho es suficiente como para aumentar el conjunto de tasas de rentabilidad real (6 por ciento y superiores) para las cuales la opción actual

no sustentable es más lucrativa que la estacionaria desde el punto de vista de la RCP_{pmn}. Si la disminución es del 40 por ciento, exigencias de rentabilidad real mínima del 4 por ciento son suficientes como para que el propietario de F2 prefiera una gestión forestal no sustentable de su alcornocal en ausencia de subvenciones.

De este modo, se aprecia que el análisis de sensibilidad tanto en precio del corcho como de la arropa repuesta en montanera arroja en el caso privado el mismo resultado que en el caso social. Niveles saludables en los precios de los bienes comerciales más importantes producidos por el arbolado refuerzan el interés social y privado por la conservación de éste en estado estacionario.

Resulta interesante comparar el conjunto de fincas de estudio en función de su distancia al estado estacionario en valor capital evaluado a tasas de descuento bajas, así como en términos físicos de espesura de la masa forestal. En los casos de encinar y bajo un escenario de gestión forestal sustentable, se observa que los valores capitales de la RTS_n y la RCP_{cfn} más cercanos a los correspondientes valores capitales del estado estacionario coinciden con un mejor comportamiento en términos de espesura. De este modo se observa la ordenación, F1, F2, F4 y F3, en donde F1 es el más cercano al estado estacionario en valor capital, con el indicador de espesura más alto de todos los casos de encinar evaluados. Si alternativamente la gestión actual de los encinares es no sustentable se observan cambios en dicha ordenación dependiendo del tipo de variable de renta evaluada. De este modo se tiene que F1 sigue siendo el más cercano al estado estacionario en valor capital, y F2 es ahora el más alejado, tanto desde el punto de vista de la RTS_n como de la RCP_{cfn}. Desde el punto de vista social, F4 ofrece valores más cercanos al estado estacionario que F3, pero no desde el punto de vista de la RCP_{cf}, en ese caso la finca F3, con niveles inferiores de espesura que F4, presenta valores más cercanos a los estacionarios. En los casos del alcornocal, el valor de espesura más saludable coincide con el valor capital que más se aproxima a su correspondiente estado estacionario, independientemente del tipo de gestión forestal y variable de renta evaluada. El alcornocal de F2 presenta así una situación más favorable que el de F4 tanto en términos físicos de espesura, como económicos expresados a través de los valores capitales de la RTS_n, la RCP_{cfn} y la RCP_{pmn}.

El análisis económico de la hectárea media de dehesa revela que la aplicación de una gestión forestal sustentable genera en todos los casos de estudio mayores niveles de renta salarial que la alternativa no sustentable, siendo las fincas en las que el alcornocal está presente, F2 y F4, las que más ganan en términos de rentas de trabajo si la gestión forestal aplicada es sustentable.

Desde el punto de vista de la RTS_n, la opción sustentable es preferida en todos los casos de estudio a excepción de F2 y F4 cuando las exigencias de rentabilidad real mínima alcanzan el 7 por ciento. En ausencia de aprovechamiento de bellota en montanera, F1 y F3 presentan valores capitales de la RTS_m más elevados bajo un escenario de no regeneración natural continuada de sus encinares cuando la tasa de descuento es del .5 por ciento.

El planificador central que basa sus decisiones en función de la RCS_n descubre que sólo ante niveles de rentabilidad real esperada baja o moderada, la

opción sustentable ofrece mayores niveles de valor capital que la no sustentable. De este modo se observa que la tasa máxima de descuento social admitida al realizar una gestión forestal sustentable de sus superficies arboladas es del .5 por ciento en F1 y F3, del 2 por ciento en F4, y del 3 por ciento en F2.

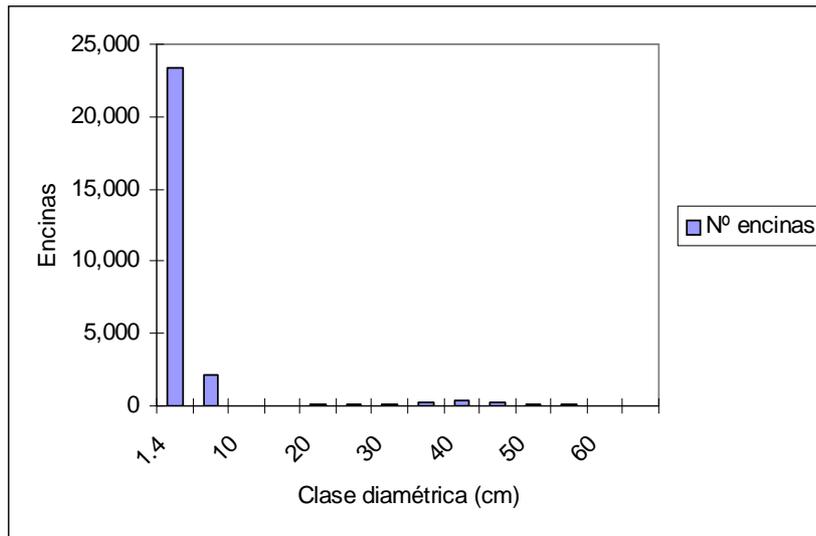
El análisis de las fincas desde la perspectiva ofrecida por las variables de renta privada muestra que la inclusión de subvenciones netas de impuestos es crucial en las fincas F1 y F3, si se persigue una gestión forestal sustentable de las actuales distribuciones de clases diamétricas observadas en sus encinares. En los casos con presencia de alcornocal, el escenario de sustentabilidad forestal ofrece mayores niveles de renta de capital privada incluso en ausencia de subvenciones, cuando las exigencias máximas de rentabilidad real no superan el 3 por ciento en F2 y el 2 por ciento en F4. En este último caso, el nivel de renta mínima, RCP_{pmm} , admite hasta un 3 por ciento de descuento. La inclusión de subvenciones en la variable de decisión de estos propietarios aumenta las tasas de rentabilidad máxima para las cuales la RCP_{cf} ofrece mayores niveles de valor capital bajo una gestión forestal sustentable. De este modo, la opción sustentable admite tasas de hasta el 4 por ciento en F2, y de hasta el 3 por ciento en F4, cuando se evalúa la RCP_{cfn} . En ausencia del aprovechamiento cinegético mayor y de la bellota en montanera, la opción sustentable generaría mayores niveles de RCP_{cfm} siempre y cuando las exigencias de rentabilidad real no superasen el 4.5 por ciento en F2, y el 4 por ciento en F4.

Mientras que en los casos de encinar puro F1 y F3, se observa que las ganancias/pérdidas en términos de la RCP_{cf}/RCP_{pm} en las que incurre una gestión forestal sustentable, son generalmente superiores/inferiores cuando el aprovechamiento de bellota se realiza en montanera, es decir, en un contexto de renta normal, los casos con alcornocal, F2 y F4, presentan precisamente el fenómeno contrario. En estos casos, la ausencia de ambos aprovechamientos, tanto el cinegético mayor como el de la bellota en montanera, proporciona una situación más favorable al escenario de sustentabilidad forestal.

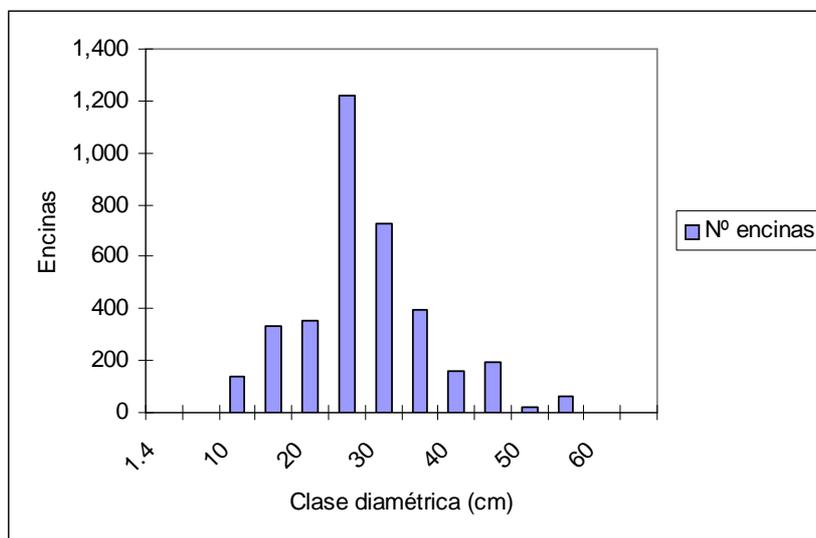
Finalmente señalar que las dehesas estudiadas con superficies de alcornocal presentan tasas de rentabilidad real notoriamente superiores a las fincas de dehesa de encinar puro. Las tasas de descuento resultantes de la comparación de los precios de mercado estimados con los valores capitales de la RCP_{pm} así lo demuestran, siendo del 3 por ciento en las dehesas de encinar, F1 y F3, y del 7 por ciento en F2 y en F4.

2.5 Apéndice

2.5.1 Distribución del arbolado por clases diamétricas

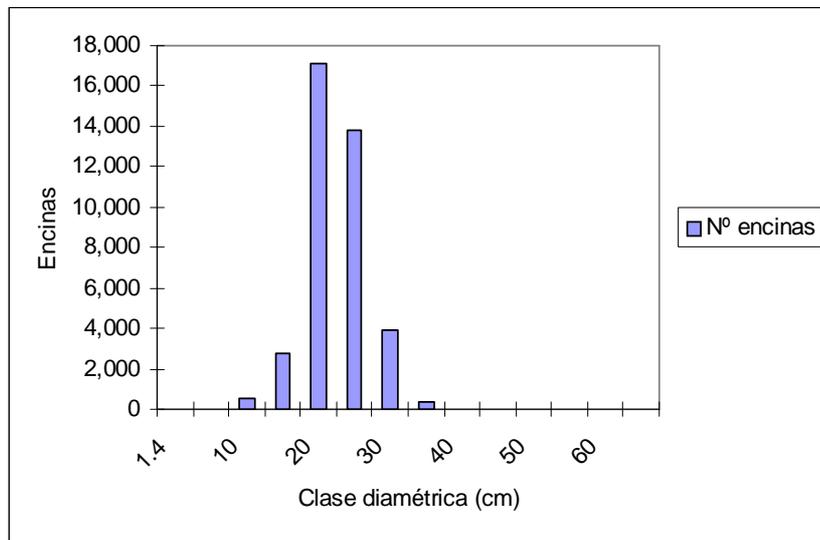


$F_{i,1}$: 114 ha

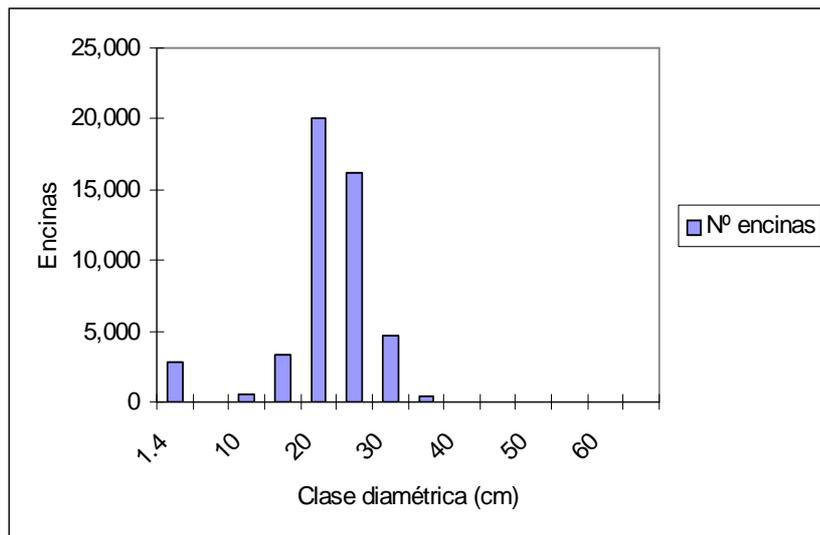


$F_{i,2}$: 59 ha

Anexo 1a-II. Distribución de clases diamétricas del encinar en cada finca.

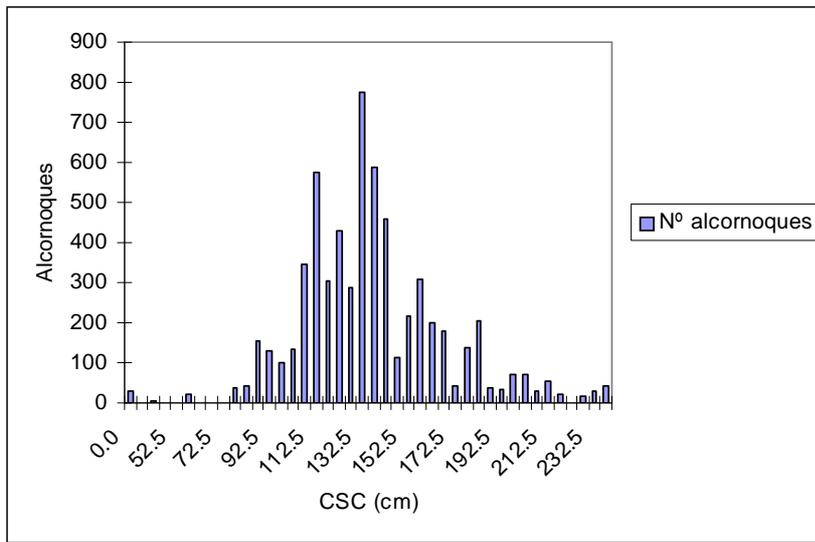


$F_{i,3}$: 1,299 ha

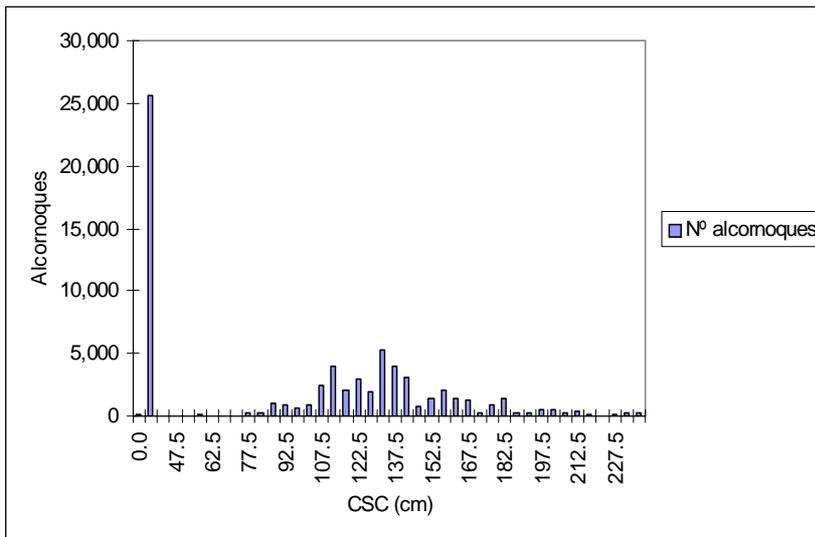


$F_{i,4}$: 1,014 ha

Anexo 1a-II (continuación). Distribución de clases diamétricas del encinar en cada finca.



$F_{s,2}$: 73 ha



$F_{s,4}$: 1,415 ha

Anexo 1b-II. Distribución de clases de circunferencia sobre corcho en F2 y F4.

2.5.2 Coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases diamétricas del encinar frente a las hipotéticas distribuciones del estado estacionario

VARIABLES DE INTERÉS SOCIAL

Anexo 2a-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1					
RCSm		899			308	
RCSn	-348	-1,031	-1,714	-370	-741	-1,112
RCCm		1,888			845	
RCCn	641	-42	-725	167	-204	-575
RCA		-989			-537	
RTSm		-217			-362	
RTSn	-1,464	-2,147	-2,830	-1,041	-1,412	-1,783
RTCm		772			175	
RTCn	-475	-1,158	-1,841	-503	-874	-1,245
Mano de obra		-1,116			-670	
Rentas sociales	F2					
RCSm		1,907			1,002	
RCSn	455	-339	-1,134	292	-97	-485
RCCm		3,059			1,564	
RCCn	1,607	812	17	854	466	78
RCA		-1,152			-563	
RTSm		-700			-313	
RTSn	-2,152	-2,946	-3,741	-1,023	-1,411	-1,800
RTCm		452			249	
RTCn	-1,000	-1,795	-2,589	-460	-849	-1,237
Mano de obra		-2,607			-1,315	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F3					
RCSm		2,962			1,528	
RCSn	679	-572	-1,823	392	-229	-851
RCCm		4,775			2,430	
RCCn	2,491	1,240	-10	1,294	672	50
RCA		-1,812			-901	
RTSm		-1,143			-555	
RTSn	-3,426	-4,677	-5,927	-1,691	-2,313	-2,934
RTCm		670			346	
RTCn	-1,614	-2,864	-4,115	-789	-1,411	-2,033
Mano de obra		-4,105			-2,083	
Rentas sociales	F4					
RCSm		2,640			1,385	
RCSn	657	-429	-1,515	405	-131	-667
RCCm		4,214			2,162	
RCCn	2,230	1,144	58	1,182	646	110
RCA		-1,574			-777	
RTSm		-980			-466	
RTSn	-2,964	-4,050	-5,136	-1,446	-1,983	-2,519
RTCm		594			311	
RTCn	-1,390	-2,476	-3,562	-669	-1,206	-1,742
Mano de obra		-3,620			-1,852	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1					
RCSm		-22			-89	
RCSn	-418	-634	-851	-426	-611	-795
RCCm		291			178	
RCCn	-104	-321	-537	-159	-344	-528
RCA		-314			-267	
RTSm		-414			-412	
RTSn	-809	-1,026	-1,242	-749	-934	-1,118
RTCm		-100			-144	
RTCn	-496	-712	-929	-482	-666	-851
Mano de obra		-391			-323	
Rentas sociales	F2					
RCSm		542			443	
RCSn	202	16	-169	175	28	-118
RCCm		810			654	
RCCn	471	285	99	387	240	94
RCA		-269			-212	
RTSm		-123			-88	
RTSn	-462	-648	-833	-356	-503	-649
RTCm		146			123	
RTCn	-193	-379	-565	-144	-291	-437
Mano de obra		-664			-531	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F3					
RCSm		798			646	
RCSn	231	-78	-388	192	-57	-305
RCCm		1,247			1,006	
RCCn	681	371	61	552	304	55
RCA		-449			-360	
RTSm		-269			-216	
RTSn	-835	-1,145	-1,455	-670	-918	-1,167
RTCm		180			145	
RTCn	-386	-696	-1,006	-310	-558	-807
Mano de obra		-1,067			-862	
Rentas sociales	F4					
RCSm		736			599	
RCSn	252	-13	-278	210	-2	-214
RCCm		1,120			906	
RCCn	636	371	106	518	306	93
RCA		-384			-308	
RTSm		-222			-178	
RTSn	-706	-971	-1,236	-566	-779	-991
RTCm		162			129	
RTCn	-323	-588	-853	-259	-471	-684
Mano de obra		-959			-777	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1					
RCSm		-131			-176	
RCSn	-428	-590	-752	-418	-550	-683
RCCm		104			16	
RCCn	-192	-355	-517	-226	-358	-491
RCA		-235			-192	
RTSm		-404			-379	
RTSn	-700	-862	-1,025	-621	-754	-887
RTCm		-168			-187	
RTCn	-465	-627	-790	-429	-562	-694
Mano de obra		-273			-204	
Rentas sociales	F2					
RCSm		373			281	
RCSn	152	31	-90	116	26	-65
RCCm		548			411	
RCCn	327	206	85	246	156	66
RCA		-175			-130	
RTSm		-68			-45	
RTSn	-289	-410	-531	-210	-301	-391
RTCm		107			85	
RTCn	-114	-235	-356	-80	-170	-260
Mano de obra		-441			-326	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F3		
RCSm		543			412	
RCSn	163	-45	-253	123	-35	-193
RCCm		845			641	
RCCn	464	256	48	352	194	36
RCA		-302			-229	
RTSm		-181			-139	
RTSn	-561	-769	-978	-428	-586	-744
RTCm		120			90	
RTCn	-260	-468	-676	-199	-357	-515
Mano de obra		-724			-551	
Rentas sociales				F4		
RCSm		504			382	
RCSn	179	1	-177	134	-1	-137
RCCm		761			578	
RCCn	436	258	80	330	195	59
RCA		-258			-196	
RTSm		-151			-118	
RTSn	-476	-654	-832	-366	-501	-637
RTCm		107			78	
RTCn	-218	-396	-574	-170	-305	-441
Mano de obra		-654			-500	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1					
RCSm		-187			-195	
RCSn	-410	-532	-653	-401	-514	-627
RCCm		-11			-31	
RCCn	-233	-355	-477	-237	-350	-463
RCA		-177			-164	
RTSm		-366			-353	
RTSn	-589	-711	-832	-559	-672	-785
RTCm		-190			-189	
RTCn	-412	-534	-656	-396	-508	-621
Mano de obra		-179			-158	
Rentas sociales	F2					
RCSm		248			222	
RCSn	101	21	-59	89	17	-55
RCCm		364			326	
RCCn	218	137	57	194	122	49
RCA		-116			-105	
RTSm		-39			-34	
RTSn	-186	-266	-346	-167	-239	-311
RTCm		77			71	
RTCn	-70	-150	-230	-62	-134	-207
Mano de obra		-287			-256	

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales			F3			
RCSm		368			332	
RCSn	109	-32	-173	98	-30	-158
RCCm		572			518	
RCCn	314	173	31	284	156	27
RCA		-205			-186	
RTSm		-126			-115	
RTSn	-384	-525	-667	-349	-477	-605
RTCm		79			71	
RTCn	-179	-321	-462	-163	-291	-419
Mano de obra		-493		-447		
Rentas sociales			F4			
RCSm		340			307	
RCSn	118	-3	-125	105	-5	-115
RCCm		516			466	
RCCn	294	173	51	265	155	44
RCA		-176			-160	
RTSm		-108			-100	
RTSn	-330	-451	-573	-301	-411	-521
RTCm		68			60	
RTCn	-154	-275	-397	-141	-252	-362
Mano de obra		-448		-406		

Anexo 2a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	7.0			7.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1			F2		
RCSm		-202			151	
RCSn	-363	-451	-539	55	2	-50
RCCm		-75			227	
RCCn	-235	-323	-411	131	78	26
RCA		-127			-76	
RTSm		-305			-23	
RTSn	-465	-553	-641	-119	-171	-224
RTCm		-177			54	
RTCn	-338	-426	-514	-43	-95	-148
Mano de obra		-103			-174	
Rentas sociales	F3			F4		
RCSm		240			220	
RCSn	69	-25	-119	72	-9	-91
RCCm		376			338	
RCCn	205	111	17	189	108	27
RCA		-136			-118	
RTSm		-86			-77	
RTSn	-258	-352	-446	-226	-307	-388
RTCm		50			40	
RTCn	-122	-216	-310	-108	-189	-270
Mano de obra		-326			-297	

Anexo 2b-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1					
RCSm		1,431			458	
RCSn	-409	-1,415	-2,422	-344	-783	-1,222
RCCm		2,888			1,093	
RCCn	1,048	42	-964	291	-148	-587
RCA		-1,457			-635	
RTSm		-138			-388	
RTSn	-1,977	-2,983	-3,990	-1,190	-1,629	-2,068
RTCm		1,320			247	
RTCn	-520	-1,526	-2,533	-555	-994	-1,433
Mano de obra		-1,568			-846	
Rentas sociales	F2					
RCSm		1,606			1,019	
RCSn	-484	-1,627	-2,771	153	-321	-794
RCCm		3,262			1,704	
RCCn	1,173	29	-1,114	839	365	-109
RCA		-1,656			-686	
RTSm		-2,259			-669	
RTSn	-4,348	-5,492	-6,635	-1,535	-2,009	-2,482
RTCm		-602			16	
RTCn	-2,692	-3,835	-4,979	-849	-1,323	-1,797
Mano de obra		-3,864			-1,688	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F3					
RCSm		3,146			1,574	
RCSn	659	-703	-2,065	401	-242	-884
RCCm		5,120			2,505	
RCCn	2,633	1,271	-91	1,332	689	47
RCA		-1,973			-931	
RTSm		-1,114			-562	
RTSn	-3,601	-4,963	-6,325	-1,736	-2,378	-3,021
RTCm		859			369	
RTCn	-1,628	-2,989	-4,351	-805	-1,447	-2,090
Mano de obra		-4,260			-2,137	
Rentas sociales	F4					
RCSm		3,027			1,471	
RCSn	733	-523	-1,779	434	-134	-702
RCCm		4,847			2,293	
RCCn	2,553	1,297	41	1,256	688	121
RCA		-1,820			-822	
RTSm		-1,206			-518	
RTSn	-3,501	-4,757	-6,013	-1,555	-2,123	-2,691
RTCm		614			304	
RTCn	-1,681	-2,937	-4,193	-733	-1,301	-1,868
Mano de obra		-4,233			-1,989	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F1		
RCSm		27			-52	
RCSn	-388	-614	-841	-399	-589	-778
RCCm		354			222	
RCCn	-60	-286	-513	-124	-314	-504
RCA		-328			-275	
RTSm		-428			-422	
RTSn	-842	-1,068	-1,295	-769	-958	-1,148
RTCm		-100			-148	
RTCn	-514	-740	-967	-494	-684	-873
Mano de obra		-454			-370	
Rentas sociales				F2		
RCSm		583			477	
RCSn	221	23	-175	198	46	-106
RCCm		869			697	
RCCn	507	309	112	418	266	114
RCA		-286			-220	
RTSm		-173			-114	
RTSn	-535	-733	-931	-392	-544	-697
RTCm		113			106	
RTCn	-249	-447	-644	-172	-324	-477
Mano de obra		-756			-591	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F3					
RCSm		804			649	
RCSn	235	-76	-387	194	-55	-304
RCCm		1,255			1,009	
RCCn	686	375	64	555	306	57
RCA		-451			-361	
RTSm		-271			-216	
RTSn	-840	-1,151	-1,462	-671	-920	-1,169
RTCm		180			144	
RTCn	-389	-700	-1,011	-310	-559	-808
Mano de obra		-1,075			-865	
Rentas sociales	F4					
RCSm		747			603	
RCSn	259	-8	-275	214	1	-212
RCCm		1,134			911	
RCCn	646	379	112	522	309	96
RCA		-387			-308	
RTSm		-227			-180	
RTSn	-715	-982	-1,249	-569	-782	-995
RTCm		160			129	
RTCn	-328	-595	-862	-261	-474	-686
Mano de obra		-974			-783	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F1		
RCSm		-101			-153	
RCSn	-403	-568	-733	-397	-530	-663
RCCm		138			40	
RCCn	-164	-329	-494	-204	-337	-470
RCA		-239			-193	
RTSm		-412			-385	
RTSn	-713	-878	-1,043	-629	-762	-895
RTCm		-172			-192	
RTCn	-474	-639	-804	-435	-569	-702
Mano de obra		-311			-232	
Rentas sociales				F2		
RCSm		401			302	
RCSn	175	51	-73	135	45	-46
RCCm		580			433	
RCCn	354	230	106	267	176	85
RCA		-179			-132	
RTSm		-83			-53	
RTSn	-310	-433	-557	-219	-310	-401
RTCm		96			79	
RTCn	-130	-254	-378	-88	-179	-270
Mano de obra		-484			-355	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F3		
RCSm		544			412	
RCSn	164	-44	-253	124	-34	-192
RCCm		846			641	
RCCn	466	257	49	352	194	36
RCA		-302			-229	
RTSm		-181			-139	
RTSn	-562	-770	-978	-428	-586	-744
RTCm		120			90	
RTCn	-260	-468	-677	-199	-357	-515
Mano de obra		-726			-552	
Rentas sociales				F4		
RCSm		505			382	
RCSn	180	2	-176	134	-1	-136
RCCm		763			578	
RCCn	438	260	82	330	195	60
RCA		-258			-196	
RTSm		-151			-119	
RTSn	-477	-655	-833	-366	-501	-637
RTCm		106			78	
RTCn	-219	-397	-575	-170	-305	-441
Mano de obra		-657			-500	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F1		
RCSm		-167			-176	
RCSn	-390	-512	-635	-383	-496	-609
RCCm		10			-12	
RCCn	-213	-335	-458	-219	-332	-445
RCA		-177			-164	
RTSm		-371			-357	
RTSn	-594	-717	-839	-564	-677	-790
RTCm		-194			-194	
RTCn	-417	-540	-662	-400	-513	-626
Mano de obra		-204			-181	
Rentas sociales				F2		
RCSm		267			239	
RCSn	120	39	-41	106	34	-39
RCCm		384			344	
RCCn	236	156	75	211	139	66
RCA		-117			-105	
RTSm		-45			-39	
RTSn	-192	-273	-354	-172	-244	-317
RTCm		72			66	
RTCn	-76	-156	-237	-67	-139	-212
Mano de obra		-312			-278	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales				F3		
RCSm		368			332	
RCSn	109	-32	-173	98	-30	-158
RCCm		573			518	
RCCn	314	173	32	284	156	28
RCA		-205			-186	
RTSm		-126			-115	
RTSn	-384	-525	-667	-349	-477	-605
RTCm		79			71	
RTCn	-179	-321	-462	-163	-291	-419
Mano de obra		-493			-447	
Rentas sociales				F4		
RCSm		340			307	
RCSn	118	-3	-124	105	-5	-115
RCCm		516			466	
RCCn	294	173	51	265	155	45
RCA		-176			-160	
RTSm		-108			-100	
RTSn	-330	-451	-573	-301	-411	-521
RTCm		68			60	
RTCn	-154	-275	-397	-141	-252	-362
Mano de obra		-448			-406	

Anexo 2b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera. Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	7.0			7.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas sociales	F1			F2		
RCSm		-189			164	
RCSn	-349	-437	-524	68	16	-36
RCCm		-62			240	
RCCn	-222	-310	-397	144	91	39
RCA		-127			-76	
RTSm		-308			-26	
RTSn	-468	-556	-644	-122	-174	-226
RTCm		-181			50	
RTCn	-341	-429	-517	-46	-99	-151
Mano de obra		-120			-190	
Rentas sociales	F3			F4		
RCSm		240			220	
RCSn	69	-25	-119	72	-9	-91
RCCm		376			338	
RCCn	205	111	17	189	108	27
RCA		-136			-118	
RTSm		-86			-77	
RTSn	-258	-352	-446	-226	-307	-388
RTCm		50			40	
RTCn	-122	-216	-310	-108	-189	-270
Mano de obra		-326			-297	

Variables de renta privada

Anexo 2c-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		1,888			845	
RCPpmn	641	-42	-725	167	-204	-575
RCPcfm		1,120			719	
RCPcfn	-128	-811	-1,493	41	-330	-701
RTPpmn	-475	-1,158	-1,841	-503	-874	-1,245
RTPcfn	-1,244	-1,927	-2,609	-629	-1,000	-1,371
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		3,059			1,564	
RCPpmn	1,607	812	17	854	466	78
RCPcfm		-754			-427	
RCPcfn	-2,206	-3,000	-3,795	-1,137	-1,525	-1,914
RTPpmn	-1,000	-1,795	-2,589	-460	-849	-1,237
RTPcfn	-4,813	-5,607	-6,402	-2,452	-2,840	-3,228
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		4,775			2,430	
RCPpmn	2,491	1,240	-10	1,294	672	50
RCPcfm		-1,058			-552	
RCPcfn	-3,341	-4,592	-5,842	-1,688	-2,310	-2,932
RTPpmn	-1,614	-2,864	-4,115	-789	-1,411	-2,033
RTPcfn	-7,446	-8,697	-9,947	-3,771	-4,393	-5,015

Anexo 2c-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		4,214			2,162	
RCPpmn	2,230	1,144	58	1,182	646	110
RCPcfm		-962			-512	
RCPcfn	-2,946	-4,032	-5,118	-1,492	-2,028	-2,565
RTPpmn	-1,390	-2,476	-3,562	-669	-1,206	-1,742
RTPcfn	-6,566	-7,652	-8,738	-3,344	-3,880	-4,416
Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		291			178	
RCPpmn	-104	-321	-537	-159	-344	-528
RCPcfm		518			472	
RCPcfn	122	-94	-311	135	-50	-234
RTPpmn	-496	-712	-929	-482	-666	-851
RTPcfn	-269	-486	-702	-188	-373	-557
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		810			654	
RCPpmn	471	285	99	387	240	94
RCPcfm		-239			-194	
RCPcfn	-578	-764	-950	-461	-608	-754
RTPpmn	-193	-379	-565	-144	-291	-437
RTPcfn	-1,242	-1,428	-1,614	-992	-1,139	-1,285

Anexo 2c-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.
Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		1,247			1,006	
RCPpmn	681	371	61	552	304	55
RCPcfm		-283			-226	
RCPcfn	-849	-1,159	-1,469	-680	-929	-1,178
RTPpmn	-386	-696	-1,006	-310	-558	-807
RTPcfn	-1,916	-2,226	-2,536	-1,542	-1,791	-2,039
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		1,120			906	
RCPpmn	636	371	106	518	306	93
RCPcfm		-263			-208	
RCPcfn	-747	-1,012	-1,277	-597	-809	-1,021
RTPpmn	-323	-588	-853	-259	-471	-684
RTPcfn	-1,706	-1,971	-2,236	-1,373	-1,586	-1,798
Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		104			16	
RCPpmn	-192	-355	-517	-226	-358	-491
RCPcfm		438			392	
RCPcfn	142	-21	-183	149	17	-116
RTPpmn	-465	-627	-790	-429	-562	-694
RTPcfn	-131	-293	-455	-54	-187	-319

Anexo 2c-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		548			411	
RCPpmm	327	206	85	246	156	66
RCPcfm		-161			-120	
RCPcfn	-383	-503	-624	-285	-375	-465
RTPpmm	-114	-235	-356	-80	-170	-260
RTPcfn	-823	-944	-1,065	-611	-701	-791
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		845			641	
RCPpmm	464	256	48	352	194	36
RCPcfm		-188			-140	
RCPcfn	-568	-776	-984	-429	-587	-745
RTPpmm	-260	-468	-676	-199	-357	-515
RTPcfn	-1,292	-1,500	-1,708	-980	-1,138	-1,296
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		761			578	
RCPpmm	436	258	80	330	195	59
RCPcfm		-171			-126	
RCPcfn	-496	-674	-852	-373	-508	-644
RTPpmm	-218	-396	-574	-170	-305	-441
RTPcfn	-1,151	-1,329	-1,507	-873	-1,008	-1,144

Anexo 2c-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.
Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		-11			-31	
RCPpmn	-233	-355	-477	-237	-350	-463
RCPcfm		374			360	
RCPcfn	152	30	-92	154	41	-72
RTPpmn	-412	-534	-656	-396	-508	-621
RTPcfn	-27	-149	-271	-5	-118	-231
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		364			326	
RCPpmn	218	137	57	194	122	49
RCPcfm		-106			-95	
RCPcfn	-252	-333	-413	-227	-299	-372
RTPpmn	-70	-150	-230	-62	-134	-207
RTPcfn	-540	-620	-700	-483	-555	-628
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		572			518	
RCPpmn	314	173	31	284	156	27
RCPcfm		-124			-112	
RCPcfn	-382	-524	-665	-346	-474	-602
RTPpmn	-179	-321	-462	-163	-291	-419
RTPcfn	-876	-1,017	-1,159	-793	-921	-1,049

Anexo 2c-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		516			466	
RCPpmn	294	173	51	265	155	44
RCPcfm		-111			-99	
RCPcfn	-333	-454	-575	-300	-410	-521
RTPpmn	-154	-275	-397	-141	-252	-362
RTPcfn	-781	-902	-1,023	-707	-817	-927
Tasa de descuento (%)	7.0			7.0		
Rentas privadas	F1			F2		
RCPpmm		-75			227	
RCPpmn	-235	-323	-411	131	78	26
RCPcfm		318			-67	
RCPcfn	158	70	-18	-164	-216	-269
RTPpmn	-338	-426	-514	-43	-95	-148
RTPcfn	55	-33	-121	-337	-390	-442
Rentas privadas	F3			F4		
RCPpmm		376			338	
RCPpmn	205	111	17	189	108	27
RCPcfm		-81			-70	
RCPcfn	-252	-346	-440	-218	-300	-381
RTPpmn	-122	-216	-310	-108	-189	-270
RTPcfn	-578	-672	-766	-516	-597	-678

Anexo 2d-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arropa repuesta en montanera.
Euros/ha (Año 1998 = 100).

r (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		2,888			1,093	
RCPpmn	1,048	42	-964	291	-148	-587
RCPcfm		1,422			685	
RCPcfn	-417	-1,424	-2,430	-117	-556	-995
RTPpmn	-520	-1,526	-2,533	-555	-994	-1,433
RTPcfn	-1,986	-2,992	-3,998	-963	-1,402	-1,841
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		3,262			1,704	
RCPpmn	1,173	29	-1,114	839	365	-109
RCPcfm		-2,345			-848	
RCPcfn	-4,434	-5,578	-6,721	-1,713	-2,187	-2,661
RTPpmn	-2,692	-3,835	-4,979	-849	-1,323	-1,797
RTPcfn	-8,298	-9,442	-10,586	-3,401	-3,875	-4,349
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		5,120			2,505	
RCPpmn	2,633	1,271	-91	1,332	689	47
RCPcfm		-952			-562	
RCPcfn	-3,439	-4,801	-6,163	-1,736	-2,378	-3,021
RTPpmn	-1,628	-2,989	-4,351	-805	-1,447	-2,090
RTPcfn	-7,700	-9,061	-10,423	-3,872	-4,515	-5,157

Anexo 2d-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.
Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	.5			1.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		4,847			2,293	
RCPpmn	2,553	1,297	41	1,256	688	121
RCPcfm		-1,204			-588	
RCPcfn	-3,498	-4,754	-6,011	-1,625	-2,192	-2,760
RTPpmn	-1,681	-2,937	-4,193	-733	-1,301	-1,868
RTPcfn	-7,732	-8,988	-10,244	-3,614	-4,181	-4,749
Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		354			222	
RCPpmn	-60	-286	-513	-124	-314	-504
RCPcfm		474			434	
RCPcfn	60	-167	-393	88	-102	-292
RTPpmn	-514	-740	-967	-494	-684	-873
RTPcfn	-395	-621	-848	-282	-472	-661
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		869			697	
RCPpmn	507	309	112	418	266	114
RCPcfm		-331			-252	
RCPcfn	-693	-891	-1,089	-531	-683	-835
RTPpmn	-249	-447	-644	-172	-324	-477
RTPcfn	-1,449	-1,647	-1,845	-1,121	-1,273	-1,426

Anexo 2d-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	2.0			2.5		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		1,255			1,009	
RCPpmn	686	375	64	555	306	57
RCPcfm		-289			-229	
RCPcfn	-858	-1,169	-1,480	-684	-933	-1,182
RTPpmn	-389	-700	-1,011	-310	-559	-808
RTPcfn	-1,933	-2,244	-2,555	-1,549	-1,798	-2,047
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		1,134			911	
RCPpmn	646	379	112	522	309	96
RCPcfm		-275			-213	
RCPcfn	-763	-1,030	-1,297	-602	-815	-1,028
RTPpmn	-328	-595	-862	-261	-474	-686
RTPcfn	-1,736	-2,003	-2,270	-1,385	-1,598	-1,811
Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		138			40	
RCPpmn	-164	-329	-494	-204	-337	-470
RCPcfm		406			366	
RCPcfn	104	-61	-226	122	-11	-145
RTPpmn	-474	-639	-804	-435	-569	-702
RTPcfn	-207	-372	-537	-110	-243	-376

Anexo 2d-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	3.0			4.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		580			433	
RCPpmn	354	230	106	267	176	85
RCPcfm		-204			-147	
RCPcfn	-430	-554	-678	-314	-405	-496
RTPpmn	-130	-254	-378	-88	-179	-270
RTPcfn	-915	-1,039	-1,162	-669	-760	-851
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		846			641	
RCPpmn	466	257	49	352	194	36
RCPcfm		-189			-140	
RCPcfn	-569	-778	-986	-429	-587	-745
RTPpmn	-260	-468	-677	-199	-357	-515
RTPcfn	-1,295	-1,503	-1,711	-980	-1,138	-1,296
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		763			578	
RCPpmn	438	260	82	330	195	60
RCPcfm		-173			-126	
RCPcfn	-499	-677	-855	-373	-509	-644
RTPpmn	-219	-397	-575	-170	-305	-441
RTPcfn	-1,156	-1,334	-1,512	-874	-1,009	-1,145

Anexo 2d-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.
Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F1					
RCPpmm		10			-12	
RCPpmm	-213	-335	-458	-219	-332	-445
RCPcfm		351			338	
RCPcfn	128	5	-117	132	19	-94
RTPpmm	-417	-540	-662	-400	-513	-626
RTPcfn	-76	-199	-321	-49	-162	-275
Rentas privadas	F2					
RCPpmm		384			344	
RCPpmm	236	156	75	211	139	66
RCPcfm		-130			-116	
RCPcfn	-277	-358	-438	-249	-321	-394
RTPpmm	-76	-156	-237	-67	-139	-212
RTPcfn	-590	-670	-751	-527	-599	-672
Rentas privadas	F3					
RCPpmm		573			518	
RCPpmm	314	173	32	284	156	28
RCPcfm		-124			-112	
RCPcfn	-383	-524	-665	-346	-474	-602
RTPpmm	-179	-321	-462	-163	-291	-419
RTPcfn	-876	-1,017	-1,159	-793	-921	-1,049

Anexo 2d-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio de la arroba repuesta en montanera.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	4.5			5.0		
Nivel de precio	100	125	150	100	125	150
Rentas privadas	F4					
RCPpmm		516			466	
RCPpmn	294	173	51	265	155	45
RCPcfm		-111			-99	
RCPcfn	-333	-454	-575	-300	-411	-521
RTPpmn	-154	-275	-397	-141	-252	-362
RTPcfn	-781	-902	-1,024	-707	-817	-927
Tasa de descuento (%)	7.0			7.0		
Rentas privadas	F1			F2		
RCPpmm		-62			240	
RCPpmn	-222	-310	-397	144	91	39
RCPcfm		302			-83	
RCPcfn	142	55	-33	-179	-231	-283
RTPpmn	-341	-429	-517	-46	-99	-151
RTPcfn	23	-65	-153	-369	-421	-473
Rentas privadas	F3			F4		
RCPpmm		376			338	
RCPpmn	205	111	17	189	108	27
RCPcfm		-81			-70	
RCPcfn	-252	-346	-440	-218	-300	-381
RTPpmn	-122	-216	-310	-108	-189	-270
RTPcfn	-578	-672	-766	-516	-597	-678

2.5.3 Coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases de circunferencia del alcornoque frente a las hipotéticas distribuciones del estado estacionario

VARIABLES DE INTERÉS SOCIAL

Anexo 3a-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornoque y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

r (%)	2.0			3.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-4,545	-3,219	-1,893	-2,287	-1,521	-754
RCA	0					
RTSn y RTCn	-7,130	-5,804	-4,478	-4,300	-3,534	-2,767
Mano de obra	-2,585			-2,013		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-18,325	-13,607	-8,889	-12,195	-9,038	-5,880
RCA	0					
RTSn y RTCn	-23,747	-19,029	-14,311	-15,955	-12,798	-9,640
Mano de obra	-5,422			-3,760		
r (%)	4.0			4.5		
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-1,240	-742	-243	-928	-513	-98
RCA	0					
RTSn y RTCn	-2,919	-2,420	-1,921	-2,479	-2,064	-1,649
Mano de obra	-1,678			-1,551		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-9,139	-6,761	-4,384	-8,126	-6,008	-3,890
RCA	0					
RTSn y RTCn	-12,049	-9,671	-7,294	-10,747	-8,629	-6,511
Mano de obra	-2,910			-2,621		

Anexo 3a-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	5.0			6.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-700	-348	4	-403	-138	126
RCA	0					
RTSn y RTCn	-2,141	-1,789	-1,437	-1,664	-1,399	-1,135
Mano de obra	-1,441			-1,261		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-7,321	-5,409	-3,498	-6,121	-4,519	-2,916
RCA	0					
RTSn y RTCn	-9,707	-7,796	-5,884	-8,150	-6,547	-4,945
Mano de obra	-2,387			-2,029		
Tasa de descuento (%)	7.0			15.0		
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-232	-23	185	44	120	197
RCA	0					
RTSn y RTCn	-1,351	-1,142	-933	-544	-467	-391
Mano de obra	-1,119			-588		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-5,272	-3,890	-2,507	-2,610	-1,922	-1,234
RCA	0					
RTSn y RTCn	-7,041	-5,658	-4,275	-3,511	-2,823	-2,135
Mano de obra	-1,768			-901		

Anexo 3b-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho. Euros/ha (Año 1998 = 100).

r (%)	2.0			3.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-6,551	-4,453	-2,354	-2,316	-1,368	-420
RCA	0					
RTSn y RTCn	-11,670	-9,571	-7,473	-5,537	-4,589	-3,641
Mano de obra	-5,119			-3,221		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-18,994	-13,996	-8,999	-12,191	-8,969	-5,746
RCA	0					
RTSn y RTCn	-25,332	-20,335	-15,337	-16,382	-13,159	-9,937
Mano de obra	-6,339			-4,191		
r (%)	4.0			4.5		
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-938	-402	134	-608	-181	246
RCA	0					
RTSn y RTCn	-3,283	-2,747	-2,211	-2,675	-2,248	-1,820
Mano de obra	-2,346			-2,067		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-9,027	-6,636	-4,245	-8,010	-5,888	-3,765
RCA	0					
RTSn y RTCn	-12,173	-9,783	-7,392	-10,814	-8,691	-6,569
Mano de obra	-3,147			-2,803		

Anexo 3b-II (continuación). Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

Tasa de descuento (%)	5.0			6.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-393	-42	309	-150	105	359
RCA	0					
RTSn y RTCn	-2,241	-1,891	-1,540	-1,680	-1,425	-1,171
Mano de obra	-1,849			-1,530		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-7,210	-5,299	-3,388	-6,031	-4,432	-2,833
RCA	0					
RTSn y RTCn	-9,741	-7,830	-5,919	-8,155	-6,556	-4,957
Mano de obra	-2,531			-2,124		
Tasa de descuento (%)	7.0			15.0		
Rentas sociales	F2					
RCSn y RCCn	-32	166	364	88	163	237
RCA	0					
RTSn y RTCn	-1,340	-1,142	-945	-542	-467	-393
Mano de obra	-1,308			-630		
Rentas sociales	F4					
RCSn y RCCn	-5,201	-3,822	-2,443	-2,595	-1,907	-1,220
RCA	0					
RTSn y RTCn	-7,037	-5,658	-4,279	-3,511	-2,823	-2,136
Mano de obra	-1,835			-916		

Variables de renta privada

Anexo 3c-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho.

Euros/ha (Año 1998 = 100).

r (%)	2.0			3.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-4,634	-3,308	-1,982	-2,367	-1,600	-834
RCPpmn	-4,545	-3,219	-1,893	-2,287	-1,521	-754
RCPcfm	-5,212	-3,833	-2,454	-2,807	-2,009	-1,212
RCPcfn	-5,123	-3,744	-2,365	-2,727	-1,930	-1,132
RTPpmn	-7,130	-5,804	-4,478	-4,300	-3,534	-2,767
RTPcfn	-7,708	-6,329	-4,950	-4,740	-3,943	-3,146
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-18,528	-13,810	-9,092	-12,334	-9,177	-6,019
RCPpmn	-18,325	-13,607	-8,889	-12,195	-9,038	-5,880
RCPcfm	-20,144	-15,237	-10,330	-13,423	-10,140	-6,856
RCPcfn	-19,940	-15,034	-10,127	-13,285	-10,001	-6,717
RTPpmn	-23,747	-19,029	-14,311	-15,955	-12,798	-9,640
RTPcfn	-25,363	-20,456	-15,549	-17,045	-13,761	-10,477
r (%)	4.0			4.5		
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-1,316	-817	-318	-1,001	-586	-171
RCPpmn	-1,240	-742	-243	-928	-513	-98
RCPcfm	-1,688	-1,169	-651	-1,350	-918	-486
RCPcfn	-1,613	-1,094	-575	-1,277	-845	-413
RTPpmn	-2,919	-2,420	-1,921	-2,479	-2,064	-1,649
RTPcfn	-3,291	-2,773	-2,254	-2,828	-2,396	-1,964

Anexo 3c-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	4.0			4.5		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-9,245	-6,868	-4,491	-8,222	-6,104	-3,986
RCPpmn	-9,139	-6,761	-4,384	-8,126	-6,008	-3,890
RCPcfm	-10,073	-7,600	-5,127	-8,962	-6,759	-4,556
RCPcfn	-9,966	-7,493	-5,021	-8,866	-6,663	-4,460
RTPpmn	-12,049	-9,671	-7,294	-10,747	-8,629	-6,511
RTPcfn	-12,876	-10,403	-7,931	-11,487	-9,284	-7,081
Tasa de descuento (%)	5.0			6.0		
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-771	-419	-67	-469	-205	60
RCPpmn	-700	-348	4	-403	-138	126
RCPcfm	-1,099	-733	-367	-764	-489	-214
RCPcfn	-1,028	-662	-296	-697	-422	-147
RTPpmn	-2,141	-1,789	-1,437	-1,664	-1,399	-1,135
RTPcfn	-2,469	-2,103	-1,737	-1,958	-1,683	-1,408
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-7,408	-5,496	-3,585	-6,195	-4,592	-2,990
RCPpmn	-7,321	-5,409	-3,498	-6,121	-4,519	-2,916
RCPcfm	-8,077	-6,089	-4,101	-6,758	-5,091	-3,425
RCPcfn	-7,990	-6,002	-4,014	-6,684	-5,017	-3,351
RTPpmn	-9,707	-7,796	-5,884	-8,150	-6,547	-4,945
RTPcfn	-10,376	-8,388	-6,400	-8,713	-7,046	-5,380

Anexo 3c-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	7.0			15.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-294	-85	124	5	82	158
RCPpmn	-232	-23	185	44	120	197
RCPcfm	-561	-344	-127	-148	-69	11
RCPcfn	-499	-282	-65	-110	-30	49
RTPpmn	-1,351	-1,142	-933	-544	-467	-391
RTPcfn	-1,618	-1,401	-1,184	-697	-618	-538
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-5,337	-3,954	-2,571	-2,642	-1,954	-1,266
RCPpmn	-5,272	-3,890	-2,507	-2,610	-1,922	-1,234
RCPcfm	-5,823	-4,385	-2,947	-2,880	-2,164	-1,449
RCPcfn	-5,759	-4,320	-2,882	-2,848	-2,132	-1,417
RTPpmn	-7,041	-5,658	-4,275	-3,511	-2,823	-2,135
RTPcfn	-7,527	-6,089	-4,651	-3,749	-3,033	-2,318

Anexo 3d-II. Diferencias en valor capital entre una gestión **no sustentable** de las actuales distribuciones de clases de edad del alcornocal y una gestión sustentable *estricta* de las distribuciones de edad sincronizadas del estado estacionario, en función de la tasa de descuento y haciendo análisis de sensibilidad en el precio del corcho. Euros/ha (Año 1998 = 100).

r (%)	2.0			3.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-6,856	-4,757	-2,658	-2,521	-1,573	-625
RCPpmn	-6,551	-4,453	-2,354	-2,316	-1,368	-420
RCPcfm	-8,385	-6,202	-4,020	-3,468	-2,482	-1,496
RCPcfn	-8,080	-5,898	-3,715	-3,263	-2,277	-1,291
RTPpmn	-11,670	-9,571	-7,473	-5,537	-4,589	-3,641
RTPcfn	-13,199	-11,016	-8,834	-6,484	-5,498	-4,513
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-19,275	-14,277	-9,280	-12,374	-9,152	-5,930
RCPpmn	-18,994	-13,996	-8,999	-12,191	-8,969	-5,746
RCPcfm	-21,234	-16,037	-10,840	-13,645	-10,293	-6,942
RCPcfn	-20,953	-15,756	-10,559	-13,461	-10,110	-6,759
RTPpmn	-25,332	-20,335	-15,337	-16,382	-13,159	-9,937
RTPcfn	-27,292	-22,094	-16,897	-17,652	-14,301	-10,950
r (%)	4.0			4.5		
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-1,093	-557	-21	-746	-319	108
RCPpmn	-938	-402	134	-608	-181	246
RCPcfm	-1,778	-1,221	-664	-1,350	-905	-461
RCPcfn	-1,623	-1,066	-509	-1,211	-767	-323
RTPpmn	-3,283	-2,747	-2,211	-2,675	-2,248	-1,820
RTPcfn	-3,969	-3,411	-2,854	-3,278	-2,834	-2,390

Anexo 3d-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	4.0			4.5		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-9,162	-6,771	-4,380	-8,129	-6,007	-3,884
RCPpmm	-9,027	-6,636	-4,245	-8,010	-5,888	-3,765
RCPcfm	-10,100	-7,614	-5,127	-8,959	-6,752	-4,544
RCPcfn	-9,965	-7,479	-4,992	-8,840	-6,632	-4,425
RTPpmm	-12,173	-9,783	-7,392	-10,814	-8,691	-6,569
RTPcfn	-13,111	-10,625	-8,139	-11,643	-9,436	-7,229
Tasa de descuento (%)	5.0			6.0		
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-518	-167	184	-255	-1	254
RCPpmm	-393	-42	309	-150	105	359
RCPcfm	-1,057	-692	-327	-702	-437	-172
RCPcfn	-932	-567	-202	-596	-332	-67
RTPpmm	-2,241	-1,891	-1,540	-1,680	-1,425	-1,171
RTPcfn	-2,781	-2,416	-2,051	-2,126	-1,862	-1,597
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-7,317	-5,406	-3,495	-6,118	-4,520	-2,921
RCPpmm	-7,210	-5,299	-3,388	-6,031	-4,432	-2,833
RCPcfm	-8,060	-6,073	-4,085	-6,735	-5,072	-3,409
RCPcfn	-7,954	-5,967	-3,979	-6,647	-4,985	-3,322
RTPpmm	-9,741	-7,830	-5,919	-8,155	-6,556	-4,957
RTPcfn	-10,485	-8,497	-6,510	-8,772	-7,109	-5,446

Anexo 3d-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	7.0			15.0		
Nivel de precio	100	80	60	100	80	60
Rentas privadas	F2					
RCPpmm	-123	75	273	42	117	192
RCPpmm	-32	166	364	88	163	237
RCPcfm	-506	-300	-94	-145	-67	11
RCPcfn	-414	-209	-3	-99	-21	56
RTPpmm	-1,340	-1,142	-945	-542	-467	-393
RTPcfn	-1,723	-1,517	-1,311	-729	-652	-574
Rentas privadas	F4					
RCPpmm	-5,276	-3,897	-2,518	-2,629	-1,942	-1,255
RCPpmm	-5,201	-3,822	-2,443	-2,595	-1,907	-1,220
RCPcfm	-5,803	-4,369	-2,935	-2,879	-2,164	-1,449
RCPcfn	-5,729	-4,294	-2,860	-2,844	-2,129	-1,414
RTPpmm	-7,037	-5,658	-4,279	-3,511	-2,823	-2,136
RTPcfn	-7,564	-6,130	-4,695	-3,760	-3,045	-2,330

2.5.4 Coste de oportunidad estimado de la regeneración natural continuada del arbolado

Anexo 4a-II. Diferencias en valor capital entre una gestión sustentable y otra sin regeneración natural continuada del arbolado en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios del año 1998.

Dehesas F1 y F3.

Tasa de descuento (%)	.5	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0
Variables de renta	F1					
Mano de Obra	225.06	87.56	31.24	23.46	18.98	14.03
Rentas privadas						
RCPpmm	-497.52	-123.29	-31.35	-21.94	-16.95	-11.80
RCPpmn	-202.90	-61.57	-22.17	-17.26	-14.38	-11.02
RCPcfm	-150.44	17.12	21.96	18.71	16.22	12.83
RCPcfn	144.18	78.84	31.14	23.40	18.79	13.61
RTPpmn	22.16	25.99	9.07	6.21	4.61	3.02
RTPcfn	369.24	166.40	62.38	46.86	37.77	27.65
Rentas sociales						
RCSm	-264.37	-74.68	-24.23	-18.35	-15.01	-11.25
RCSn	30.25	-12.96	-15.05	-13.67	-12.44	-10.47
RCCm	-497.52	-123.29	-31.35	-21.94	-16.95	-11.80
RCCn	-202.90	-61.57	-22.17	-17.26	-14.38	-11.02
RCA	233.15	48.61	7.12	3.59	1.93	.55
RTSm	-39.31	12.88	7.01	5.11	3.97	2.78
RTSn	255.31	74.60	16.19	9.80	6.54	3.56
RTCm	-272.46	-35.73	-.11	1.52	2.04	2.23
RTCn	22.16	25.99	9.07	6.21	4.61	3.02

Anexo 4a-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	4.5	5.0	7.0	.5	1.0	2.0
Variables de renta	F1			F3		
Mano de Obra	12.51	11.33	8.38	132.11	45.52	7.06
Rentas privadas						
RCPpmm	-10.29	-9.14	-6.32	-293.24	-64.36	-7.09
RCPpmn	-9.91	-9.02	-6.60	-120.29	-32.28	-5.02
RCPcfm	11.64	10.66	7.98	-89.50	8.63	4.96
RCPcfn	12.02	10.78	7.70	83.45	40.72	7.03
RTPpmn	2.60	2.31	1.78	11.82	13.25	2.04
RTPcfn	24.53	22.11	16.08	215.56	86.25	14.09
Rentas sociales						
RCSm	-10.06	-9.10	-6.58	-156.37	-39.09	-5.48
RCSn	-9.68	-8.98	-6.86	16.57	-7.00	-3.41
RCCm	-10.29	-9.14	-6.32	-293.24	-64.36	-7.09
RCCn	-9.91	-9.02	-6.60	-120.29	-32.28	-5.02
RCA	.24	.04	-.26	136.86	25.27	1.61
RTSm	2.46	2.23	1.80	-24.26	6.43	1.58
RTSn	2.84	2.35	1.52	148.68	38.52	3.65
RTCm	2.22	2.19	2.06	-161.13	-18.84	-.03
RTCn	2.60	2.31	1.78	11.82	13.25	2.04

Anexo 4a-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
Variables de renta	F3					
Mano de Obra	2.91	1.22	.23	.10	.04	.00
Rentas privadas						
RCPpmm	-2.72	-1.09	-.19	-.08	-.04	.00
RCPpmn	-2.14	-.92	-.18	-.08	-.04	.00
RCPcfm	2.32	1.04	.21	.09	.04	.00
RCPcfn	2.90	1.21	.22	.10	.04	.00
RTPpmn	.77	.30	.05	.02	.01	.00
RTPcfn	5.80	2.43	.44	.19	.09	.00
Rentas sociales						
RCSm	-2.27	-.96	-.18	-.08	-.04	.00
RCSn	-1.69	-.80	-.17	-.08	-.04	.00
RCCm	-2.72	-1.09	-.19	-.08	-.04	.00
RCCn	-2.14	-.92	-.18	-.08	-.04	.00
RCA	.44	.12	.01	.00	.00	.00
RTSm	.63	.25	.04	.02	.01	.00
RTSn	1.21	.42	.06	.02	.01	.00
RTCm	.19	.13	.04	.02	.01	.00
RTCn	.77	.30	.05	.02	.01	.00

Anexo 4b-II. Diferencias en valor capital entre una gestión sustentable y otra sin regeneración natural continuada del arbolado en función de la tasa de descuento. Valores en euros/ha a precios del año 1998.

Dehesas F2 y F4.

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F2					
Mano de obra	226.90	108.15	60.07	46.62	37.01	17.65
Rentas privadas						
RCPpmm	189.19	11.10	-20.99	-23.56	-23.21	-15.72
RCPpmm	172.04	.61	-27.82	-29.19	-27.92	-18.30
RCPcfm	282.54	60.53	9.78	1.68	-2.10	-3.72
RCPcfn	265.39	50.04	2.95	-3.96	-6.81	-6.31
RTPpmm	398.93	108.76	32.25	17.43	9.09	-.66
RTPcfn	492.29	158.19	63.02	42.66	30.20	11.34
Rentas sociales						
RCSn	173.26	.90	-27.74	-29.16	-27.92	-18.34
RCCn	172.04	.61	-27.82	-29.19	-27.92	-18.30
RCA	1.22	.29	.08	.03	.01	-.04
RTSn	400.16	109.05	32.33	17.46	9.10	-.69
RTCn	398.93	108.76	32.25	17.43	9.09	-.66

Anexo 4b-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F4					
Mano de obra	360.81	168.27	92.17	71.11	56.11	26.08
Rentas privadas						
RCPpmm	286.88	15.00	-32.71	-36.26	-35.47	-23.60
RCPpmm	257.61	-2.27	-43.72	-45.26	-42.95	-27.63
RCPcfm	427.64	86.57	10.70	-1.06	-6.35	-7.73
RCPcfn	398.36	69.30	-0.31	-10.07	-13.83	-11.75
RTPpmm	618.42	166.00	48.46	25.84	13.16	-1.54
RTPcfn	759.17	237.58	91.87	61.04	42.28	14.33
Rentas sociales						
RCSn	258.41	-2.21	-43.71	-45.26	-42.95	-27.63
RCCn	257.61	-2.27	-43.72	-45.26	-42.95	-27.63
RCA	.80	.06	.00	.00	.00	.00
RTSn	619.22	166.07	48.46	25.84	13.16	-1.54
RTCn	618.42	166.00	48.46	25.84	13.16	-1.54

2.5.5 Valor capital estimado de las fincas de dehesa

Anexo 5a-II. Valor capital de las rentas salariales, sociales y privadas, en función de la tasa de descuento. Gestión forestal **sustentable**.

Precios del año 1998, en euros/ha.

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F1					
Mano de obra	561	373	284	255	232	175
Rentas privadas						
RCPpmm	3,392	2,238	1,663	1,473	1,322	936
RCPpmmn	3,554	2,332	1,726	1,526	1,367	964
RCPcfm	4,559	3,114	2,388	2,145	1,950	1,448
RCPcfn	4,721	3,208	2,450	2,198	1,996	1,475
RTPpmm	4,115	2,705	2,010	1,781	1,599	1,139
RTPcfn	5,282	3,581	2,734	2,453	2,228	1,651
Rentas sociales						
RCSm	3,920	2,581	1,916	1,697	1,522	1,077
RCSn	4,082	2,675	1,979	1,749	1,567	1,105
RCCm	1,047	659	468	405	356	233
RCCn	1,210	753	531	458	401	261
RCA	2,873	1,922	1,448	1,291	1,166	844
RTSm	4,480	2,954	2,200	1,952	1,754	1,253
RTSn	4,643	3,048	2,263	2,004	1,799	1,281
RTCm	1,608	1,032	752	660	588	409
RTCn	1,770	1,126	814	713	634	436

Anexo 5a-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F2					
Mano de obra	450	279	199	173	154	107
Rentas privadas						
RCPpmm	4,622	3,177	2,447	2,201	2,002	1,479
RCPpmmn	6,748	4,611	3,534	3,172	2,881	2,120
RCPcfm	4,831	3,313	2,547	2,289	2,081	1,535
RCPcfn	6,957	4,747	3,634	3,260	2,959	2,176
RTPpmmn	7,198	4,890	3,733	3,345	3,034	2,227
RTPcfn	7,406	5,026	3,833	3,434	3,113	2,283
Rentas sociales						
RCSn	7,168	4,894	3,749	3,364	3,054	2,246
RCCn	4,403	3,032	2,339	2,104	1,915	1,417
RCA	2,765	1,862	1,410	1,259	1,139	829
RTSn	7,617	5,173	3,947	3,537	3,207	2,353
RTCn	4,853	3,311	2,538	2,278	2,069	1,524

Anexo 5a-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F3					
Mano de Obra	284	186	139	123	111	79
Rentas privadas						
RCPpmm	3,791	2,556	1,937	1,730	1,565	1,138
RCPpmm	3,923	2,646	2,004	1,790	1,618	1,176
RCPcfm	4,157	2,801	2,123	1,897	1,716	1,250
RCPcfn	4,289	2,891	2,190	1,957	1,769	1,288
RTPpmm	4,207	2,833	2,143	1,913	1,729	1,256
RTPcfn	4,573	3,077	2,329	2,080	1,880	1,367
Rentas sociales						
RCSm	4,295	2,896	2,194	1,959	1,771	1,288
RCSn	4,427	2,986	2,261	2,019	1,825	1,326
RCCm	1,446	978	742	662	599	435
RCCn	1,578	1,068	809	722	653	474
RCA	2,849	1,918	1,452	1,297	1,172	853
RTSm	4,579	3,083	2,333	2,082	1,882	1,368
RTSn	4,711	3,173	2,400	2,142	1,936	1,406
RTCm	1,730	1,164	880	785	710	515
RTCn	1,862	1,254	948	845	763	553

Anexo 5a-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F4					
Mano de Obra	822	508	359	312	275	188
Rentas privadas						
RCPpmm	6,550	4,465	3,419	3,067	2,784	2,048
RCPpmm	8,590	5,840	4,460	3,997	3,626	2,660
RCPcfm	6,987	4,759	3,641	3,266	2,964	2,180
RCPcfn	9,028	6,134	4,682	4,196	3,805	2,792
RTPpmm	9,413	6,348	4,819	4,309	3,901	2,848
RTPcfn	9,850	6,642	5,042	4,508	4,081	2,980
Rentas sociales						
RCSn	9,042	6,144	4,690	4,203	3,811	2,794
RCCn	6,246	4,261	3,265	2,930	2,660	1,957
RCA	2,796	1,883	1,425	1,273	1,151	837
RTSn	9,864	6,652	5,049	4,515	4,086	2,982
RTCn	7,068	4,770	3,624	3,242	2,935	2,145

Anexo 5b-II. Valor capital de las rentas salariales, sociales y privadas, en función de la tasa de descuento. Gestión forestal **no sustentable**.

Precios del año 1998, en euros/ha.

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F1					
Mano de obra	529	354	270	242	221	167
Rentas privadas						
RCPpmm	3,423	2,255	1,675	1,483	1,331	942
RCPpmmn	3,577	2,346	1,737	1,536	1,376	970
RCPcfm	4,537	3,098	2,375	2,133	1,940	1,440
RCPcfn	4,690	3,189	2,437	2,186	1,985	1,468
RTPpmmn	4,106	2,700	2,007	1,778	1,597	1,137
RTPcfn	5,219	3,543	2,706	2,428	2,206	1,635
Rentas sociales						
RCSm	3,944	2,596	1,928	1,707	1,531	1,084
RCSn	4,097	2,688	1,990	1,759	1,576	1,112
RCCm	1,079	676	480	416	365	240
RCCn	1,232	768	542	468	410	268
RCA	2,865	1,920	1,448	1,291	1,166	845
RTSm	4,473	2,950	2,197	1,949	1,752	1,251
RTSn	4,626	3,042	2,259	2,002	1,797	1,279
RTCm	1,608	1,030	750	658	586	406
RTCn	1,761	1,122	811	711	631	435

Anexo 5b-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F2					
Mano de obra	223	171	139	127	117	89
Rentas privadas						
RCPpmm	4,433	3,166	2,468	2,224	2,025	1,495
RCPpmmn	6,576	4,610	3,562	3,201	2,908	2,138
RCPcfm	4,548	3,253	2,537	2,287	2,083	1,539
RCPcfn	6,691	4,697	3,631	3,264	2,966	2,182
RTPpmmn	6,799	4,781	3,701	3,328	3,025	2,227
RTPcfn	6,914	4,868	3,770	3,391	3,083	2,271
Rentas sociales						
RCSn	6,995	4,893	3,777	3,393	3,082	2,265
RCCn	4,231	3,032	2,367	2,134	1,943	1,436
RCA	2,764	1,861	1,410	1,259	1,139	829
RTSn	7,217	5,064	3,915	3,519	3,198	2,354
RTCn	4,454	3,203	2,505	2,260	2,059	1,525

Anexo 5b-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F3					
Mano de Obra	277	185	138	123	111	79
Rentas privadas						
RCPpmm	3,798	2,558	1,937	1,730	1,565	1,138
RCPpmm	3,928	2,647	2,005	1,790	1,618	1,176
RCPcfm	4,152	2,800	2,123	1,897	1,716	1,250
RCPcfn	4,282	2,889	2,190	1,956	1,769	1,288
RTPpmm	4,205	2,832	2,143	1,913	1,729	1,256
RTPcfn	4,559	3,074	2,328	2,079	1,880	1,367
Rentas sociales						
RCSm	4,300	2,897	2,194	1,959	1,772	1,288
RCSn	4,430	2,987	2,262	2,019	1,825	1,326
RCCm	1,453	979	742	663	599	435
RCCn	1,583	1,069	809	722	653	474
RCA	2,847	1,918	1,452	1,297	1,172	853
RTSm	4,577	3,082	2,332	2,082	1,882	1,368
RTSn	4,708	3,172	2,400	2,142	1,936	1,406
RTCm	1,730	1,164	880	785	710	515
RTCn	1,860	1,254	948	845	763	553

Anexo 5b-II (continuación).

Tasa de descuento (%)	2.0	3.0	4.0	4.5	5.0	7.0
VARIABLES DE RENTA	F4					
Mano de Obra	461	340	267	241	219	162
Rentas privadas						
RCPpmm	6,263	4,450	3,451	3,104	2,820	2,072
RCPpmm	8,333	5,842	4,504	4,043	3,668	2,688
RCPcfm	6,560	4,672	3,630	3,267	2,971	2,188
RCPcfn	8,629	6,064	4,683	4,206	3,819	2,804
RTPpmm	8,794	6,182	4,771	4,284	3,888	2,849
RTPcfn	9,091	6,404	4,950	4,447	4,039	2,966
Rentas sociales						
RCSn	8,783	6,146	4,734	4,248	3,854	2,822
RCCn	5,988	4,264	3,308	2,975	2,703	1,985
RCA	2,795	1,883	1,425	1,273	1,151	837
RTSn	9,245	6,486	5,001	4,489	4,073	2,984
RTCn	6,449	4,604	3,576	3,216	2,922	2,147

Capítulo 3

Un modelo de control óptimo

3.1 Introducción

El objetivo de este Capítulo consiste en formular y resolver un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito, que describa el proceso bajo el cual los agentes privados y sociales toman decisiones de gestión agroforestal en un sistema de dehesa.

En primer lugar se desarrolla y explica el modelo de optimización dinámica propuesto para cada uno de los casos de estudio considerados. Se definen las variables de estado y de control así como las leyes de movimiento de los estados a lo largo del horizonte temporal T . La restricción global de recursos, las restricciones de no negatividad y las cotas superiores de las variables de control, informan sobre las restricciones físicas y legales de gestión en cada uno de los casos de estudio. Se añade una restricción adicional sobre las variables de regeneración natural del arbolado adulto y plantación artificial sobre suelo desarbolado, que orienta la gestión forestal hacia una ordenación del encinar y alcornocal próxima al estado estacionario. La función objetivo de cada uno de los problemas que se plantean representa el valor actual neto a horizonte temporal finito de una determinada variable de renta, expresado en euros por hectárea y generado por la gestión óptima realizada a lo largo del horizonte temporal en cada una de las fincas de dehesa estudiadas. El vector gradiente de la función objetivo ayuda a comprender intuitivamente el funcionamiento del programa de optimización dinámica propuesto. A través de las expresiones que definen este vector gradiente, se aprecia que la naturaleza lineal del problema de decisión es una característica deseable y útil en todo el proceso de solución.

Concluida la formulación del problema de optimización dinámica se describe brevemente el proceso de solución, informando acerca de la forma de programación más conveniente dentro de la aplicación informática utilizada.

Finalmente se ofrecen los resultados a los problemas de decisión de los

agentes privados y sociales en cada uno de los casos de estudio. Los problemas se resuelven para una única tasa real de descuento del 3 por ciento anual, los precios del año 1998, y los horizontes temporales de 25, 50 y 100 años. Al igual que en el Capítulo anterior, se considera el problema de decisión al que se enfrenta un propietario o maximizador de renta de capital privada a coste de los factores, así como el agente privado que opera en una economía de mercado sin intervención pública en la forma de impuestos y subvenciones, en este caso, maximizador de renta de capital privada a precios de mercado. Respecto de los agentes de decisión sociales, se plantea el problema de planificación central benevolente y el no benevolente, caracterizados por la maximización del valor actual neto a horizonte temporal finito de la renta total social y la renta de capital social, respectivamente.

3.2 Motivación

En el Capítulo 2 se diseñan diferentes escenarios de gestión agroforestal, y sobre ellos, se realiza un análisis coste beneficio a horizonte temporal infinito. El objetivo consiste en determinar si, bajo las condiciones de mercado y de intervención pública del año 1998, una gestión forestal sustentable en la dehesa es una opción de gestión óptima tanto para los propietarios de dehesa como para la sociedad en su conjunto.

El escenario de gestión forestal sustentable se refiere al mantenimiento indefinido de la superficie actual arbolada que no ha superado la edad crítica de regeneración natural mediante la aplicación de una selvicultura de regeneración natural continuada. Alternativamente, una gestión forestal no sustentable se define como aquella orientada a mantener el arbolado hasta su desaparición por mortalidad natural con el consecuente cambio futuro de uso del suelo arbolado a desarbolado.

En este Capítulo se pretende ampliar el concepto de sustentabilidad forestal a otros escenarios de gestión forestal como las reforestaciones mediante la técnica de plantación artificial, tan populares desde la aplicación del *ECC Council Regulation* 2080/92 en la segunda mitad de la década de 1990.

La metodología del análisis coste beneficio establece en primer lugar los escenarios de gestión forestal relevantes, a continuación calcula los valores presentes descontados de las variables de renta social y privada, y por último, compara los niveles de renta de ambos escenarios a fin de establecer el tipo de gestión preferida por un determinado agente decisor.

Pues bien, el modelo de control óptimo que a continuación se presenta sigue teniendo como objetivo principal determinar el tipo de gestión forestal óptima bajo las condiciones de mercado y de intervención pública del año 1998, no obstante, desde una perspectiva metodológica distinta. Una diferencia fundamental corresponde a que no es necesario definir *a priori* una pareja de escenarios de gestión forestal, alternativamente se evalúan simultáneamente todas las alternativas de gestión posibles tanto desde el punto de vista legal como físico. Por otro lado y al contrario que en la aplicación de la metodología del análisis coste

beneficio (donde la toma de una determinada decisión en el instante inicial se mantiene indefinidamente en el tiempo), el carácter dinámico de los modelos de control óptimo permite actualizar anualmente la gestión agroforestal del agente decisor a lo largo del horizonte temporal y de acuerdo al criterio de optimización establecido.

3.3 Formulación del problema

Se plantea un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito. El agente decisor, bajo el criterio de maximización del valor actual neto a horizonte temporal finito de la renta correspondiente a la hectárea media de dehesa, puede actualizar cada año sus planes de gestión forestal mediante plantaciones artificiales sobre suelo desarbolado y la regeneración natural del arbolado adulto ya existente.

El objetivo de este apartado consiste en definir los vectores de estado y variables de control, las leyes de movimiento de los diferentes vectores de estado, el conjunto factible de soluciones mediante la imposición de restricciones, las condiciones iniciales, la función objetivo y su correspondiente vector gradiente. El último apartado presenta el problema completo de control óptimo a resolver en cada una de las cuatro fincas de dehesa analizadas.

Aunque la formulación del problema no tiene en principio restricción alguna en el tamaño del horizonte temporal excepto que debe ser finito, el código escrito (ver Apéndice computacional, pp. 237-251) admite un horizonte temporal máximo inferior a la edad crítica de regeneración natural para un alcornoque procedente de plantación artificial, $T < 142$. Adicionalmente, las expresiones de gradiente son válidas para $T < 194$, que corresponde al último año de un ciclo completo de plantación artificial de alcornoque sin regeneración natural al final del ciclo. Por un lado, $T = 141$ está lo suficientemente alejado en el futuro para los fines de análisis propuestos. Por otro, la programación del problema para horizontes temporales más lejanos se complica considerablemente a partir del momento en que las superficies controladas de alcornoque en $t = 1$, pasan a intervenir de nuevo en el proceso de decisión en $t = 142$.

3.3.1 Vectores de estado

Los vectores de estado informan en cada momento sobre la distribución de usos del suelo arbolado y desarbolado, indicando cada fila la superficie en hectáreas dedicada a un estado o uso del suelo determinado. Se definen cuatro vectores de estado asociados al suelo arbolado y un quinto dedicado a la superficie de usos del suelo desarbolado. Cada una de las filas de los vectores de estado del suelo arbolado representa la superficie normalizada en hectáreas con árboles de una edad determinada de todas las posibles a lo largo del ciclo selvícola de cada especie. En otras palabras, estos últimos vectores muestran la distribución de clases de edad del arbolado.

\mathbf{x}_t y $\mathbf{x}_{a,t}$ son los vectores de estado del encinar procedente de regeneración natural y plantación artificial (de ahí el subíndice a), respectivamente, en período de decisión $t \in \{0, 1, \dots, T\}$, donde $T < \infty$ es el horizonte temporal. La dimensión de cada uno de ellos es de 321×1 , registrándose el rango de edades de 0 a 320 años. \mathbf{s}_t y $\mathbf{s}_{a,t}$ corresponden al alcornocal procedente de regeneración natural y plantación artificial, con dimensiones 197×1 y 195×1 , respectivamente. El arbolado adulto ya existente se registra siempre bajo los estados arbolados procedentes de regeneración natural. \mathbf{d}_t representa el vector de estado del suelo desarbolado en período t , su dimensión es 3×1 , donde $d_{1,t}$ es la superficie de cultivo al tercio, $d_{2,t}$ de pastizal, y $d_{3,t}$ de matorral.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_t &= \begin{pmatrix} x_{0,t} \\ \vdots \\ x_{320,t} \end{pmatrix}; \mathbf{x}_{a,t} = \begin{pmatrix} x_{0,t}^a \\ \vdots \\ x_{320,t}^a \end{pmatrix}; \mathbf{s}_t = \begin{pmatrix} s_{0,t} \\ \vdots \\ s_{196,t} \end{pmatrix}; \\ \mathbf{s}_{a,t} &= \begin{pmatrix} s_{0,t}^a \\ \vdots \\ s_{194,t}^a \end{pmatrix}; \mathbf{d}_t = \begin{pmatrix} d_{1,t} \\ d_{2,t} \\ d_{3,t} \end{pmatrix} \forall t \in \{0, 1, \dots, T\}, T < \infty \end{aligned} \quad (3.1)$$

En donde el primer subíndice de cada fila de los vectores de estado del suelo arbolado indica la edad de los árboles.

3.3.2 Vectores de control

Las variables de control representan la intervención que ejerce el agente decisor sobre el sistema agroforestal. Se tienen seis variables de control en cada período de decisión, tres por especie forestal, de las cuales, dos registran el número de hectáreas que entran en regeneración natural, $n_{k,t}$ y $n_{k,t}^a$, y la tercera, la superficie reforestada mediante plantación artificial, $t_{k,t}$, para $k = i, s$ y $t \in \{0, 1, \dots, T\}$. La distinción entre superficie de regeneración natural de arbolado adulto procedente de regeneración natural, $n_{k,t}$, y plantación artificial¹, $n_{k,t}^a$ (de ahí el superíndice a) se realiza con el objetivo de obtener una formulación general que permita representar cualquiera de todos los escenarios posibles en cuanto a la distribución del suelo de encinar y alcornocal, por muy lejano que deba ser el horizonte temporal T para que una determinada situación llegue a realizarse. Se define un vector de control para cada uno de los vectores de estado establecidos. Los vectores de control asociados al encinar, \mathbf{z}_t y $\mathbf{z}_{a,t}$, y el alcornocal, \mathbf{v}_t y $\mathbf{v}_{a,t}$, son los siguientes.

¹ Como se indica en el Capítulo anterior, el futuro regenerado de las actuales plantaciones artificiales no tiene lugar hasta una edad de 142 años en el alcornocal y 250 años en el encinar.

$$\begin{aligned}
\mathbf{z}_t &= \begin{pmatrix} n_{i,t} + n_{i,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{i,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \mathbf{z}_{a,t} = \begin{pmatrix} t_{i,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{i,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \\
\mathbf{v}_t &= \begin{pmatrix} n_{s,t} + n_{s,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{s,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \mathbf{v}_{a,t} = \begin{pmatrix} t_{s,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{s,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix};
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Donde las entradas $-n_{i,t}$ y $-n_{i,t}^a$ se sitúan en la posición 251, es decir sobre las hectáreas de encinar de 250 años de edad; $-n_{s,t}$ sobre la posición 145 ó alcornocal de 144 años de edad, y $-n_{s,t}^a$ sobre la posición 143, o dicho de otro modo, sobre el alcornocal procedente de plantación artificial de 142 años de edad.

En cuanto al vector de control asociado a los usos del suelo desarbolado, su estructura varía significativamente de un caso de estudio a otro. Esto se debe por una lado a los supuestos establecidos en **S5** (apartado 1.8) sobre el uso del suelo de transición en ausencia de regeneración natural del arbolado adulto, y por otro, a los escenarios de reforestación diseñados acorde a las posibilidades de cada caso de estudio, definidos en el supuesto **S6** (apartado 1.8). Esencialmente, se establece que pueden llevarse a cabo reforestaciones de encinar y alcornocal en todos los casos de estudio salvo en F1, donde la reforestación con alcornoque se cree inviable. Los vectores de control del suelo desarbolado son los siguientes vectores columna de dimensión 3.

$$\mathbf{u}_t = \begin{cases} (\xi_t, -t_{i,t}, 0)' & \text{para } j = 1 \\ (0, -(t_{i,t} + t_{s,t}), \xi_t)' & \text{para } j = 2 \\ (\xi_t, -(t_{i,t} + t_{s,t}), 0)' & \text{para } j = 3 \\ (0, (\xi_t - t_{i,t}), -t_{s,t})' & \text{para } j = 4 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\forall t \in \{0, 1, \dots, T\}, T < \infty$$

Donde ξ_t es la función de transición de uso del suelo y ' indica traspuesto.

$$\xi_t = \begin{cases} x_{320,t-1} + x_{320,t-1}^g & \text{para } j = 1 \\ x_{320,t-1} + x_{320,t-1}^g + s_{196,t-1} + s_{194,t-1}^g & \forall j \neq 1 \end{cases} \quad (3.4)$$

3.3.3 Leyes de movimiento de los vectores de estado

Para cada vector de estado se define una ley de movimiento que establece la evolución en el tiempo de los estados controlados.

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_t + \mathbf{z}_{t+1} \\ \mathbf{x}_{a,t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{z}_{a,t+1} \\ \mathbf{s}_{t+1} &= \mathbf{A}_n\mathbf{s}_t + \mathbf{v}_{t+1} \\ \mathbf{s}_{a,t+1} &= \mathbf{A}_a\mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{v}_{a,t+1} \\ \mathbf{d}_{t+1} &= \mathbf{d}_t + \mathbf{u}_{t+1} \end{aligned} \right\} \forall t \in \{0, 1, \dots, T-1\}, T < \infty \quad (3.5)$$

Donde \mathbf{T} , \mathbf{A}_n , y \mathbf{A}_a , son matrices de transición con todos sus elementos ceros a excepción de una diagonal de unos situada justo por debajo de la diagonal principal. \mathbf{T} tiene dimensión 321x321, \mathbf{A}_n es 197x197 y \mathbf{A}_a 195x195.

3.3.4 Restricción global de recursos

Todo el análisis supone que los propietarios no aumentan ni reducen el tamaño de sus fincas mediante la compra o venta de tierra. Es decir, se establece que la superficie total de cada finca permanece constante en el tiempo. Denotando un vector fila de unos y dimensión n como $\mathbf{i}(n)$, la restricción global de recursos toma la siguiente forma.

$$\begin{aligned} \mathbf{i}(321) \cdot (\mathbf{x}_t + \mathbf{x}_{a,t}) + \mathbf{i}(197) \cdot \mathbf{s}_t + \mathbf{i}(195) \cdot \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{i}(3) \cdot \mathbf{d}_t &= S_j \\ \forall j \in \{1, \dots, 4\} \text{ y } t \in \{0, 1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Donde S_j es la superficie agraria útil en hectáreas de la finca j , definida en la ecuación (2.47).

3.3.5 Restricciones de no negatividad

Las superficies a reforestar mediante plantación artificial o regeneración natural del arbolado adulto ya existente no pueden ser negativas en ningún momento.

$$n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (3.7)$$

Además, para el caso del regenerado natural deben definirse límites superiores. Esencialmente, la superficie a regenerar no puede superar el número de hectáreas arboladas en edad crítica de regeneración natural.

$$\left. \begin{aligned} n_{i,t} &\leq x_{249,t-1} \\ n_{i,t}^a &\leq x_{249,t-1}^a \\ n_{s,t} &\leq s_{143,t-1} \\ n_{s,t}^a &\leq s_{141,t-1}^a \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (3.8)$$

Los límites superiores asociados a las superficies de plantación artificial se definen específicamente para cada caso de estudio. La superficie de reforestación no puede sobrepasar en ningún caso la superficie de suelo desarbolado sobre la que se supone que la reforestación es viable. Como se establece en la expresión (3.3), la plantación artificial de encinas se realiza en todos los casos de estudio sobre el pastizal desarbolado. Las plantaciones de alcornocal tienen lugar sobre el matorral en F4 y sobre el pastizal en F2 y en F3 (*cf.* supuesto **S6**, apartado 1.8).

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 1 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 2 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 3 \\ t_{s,t} &\leq d_{3,t} \\ t_{i,t} &\leq d_{2,t-1} + \xi_t && \text{para } j = 4 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T < \infty \quad (3.9)$$

Las distribuciones iniciales de usos del suelo de cada finca muestran superficies desarboladas susceptibles de ser reforestadas muy extensas. Si no se impone un límite por debajo de los establecidos en la expresión (3.9), los recursos totales de reforestación podrían ser agotados en un sólo período de decisión. Esto no es aceptable ni desde el punto de vista de la actual legislación, que establece un límite en el número de hectáreas reforestadas con derecho a recibir las ayudas públicas, ni desde el punto de vista del supuesto **S2** (apartado 1.8). Un criterio razonable puede ser limitar el número máximo de hectáreas en $\frac{S_{i,j}^n}{250}$, en el caso del encinar, y $\frac{S_{s,j}^n}{144}$, en el caso del alcornocal (ver expresiones (2.28) y (2.32)). Estas superficies corresponden al tamaño del rodal con encinas o alcornocales de igual edad si la dehesa arbolada estuviese ordenada en estado estacionario. Como $S_{s,3}^n = 0$, se establece el límite para F3 en un porcentaje de la superficie inicial de pastizal, $\frac{.25 \cdot d_{2,0}}{144}$.

$$\begin{aligned} n_{i,t} + n_{i,t}^a + t_{i,t} &\leq \frac{S_{i,j}^n}{250} & \forall j \in \{1, \dots, 4\} \text{ y } t \in \{1, \dots, T\} \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{S_{s,j}^n}{144} & j = 2, 4 \text{ y } t \in \{1, \dots, T\} \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{.25 \cdot d_{2,0}}{144} & j = 3 \text{ y } t \in \{1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Este conjunto de restricciones puede justificarse a la luz de los resultados obtenidos en el Capítulo anterior, que anticipan que para el agente social maximizador de renta total social, la ordenación del encinar y el alcornocal en estado estacionario constituye la opción de gestión agroforestal preferida, aportando niveles de RTS superiores a los ofrecidos por la ordenación actual del arbolado, ya sea gestionado de manera sustentable o por el contrario, bajo una selvicultura sin regeneración natural continuada. Por otro lado y como ya se ha anticipado en el párrafo anterior, las expresiones en (3.10) actúan a su vez como restricciones presupuestarias para el agente social. La Tabla 3.1 muestra las superficies normalizadas de encinar, $S_{i,j}^n$, alcornocal, $S_{s,j}^n$, y pastizal desarbolado, $d_{2,0}$, en $t = 0$ para cada una de las fincas de dehesas estudiadas.

Tabla 3.1. Superficie normalizada en hectáreas de encinar, alcornocal y pastizal en $t = 0$, para cada finca, j .

Finca, j	$S_{i,j}^n$	$S_{s,j}^n$	$d_{2,0}$
1	100.15		103.85
2	28.35	59.03	150.62
3	246.24		1,131.76
4	295.58	456.86	1,676.57

Las restricciones descritas en (3.8), (3.9), y (3.10) pueden parecer a primera vista redundantes. La realidad es que generalmente cuando una se satura la otra está inactiva. Mientras que las restricciones (3.8) y (3.9) alertan de la existencia o no de terreno para regenerar o reforestar, la expresión (3.10) distribuye uni-

formemente en el tiempo las intervenciones de plantación y regenerado natural del arbolado, imponiendo al largo plazo la ordenación del arbolado en estado estacionario.

3.3.6 Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales del problema de optimización dinámica se obtienen a partir de la distribución de usos del suelo y la distribución de clases diamétricas del suelo arbolado. El proceso de normalización descrito en el Capítulo 2 permite calcular con la información de las Tablas 2.1 y 2.2 las superficies normalizadas del suelo arbolado en el momento inicial (expresiones (2.27) y (2.31)). Los vectores de estado iniciales se forman mediante la ordenación de esta información según usos del suelo y edad del arbolado.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_0 &= \begin{pmatrix} x_{0,0} \\ \vdots \\ x_{320,0} \end{pmatrix}; \mathbf{x}_{a,0} = \begin{pmatrix} x_{0,0}^a \\ \vdots \\ x_{320,0}^a \end{pmatrix}; \mathbf{s}_0 = \begin{pmatrix} s_{0,0} \\ \vdots \\ s_{196,0} \end{pmatrix}; \\ \mathbf{s}_{a,0} &= \begin{pmatrix} s_{0,0}^a \\ \vdots \\ s_{194,0}^a \end{pmatrix}; \mathbf{d}_0 = \begin{pmatrix} d_{1,0} \\ d_{2,0} \\ d_{3,0} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.3.7 Función objetivo

La función objetivo representa el criterio bajo el cual un determinado agente social o privado toma decisiones. En este caso se establece que los agentes maximizan el valor actual neto de la renta asociada a un determinado uso del suelo. Al contrario que en el Capítulo anterior, el análisis se realiza a horizonte temporal finito, y consecuentemente, es necesario considerar la renta de la tierra a lo largo del período de decisión. Para los usos del suelo arbolado se utilizan las funciones de precio de la tierra según la edad, τ , del encinar y el alcornocal estimadas en Martín *et al.* (2001) y Campos *et al.* (2002c), y transformadas a euros por hectárea.

$$\begin{aligned} f_i(\tau) &= a_i\tau^3 + b_i\tau^2 + c_i\tau + d_i \\ \forall \tau &\in \{0, 1, \dots, 320\} \\ f_s(\tau) &= a_s\tau^3 + b_s\tau^2 + c_s\tau + d_s \\ \forall \tau &\in \{0, 1, \dots, 196\} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Los valores concretos de los parámetros a_q , b_q , c_q , y d_q se encuentran en el Apéndice 3.8 de este Capítulo, p. 210. Los vectores fila de precio de la tierra tanto para el suelo arbolado, \mathbf{f}_i , \mathbf{f}_s , y $\mathbf{f}_{s,a}$, como desarbolado, \mathbf{f}_d , se presentan a continuación.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{f}_i &= (f_i(0) \quad f_i(1) \quad \cdots \quad f_i(320)) \\
 \mathbf{f}_s &= (f_s(0) \quad f_s(1) \quad \cdots \quad f_s(196)) \\
 \mathbf{f}_{s,a} &= (f_s(0) \quad f_s(1) \quad \cdots \quad f_s(194)) \\
 \mathbf{f}_d &= (p_{ct} \quad p_p \quad p_m)
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

En donde las columnas de \mathbf{f}_d representan el precio en euros de la hectárea de cultivo, de pastizal y matorral (los valores de p_{ct} , p_p y p_m se encuentran en la Tabla 2.4 y el Apéndice 3.8.3). Las columnas de \mathbf{f}_i son los precios por hectárea de encinar ya proceda de regeneración natural o plantación artificial. Las de \mathbf{f}_s y $\mathbf{f}_{s,a}$ corresponden a los precios de la hectárea de alcornocal procedente de regeneración natural y plantación artificial, respectivamente, según la edad τ del arbolado.

El problema de decisión se plantea tanto para un agente privado, es decir, el propietario de una finca, como para un agente social o planificador central. Se establece que el agente privado maximiza el valor actual neto de la renta de capital privada a coste de los factores (RCPcf) y el agente social el de la renta total social (RTS). No obstante, se resuelve además para la renta de capital privada a precios de mercado (RCPpm) y la renta de capital social (RCS). En el caso de la maximización de la RCPpm, puede interpretarse como el problema de decisión al que se enfrenta un agente privado en ausencia de subvenciones e impuestos, es decir, una situación en la que sólo actúan las fuerzas del mercado. En el caso de la renta de capital social, se refiere al problema de un planificador central no benevolente, que integra en su función objetivo las rentas de trabajo como gasto y no beneficio. Las cuatro variables se evalúan tanto en su nivel normal como mínimo, resultando un total de ocho problemas de optimización por cada caso de estudio.

Los siguientes vectores fila representan los niveles de renta anual asociados a un uso determinado del suelo arbolado y desarbolado.

$$\begin{aligned}
\mathbf{y}^{i,n} &= (y_0^{i,n} \quad y_1^{i,n} \quad \cdots \quad y_{320}^{i,n}) \\
\mathbf{y}^{i,a} &= (y_0^{i,a} \quad y_1^{i,a} \quad \cdots \quad y_{320}^{i,a}) \\
\mathbf{y}^{s,n} &= (y_0^{s,n} \quad y_1^{s,n} \quad \cdots \quad y_{196}^{s,n}) \\
\mathbf{y}^{s,a} &= (y_0^{s,a} \quad y_1^{s,a} \quad \cdots \quad y_{194}^{s,a}) \\
\mathbf{y}^{i,d} &= (y_{ct}^i \quad y_p^i \quad y_m^i) \quad \text{para } j = 1, 3. \\
\mathbf{y}^{s,d} &= (y_{ct}^s \quad y_p^s \quad y_m^s) \quad \text{para } j = 2, 4.
\end{aligned} \tag{3.14}$$

Donde $\mathbf{y}^{i,n}$ e $\mathbf{y}^{i,a}$ están asociados al encinar procedente de regeneración natural y plantación artificial, respectivamente, y se construyen con las variables de renta definidas en las expresiones (2.5) y (2.8). Se entiende que $y_\tau^{i,n} = y_\tau^{i,a} = y_\tau^{i,nr}$ para $\tau = 250, \dots, 320$. Los vectores asociados al alcornocal, $\mathbf{y}^{s,n}$ y $\mathbf{y}^{s,a}$, se elaboran a partir de las expresiones (2.15) y (2.19). En este caso se tiene que $y_\tau^{s,n} = y_\tau^{s,nr}$ para $\tau = 144, \dots, 196$, e $y_\tau^{s,a} = y_\tau^{s,a,nr}$ para $\tau = 142, \dots, 194$. Cada uno de los elementos $y_\tau^{i,n}$ o $y_\tau^{s,n}$ es la renta anual en euros de una hectárea de encinar o alcornocal de edad τ . En el caso de los usos del suelo desarbolado, se distingue entre $\mathbf{y}^{i,d}$ e $\mathbf{y}^{s,d}$, dependiendo si el caso de estudio es predominantemente de encinar (F1 y F3) o alcornocal (F2 y F4) (cf. expresión (2.1)). Cada una de las filas representa la renta en euros de la hectárea de cultivo al tercio de cereal, y_{ct} , de pastizal, y_p , y matorral, y_m .

Suponiendo que el agente decisor maximiza el valor actual neto a horizonte temporal finito de la renta asociada a la hectárea media de la finca de dehesa j , la función objetivo toma la siguiente forma.

$$\begin{aligned}
F_j &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{t=0}^T \delta^t [\mathbf{y}^{i,n} \mathbf{x}_t + \mathbf{y}^{i,a} \mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{y}^{s,n} \mathbf{s}_t + \mathbf{y}^{s,a} \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{y}^{q,d} \mathbf{d}_t] - \right. \\
&\quad - [\mathbf{f}_i (\mathbf{x}_0 + \mathbf{x}_{a,0}) + \mathbf{f}_s \mathbf{s}_0 + \mathbf{f}_{s,a} \mathbf{s}_{a,0} + \mathbf{f}_d \mathbf{d}_0] + \\
&\quad \left. + \delta^T [\mathbf{f}_i (\mathbf{x}_T + \mathbf{x}_{a,T}) + \mathbf{f}_s \mathbf{s}_T + \mathbf{f}_{s,a} \mathbf{s}_{a,T} + \mathbf{f}_d \mathbf{d}_T] \right\}
\end{aligned} \tag{3.15}$$

$$q = \begin{cases} i \text{ (ilex)} & \text{para } j = 1, 3. \\ s \text{ (suber)} & \text{para } j = 2, 4. \end{cases}$$

En donde S_j es la superficie agraria útil en hectáreas de la finca j , y δ es la función de descuento definida en (2.3). El segundo término de la expresión (3.15) es el valor estimado por la compra del activo dehesa en el instante inicial,

$t = 0$, mientras que el tercer y último término es el valor presente de la venta del activo dehesa al final del horizonte temporal, $t = T$. La suma de ambos términos define la renta de la tierra correspondiente a los $T + 1$ años del período de decisión.

3.3.8 Gradiente de la función objetivo

El gradiente de la función objetivo aporta información esencial e intuitiva sobre el cómo y el por qué se llegan a los resultados expuestos en el apartado 3.5. Respecto al cómo, el gradiente de la función objetivo actúa en la función `linprog` (ver apartado 3.4) como primera puerta o puerta de entrada, indicando el momento en el que las variables de control pueden tomar valores positivos. El por qué tiene que ver con el significado que guarda el gradiente de la función objetivo del problema formulado en (3.24).

Los siguientes vectores ordenan cada una de las variables de control $n_{i,t}$, $n_{i,t}^a$, $n_{s,t}$, $n_{s,t}^a$, $t_{i,t}$, y $t_{s,t}$, en el tiempo.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{n}_i &= (n_{i,1} \quad n_{i,2} \quad \cdots \quad n_{i,T})' \\
 \mathbf{n}_i^a &= (n_{i,1}^a \quad n_{i,2}^a \quad \cdots \quad n_{i,T}^a)' \\
 \mathbf{n}_s &= (n_{s,1} \quad n_{s,2} \quad \cdots \quad n_{s,T})' \\
 \mathbf{n}_s^a &= (n_{s,1}^a \quad n_{s,2}^a \quad \cdots \quad n_{s,T}^a)' \\
 \mathbf{t}_i &= (t_{i,1} \quad t_{i,2} \quad \cdots \quad t_{i,T})' \\
 \mathbf{t}_s &= (t_{s,1} \quad t_{s,2} \quad \cdots \quad t_{s,T})'
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

Se define el gradiente de la función objetivo de la expresión (3.15) para una determinada finca de estudio j como,

$$\begin{aligned}
 \mathbf{G}_j &= \frac{dF_j}{\{dn_{i,t}, dn_{i,t}^a, dn_{s,t}, dn_{s,t}^a, dt_{i,t}, dt_{s,t}\}_{t=1}^{t=T}} \\
 \mathbf{G}_j &= (\mathbf{G}_{\mathbf{n}_i}, \mathbf{G}_{\mathbf{n}_i^a}, \mathbf{G}_{\mathbf{n}_s}, \mathbf{G}_{\mathbf{n}_s^a}, \mathbf{G}_{\mathbf{t}_i}, \mathbf{G}_{\mathbf{t}_s}) \\
 \mathbf{G}_{\mathbf{n}_i} &= \frac{\partial F_j}{\partial \mathbf{n}_i} = \left(\frac{\partial F_j}{\partial n_{i,1}}, \frac{\partial F_j}{\partial n_{i,2}}, \cdots, \frac{\partial F_j}{\partial n_{i,T}} \right) \\
 &\quad \vdots \\
 \mathbf{G}_{\mathbf{t}_s} &= \frac{\partial F_j}{\partial \mathbf{t}_s} = \left(\frac{\partial F_j}{\partial t_{s,1}}, \frac{\partial F_j}{\partial t_{s,2}}, \cdots, \frac{\partial F_j}{\partial t_{s,T}} \right); \\
 &\quad \forall j \in \{1, \dots, 4\}
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

La expresión exacta de la derivada de la función objetivo respecto de la variable de regeneración natural sobre encinar adulto procedente de regeneración natural, $n_{i,t}$, en cada momento del tiempo t , corresponde a la expresión (3.18).

$T - t \leq 70$:

$$\frac{\partial F_j}{\partial n_{i,t}} = \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{250+k-t}^{i,n} \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_i(250+T-t)] \right\}; \forall j \in \{1, \dots, 4\}$$

$$\text{Sea } V_i(t) = \sum_{k=t}^{70+t} \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{250+k-t}^{i,n} \right) \right]$$

$T - t > 70$:

$$\frac{\partial F_j}{\partial n_{i,t}} = \frac{1}{S_j} \left\{ V_i(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{ct}^i \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(1)] \right\}; \text{ para } j = 1, 3 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial n_{i,t}} = \frac{1}{S_2} \left\{ V_i(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_m^s \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(3)] \right\}$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial n_{i,t}} = \frac{1}{S_4} \left\{ V_i(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_p^s \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(2)] \right\}$$

Las variables de renta y que entran en las expresiones de gradiente con signo positivo corresponden siempre al uso del suelo asociado a la variable de control. Por otro lado, las que entran con signo negativo corresponden al uso del suelo en caso de que la variable de control sea cero. Lo mismo ocurre con las funciones de precio de la tierra f .

En definitiva, se está midiendo la diferencia en valor actual neto a horizonte temporal $T < \infty$ asociada a una decisión de intervención futura positiva frente a la alternativa de no intervención o *dejar estar*. No sería correcto² hablar de valor actual neto a horizonte temporal finito puesto que en las expresiones que definen el gradiente de la función objetivo, está siempre ausente el valor de compra del activo en $t = 0$, así como las rentas anuales entre el período inicial y el período

²Podía darse un caso especial en el que a un agente se le prometiese hoy el regalo de un terreno transcurridos t años. En ese caso, los términos que entran con signo positivo y negativo definen de manera independiente el valor actual neto a horizonte temporal finito de las diferentes alternativas de gestión para este afortunado propietario.

previo al año en el que tiene lugar la intervención. Si es correcto, no obstante, hablar en términos de diferencias en valor actual neto. Esto es, la comparación de uso del suelo o tipo de gestión se realiza sobre una única superficie, por ello que el precio del activo se paga en $t = 0$ y su cantidad depende del uso adscrito al suelo en ese determinado período. Las rentas anuales entre el período inicial y $t - 1$ son las mismas independientemente del uso que se decida en t . Cuando se evalúan las dos alternativas y se toman las diferencias, tanto el precio de compra en $t = 0$ como el valor presente de las rentas correspondientes al período de t años se cancelan.

Pues bien, estas diferencias en valor actual neto (con $T < \infty$) representan el coste de oportunidad por unidad de superficie evaluado en $t = 0$ en el que incurre un determinado agente cuando interviene en período $t > 0$ en la forma de regeneración natural del arbolado adulto y/o plantación artificial sobre suelo desarbolado. Dicho de otro modo, para todas y cada una de las variables de control ($6 \cdot T$ variables), cada componente del gradiente de la función objetivo representa el coste de oportunidad evaluado en el período inicial y expresado en euros por unidad de superficie igual a $\frac{1}{S_j}$ hectáreas, en el que incurre un agente decisor al asignar valores positivos a una determinada variable de control en $t > 0$. Esto es así gracias a la naturaleza lineal del problema de optimización dinámica formulado, que además de ofrecer un gradiente con el conjunto completo de costes de oportunidad de usos del suelo en cada momento del tiempo y para las finca de dehesa consideradas, garantiza unicidad en todas las soluciones requeridas.

Para horizontes temporales inferiores a los 70 años en el caso del encinar y los 52 en el alcornocal, la opción alternativa a la regeneración natural es permitir el envejecimiento gradual del arbolado adulto. Si el horizonte temporal supera estos límites, es necesario además tener en cuenta la renta asociada a los usos del suelo desarbolado de transición. En particular, el cultivo al tercio de cereal en F1 y F3, el pastizal en F4 y el matorral en F2 (*cf.* supuesto **S5**, apartado 1.8). Respecto de las variables de plantación artificial, el gradiente mide el coste de oportunidad (por unidad de superficie) en el que incurre un agente cuando decide reforestar sobre superficie desarbolada. Las reforestaciones se realizan en todos los casos de estudio sobre pastizal desarbolado, salvo en el caso de las de alcornoque en F4, que se realizan sobre superficies de matorral (*cf.* supuesto **S6**, apartado 1.8, y expresión (3.3)).

Se presentan a continuación las funciones restantes que completan el vector gradiente de la expresión (3.17) correspondiente a la función objetivo formulada en (3.15).

Las derivadas de la función objetivo respecto de la variable de control que representa la regeneración natural del encinar adulto procedente de plantación artificial son esencialmente las mismas que en el caso anterior de la expresión (3.18). La única diferencia se debe a las variables de renta correspondientes al encinar adulto con edad superior a la crítica de regeneración natural. En el primer caso corresponde a $y_{250+k-t}^{i,n}$, y en el segundo a $y_{250+k-t}^{i,a}$.

Las expresiones de gradiente para las variables de control correspondientes a

la regeneración natural del alcornocal adulto procedente de regeneración natural y plantación artificial aparecen reflejadas en (3.20) y (3.21), respectivamente.

Por último, las derivadas de la función objetivo respecto de las variables de control de plantación artificial de encinas y alcornos se expresan en las expresiones (3.22) y (3.23), respectivamente.

En ambos casos y al contrario que en los anteriores de regeneración natural, el uso alternativo a la plantación artificial (control positivo) es siempre la opción de uso desarbolado, en particular el pastizal en todos los casos salvo la ya mencionada excepción de plantación de alcornos sobre matorral en F4 (cf. supuesto **S6**, apartado 1.8, y expresión (3.23)).

Las expresiones de gradiente (3.18)-(3.23) son en todos los casos de estudio válidas para cualquier horizonte temporal T inferior a la longitud del ciclo completo de no regeneración natural del alcornocal, es decir, $T < 194$.

$T - t \leq 70$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial n_{i,t}^a} = \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{250+k-t}^{i,a} \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_i(250+T-t)] \right\}; \forall j \in \{1, \dots, 4\} \end{aligned}$$

$$\text{Sea } V_{i,a}(t) = \sum_{k=t}^{70+t} \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{250+k-t}^{i,a} \right) \right]$$

$T - t > 70$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial n_{i,t}^a} = \frac{1}{S_j} \left\{ V_{i,a}(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_{ct}^i \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(1)] \right\}; \text{ para } j = 1, 3 \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_2}{\partial n_{i,t}^a} = \frac{1}{S_2} \left\{ V_{i,a}(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_m^s \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(3)] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_4}{\partial n_{i,t}^a} = \frac{1}{S_4} \left\{ V_{i,a}(t) + \sum_{k=71+t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,n} - y_p^s \right) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(2)] \right\} \end{aligned}$$

$T - t \leq 52 :$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial n_{s,t}} = \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{144+k-t}^{s,n}) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_s(144+T-t)] \right\}; \forall j \in \{1, \dots, 4\} \end{aligned}$$

$$\text{Sea } V_s(t) = \sum_{k=t}^{52+t} \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{144+k-t}^{s,n}) \right]$$

$T - t > 52 :$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial n_{s,t}} = \frac{1}{S_j} \left\{ V_s(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{ct}^i) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(1)] \right\}; \text{ para } j = 1, 3 \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_2}{\partial n_{s,t}} = \frac{1}{S_2} \left\{ V_s(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_m^s) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(3)] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_4}{\partial n_{s,t}} = \frac{1}{S_4} \left\{ V_s(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_p^s) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(2)] \right\} \end{aligned}$$

$T - t \leq 52 :$

$$\frac{\partial F_j}{\partial n_{s,t}^a} = \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{142+k-t}^{s,a}) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_s(142+T-t)] \right\}; \forall j \in \{1, \dots, 4\}$$

$$\text{Sea } V_{s,a}(t) = \sum_{k=t}^{52+t} \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{142+k-t}^{s,a}) \right]$$

$T - t > 52 :$

$$\frac{\partial F_j}{\partial n_{s,t}^a} = \frac{1}{S_j} \left\{ V_{s,a}(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_{ct}^i) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(1)] \right\}; \text{ para } j = 1, 3 \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial n_{s,t}^a} = \frac{1}{S_2} \left\{ V_{s,a}(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_m^s) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(3)] \right\}$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial n_{s,t}^a} = \frac{1}{S_4} \left\{ V_{s,a}(t) + \sum_{k=53+t}^T \left[\delta^k (y_{k-t}^{s,n} - y_p^s) \right] + \right. \\ \left. + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(2)] \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial t_{i,t}} &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,a} - y_p^i \right) \right] + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(2)] \right\} \\ &\text{para } j = 1, 3 \\ \frac{\partial F_j}{\partial t_{i,t}} &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{i,a} - y_p^s \right) \right] + \delta^T [f_i(T-t) - f_d(2)] \right\} \\ &\text{para } j = 2, 4 \end{aligned} \tag{3.22}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_j}{\partial t_{s,t}} &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{s,a} - y_p^s \right) \right] + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(2)] \right\} \\ &\text{para } j = 2 \\ \frac{\partial F_j}{\partial t_{s,t}} &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{s,a} - y_p^i \right) \right] + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(2)] \right\} \\ &\text{para } j = 3 \\ \frac{\partial F_j}{\partial t_{s,t}} &= \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{k=t}^T \left[\delta^k \left(y_{k-t}^{s,a} - y_m^s \right) \right] + \delta^T [f_s(T-t) - f_d(3)] \right\} \\ &\text{para } j = 4 \end{aligned} \tag{3.23}$$

3.3.9 El problema de control óptimo

Para cada una de las fincas de dehesa, dada una tasa de descuento anual r , y un horizonte temporal $T \in \{25, 50, 100\}$, se resuelven ocho problemas diferentes, asociados cada uno de ellos a una variable de renta económica diferente. El objetivo de este apartado es ofrecer la formulación completa del problema de optimización dinámica planteado para cada caso de estudio (ver también el Apéndice 3.8 ubicado al final de este Capítulo, donde se presentan el conjunto de ecuaciones que definen el modelo así como las variables y algunos de los valores concretos de los parámetros).

$$\max_{\{n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t}\}_{t=1}^{t=T}} F_j$$

sujeto a:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_t + \mathbf{z}_{t+1} \\ \mathbf{x}_{a,t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{z}_{a,t+1} \\ \mathbf{s}_{t+1} &= \mathbf{A}_n\mathbf{s}_t + \mathbf{v}_{t+1} \\ \mathbf{s}_{a,t+1} &= \mathbf{A}_a\mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{v}_{a,t+1} \\ \mathbf{d}_{t+1} &= \mathbf{d}_t + \mathbf{u}_{t+1} \end{aligned} \right\} \forall t \in \{0, 1, \dots, T-1\}, T < \infty$$

$$\mathbf{i}(321) \cdot (\mathbf{x}_t + \mathbf{x}_{a,t}) + \mathbf{i}(197) \cdot \mathbf{s}_t + \mathbf{i}(195) \cdot \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{i}(3) \cdot \mathbf{d}_t = S_j \\ \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$\left. \begin{aligned} n_{i,t} &\leq x_{249,t-1} \\ n_{i,t}^a &\leq x_{249,t-1}^a \\ n_{s,t} &\leq s_{143,t-1} \\ n_{s,t}^a &\leq s_{141,t-1}^a \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (3.24)$$

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 1 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 2 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 3 \\ t_{s,t} &\leq d_{3,t} && \text{para } j = 4 \\ t_{i,t} &\leq d_{2,t-1} + \xi_t && \text{para } j = 4 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$\left. \begin{aligned} n_{i,t} + n_{i,t}^a + t_{i,t} &\leq \frac{S_{i,i}^n}{250} && \forall j \in \{1, \dots, 4\} \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{S_{s,j}^n}{144} && j = 2, 4 \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{.25 \cdot d_{2,0}}{144} && j = 3 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_{a,0}, \mathbf{s}_0, \mathbf{s}_{a,0}, \mathbf{d}_0$, y T dados.

3.4 Método de solución

El problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito formulado en el apartado anterior puede resolverse numéricamente mediante programación matemática puesto que todos los parámetros y funciones del sistema son conocidos (Cerdá, 2001). La herramienta informática utilizada para resolver los diferentes problemas de control óptimo es el *Optimization Toolbox* Versión 2.0 del programa MATLAB[®] Versión 5.3 (*Release 11*). Borse (1997) presenta un apéndice introductorio completo de programación con MATLAB[®].

La naturaleza lineal de todo el problema de optimización dinámica, tanto en su función objetivo como en las restricciones, aconseja la utilización de métodos de programación lineal. Dentro del *Optimization Toolbox*, se utiliza la función `linprog`, que resuelve el siguiente problema de optimización.

$$\begin{aligned} \min_x f'x \quad \text{s.a.} \quad & A \cdot x \leq b \\ & A_{eq} \cdot x = b_{eq} \\ & lb \leq x \leq up \end{aligned} \tag{3.25}$$

En donde f , x , b , b_{eq} , lb , up son vectores y A y A_{eq} son matrices.

El objetivo de este apartado es ilustrar los rasgos más significativos a la hora de programar el problema de optimización dinámica propuesto. En el Apéndice computacional puede encontrarse el código MATLAB[®] correspondiente a las tres funciones principales que resuelven el problema de control óptimo mediante el uso de la función `linprog`.

A través de la función `aim4dm`, se aportan los argumentos de entrada necesarios para comenzar el proceso, esencialmente la finca a evaluar, `j`, la tasa de descuento anual, `r`, el horizonte temporal, `T`, el tipo de variable de renta, `type`, y los niveles de precios de corcho, `level`, y de la arroba repuesta en montanera, `levelm`. Esta función ejecuta la función de optimización `linprog` y ofrece el conjunto de resultados. Principalmente, la función objetivo del problema formulado evaluada en los caminos óptimos, `F`; la función objetivo óptima del problema de programación lineal, que es el producto escalar del vector gradiente por el vector de control, `fx`; la rentabilidad anual resultante de la política de gestión óptima, `rtbld`; el gradiente de la función objetivo, `GRAD`; los vectores de control óptimo, `OC`; los estados controlados *agregados* (ver apartado 3.5), `STATE`; una variable que comprueba si se cumple la restricción global de recursos en cada momento del tiempo, `RGR`; otra variable que informa acerca de si el programa ha convergido de manera exitosa, `conv`; el algoritmo utilizado, `algot`; el tiempo transcurrido hasta ofrecer la solución, `sec`; y los multiplicadores de Lagrange correspondientes a cada una de las restricciones programadas sobre las variables de control, `MLOWER` (restricciones de no negatividad), `MSMSS` (restricciones

sobre los niveles máximos permitidos de regeneración natural y reforestación), MUBNR (restricciones acerca de las existencias de recursos de regeneración natural), MUBAP (restricciones acerca de las existencias de recursos de plantación artificial) (*cf.* Apéndice 3.8.6).

La función `fgt4` define los parámetros de la función objetivo del problema de programación lineal resuelto por `linprog`, que corresponden al gradiente de la función objetivo del problema formulado.

La función `constr` contiene las restricciones sobre las variables de control, (i) restricciones de no negatividad, expresión (3.7), (ii) restricciones acerca de las existencias de recursos de regeneración natural y plantación artificial formuladas en las expresiones (3.8) y (3.9), y (iii) restricciones sobre los niveles máximos permitidos de regeneración natural y reforestación, definidos en (3.10).

El problema se resuelve sin imponer la restricción global de recursos, no obstante comprobando su cumplimiento en cada período de decisión (a través del vector RGR registrado en `aim4dm`) una vez se conocen las políticas óptimas de gestión.

3.5 Presentación y análisis de resultados

A continuación se presentan y analizan las soluciones numéricas por programación matemática al problema de control óptimo formulado en el apartado 3.3. Se consideran tres horizontes temporales diferentes ($T = \{25, 50, 100\}$), una única tasa de descuento, $r = .03$, y los niveles de precios de bienes y servicios correspondientes al año 1998. Se estudian las soluciones a los problemas de decisión del propietario y del planificador central benevolente. El ejercicio de optimización dinámica realizado para el planificador central no benevolente y el agente privado que afronta una economía en la que no existe intervención pública en forma de impuestos o subvenciones, genera idénticos caminos óptimos de las variables de control en ambos casos, de ahí que estos dos problemas de decisión sean tratados en un mismo apartado.

En primer lugar se ofrece el valor óptimo de la función objetivo de cada uno de los problemas de optimización dinámica resueltos. Seguidamente y ordenando la información según el tipo de agente decisor, se presentan las expresiones matemáticas que definen los caminos óptimos de las variables de control en cada caso de estudio.

Una forma ilustrativa de explicar la evolución en el tiempo de las distribuciones de usos del suelo de cada una de las fincas, es a partir de la representación gráfica de los estados controlados resultantes de los problemas de decisión planteados. En el caso de los vectores de estado del suelo arbolado, \mathbf{x}_t , $\mathbf{x}_{a,t}$, \mathbf{s}_t y $\mathbf{s}_{a,t}$, pueden agregarse las distintas clases de edad, obteniendo así la superficie total arbolada según especie y procedencia.

$$\begin{aligned}
\mathbf{x}(\mathbf{t}) &= \hat{x}_t = \sum_{k=0}^{320} x_{k,t} \\
\mathbf{xa}(\mathbf{t}) &= \hat{x}_{a,t} = \sum_{k=0}^{320} x_{k,t}^a \\
\mathbf{s}(\mathbf{t}) &= \hat{s}_t = \sum_{k=0}^{196} s_{k,t} \\
\mathbf{sa}(\mathbf{t}) &= \hat{s}_{a,t} = \sum_{k=0}^{194} s_{k,t}^a
\end{aligned} \tag{3.26}$$

En donde el grupo de variables $\mathbf{x}(\mathbf{t})$, $\mathbf{xa}(\mathbf{t})$, $\mathbf{s}(\mathbf{t})$, y $\mathbf{sa}(\mathbf{t})$ corresponde a la notación usada en los gráficos de las Figuras 1-13, para \hat{x}_t , $\hat{x}_{a,t}$, \hat{s}_t , y $\hat{s}_{a,t}$, los estados controlados *agregados* que representan la superficie observada cada año de encinar y alcornocal, distinguiendo entre las masas originales de regeneración natural y las recientes plantaciones artificiales.

Las superficies de suelo desarbolado se obtienen directamente del vector de estado \mathbf{d}_t . En este caso, $\mathbf{d1}(\mathbf{t})$, $\mathbf{d2}(\mathbf{t})$ y $\mathbf{d3}(\mathbf{t})$ denotan las superficies de cultivo al tercio de cereal, $d_{1,t}$, pastizal, $d_{2,t}$, y matorral, $d_{3,t}$, respectivamente, en cada uno de los años que abarca el horizonte temporal considerado.

$$\begin{aligned}
\mathbf{d1}(\mathbf{t}) &= d_{1,t} \\
\mathbf{d2}(\mathbf{t}) &= d_{2,t} \\
\mathbf{d3}(\mathbf{t}) &= d_{3,t}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

3.5.1 Valores óptimos de la función objetivo

La función objetivo (3.15) evaluada en los caminos óptimos de las variables de estado ofrece el valor actual neto a horizonte temporal finito de la hectárea media de dehesa gestionada bajo los criterios de maximización de las diferentes variables de renta. La Tabla 3.2 muestra estos valores para las fincas de encinar (F1 y F3) y alcornocal (F2 y F4), la tasa de descuento del 3 por ciento anual, y los tres horizontes temporales considerados, de 25, 50 y 100 años.

Tabla 3.2. Valores óptimos de la función objetivo en euros/ha.
 $T < \infty$ y $r = .03$

Finca	F1			F3			
	T	100	50	25	100	50	25
RCPpmm		335	268	166	831	623	446
RCPpmm		419	328	194	940	696	491
RCPcfm		1,256	1,081	802	1,291	983	690
RCPcfm		1,349	1,142	831	1,405	1,061	735
RCSm		656	525	332	1,155	887	626
RCSn		740	585	361	1,264	960	671
RTSm		992	791	516	1,441	1,071	744
RTSn		1,077	851	544	1,551	1,149	790

Finca	F2			F4			
	T	100	50	25	100	50	25
RCPpmm		1,606	1,349	954	2,324	1,914	1,336
RCPpmm		2,970	2,473	1,728	3,629	2,987	2,070
RCPcfm		1,772	1,480	1,043	2,705	2,220	1,549
RCPcfm		3,129	2,595	1,813	4,003	3,282	2,280
RCSm		1,875	1,570	1,106	2,613	2,150	1,498
RCSn		3,238	2,694	1,880	3,918	3,223	2,232
RTSm		2,087	1,735	1,221	3,024	2,472	1,706
RTSn		3,448	2,852	1,992	4,328	3,540	2,440

Resulta interesante comparar los valores presentes descontados a horizonte temporal finito de la RCPpm en la Tabla 3.2 con los valores de mercado estimados, \hat{p}_j , de la Tabla 2.6.

En un contexto de horizonte temporal finito, la tasa real de descuento del 3 por ciento anual parece reflejar adecuadamente la realidad del mercado en las fincas con alcornocal. A esta tasa de descuento, el valor actual neto a horizonte temporal finito de la RCPpmm está mucho más próximo a los precios de mercado estimados \hat{p}_j , en las dehesas con alcornocal F2 y F4, que en las de encinar, F1 y F3. En el caso de F2, un horizonte temporal de 50 años resulta en un valor de la RCPpmm levemente superior a \hat{p}_2 . En F4, la proximidad entre la RCPpmm y \hat{p}_4 es máxima con $T = 100$.

La situación es bien diferente en F1 y F3, donde en ningún caso llegan alcanzarse valores de renta de capital privada próximos a \hat{p}_j . Incluso en presencia de subvenciones netas de impuestos, es decir, en un contexto de RCPcf, el valor de mercado estimado sigue siendo muy superior a los VAN a horizonte temporal finito de la Tabla 3.2. Desde esta perspectiva de mercado, se observa en las dehesas de encinar que los horizontes temporales considerados no son lo suficientemente largos como para poder garantizar tasas mínimas de rentabilidad real privada del 3 por ciento anual.

La finca F4, seguida de F2, es la que mayor valor actual neto muestra por

hectárea, independientemente del tipo de variable de renta y horizonte temporal evaluado.

El análisis de sensibilidad realizado en la inclusión de rentas procedentes del aprovechamiento cinegético y de bellota en montanera muestra que la diferencia entre los niveles de renta mínima y normal son muy superiores en los casos con alcornocal, F2 y F4. Estas diferencias son especialmente notables en F2, donde las rentas cinegéticas y de montanera suponen incrementos de entre el 60 y el 85 por ciento, dependiendo de la variable de renta evaluada, correspondiendo los mayores aumentos a la RCPpm y los menores a la RTS. Igualmente sucede en F4, no obstante, con incrementos de renta del nivel mínimo al normal más moderados, que oscilan en torno al 40 por ciento en términos de la RTS y superan el 55 por ciento en el caso de la RCPpm. En las fincas de encinar, F1 y F3, los incrementos de renta generados por el aprovechamiento de bellota de encina en montanera no superan en ningún caso el 25 por ciento, con mínimos de hasta el 4 por ciento. Se observa que la diferencia entre la renta mínima y la normal aumenta con el horizonte temporal en todos los casos de estudio, aunque destaca F4, en donde dicha diferencia es menos sensible al horizonte temporal.

Las subvenciones netas de impuestos ejercen un efecto notoriamente más pronunciado en las dehesas de encinar, F1 y F3. En F1, la inclusión de subvenciones supone aumentos de renta de capital privada que superan el 300 por ciento en la mayoría de los casos evaluados. Estos aumentos no llegan a ser del 60 por ciento en F3, tan sólo superan el 15 por ciento en F4, y oscilan entre el 5 y el 10 por ciento en F2. Los incrementos de renta son siempre mayores en un contexto de renta mínima. En las dehesas de encinar, las ganancias en renta de capital privada aumentan a medida que disminuye el horizonte temporal, mientras que en los casos con alcornocal, se observa que dichas ganancias son esencialmente iguales, con independencia del horizonte temporal considerado.

Finalmente destacar el efecto del descuento. El valor actual neto de las distintas variables de renta consideradas crece con el horizonte temporal, no obstante, este crecimiento presenta rendimientos decrecientes. De este modo, el paso de $T = 25$ a $T = 50$ genera incrementos en VAN que oscilan en torno al 40 por ciento en todos los casos de estudio a excepción de F1, que presenta incrementos ligeramente superiores al 50 por ciento. Si alternativamente se evalúa el cambio en T de 50 a 100 años, se observa que el VAN de la hectárea media de dehesa aumenta aproximadamente un 20 por ciento, salvo en F3, donde las ganancias llegan a superar el 30 por ciento.

3.5.2 Los agentes privados

Este apartado presenta y analiza las soluciones a los problemas de control óptimo de los propietarios de cada una de las fincas de dehesa para los horizontes temporales $T \in \{25, 50, 100\}$ y los escenarios de renta mínima y normal. Los propietarios toman decisiones de acuerdo al criterio de maximización del VAN de la renta de capital privada a coste de los factores generada por la hectárea media de sus dehesas.

El propietario de F1

Los caminos óptimos de las variables de control del problema de decisión al que se enfrenta el propietario de la finca de dehesa F1 son los mismos tanto en el caso de la renta mínima, sin aprovechamiento de la bellota en montanera, como en la normal, cuando la producción de bellota del encinar es aprovechada en montanera. La política de gestión óptima para el propietario tampoco varía con el horizonte temporal.

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t}^* &= \frac{S_{i,t}^n}{250} = .40 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{s,t}^* &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.28)$$

Los estados controlados *agregados* de la expresión (3.26) y los estados controlados del suelo desarbolado (expresión (3.27) correspondientes a un horizonte temporal de 100 años y el escenario de renta normal se representan en la Figura 3.1.

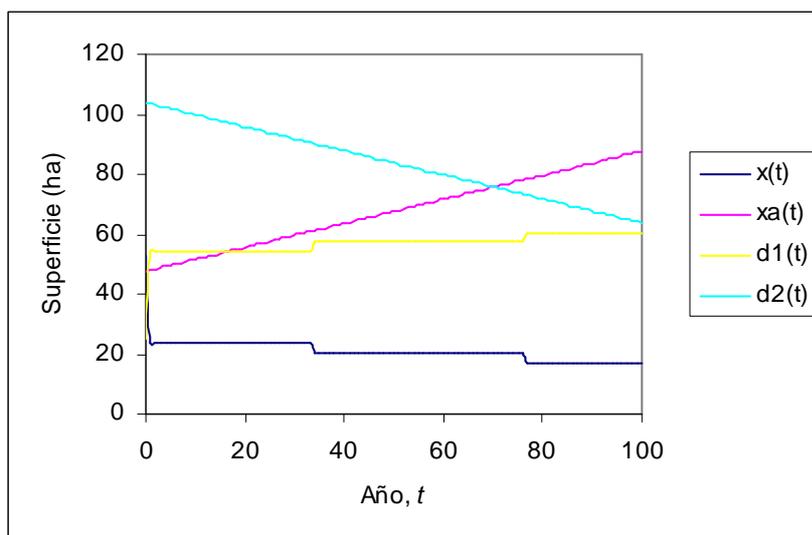


Figura 3.1. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}$, y $d_{1,t}, d_{2,t}$ del problema de decisión del propietario de F1 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Desde el punto de vista del propietario de F1, puede comprobarse que la política óptima de gestión privada conlleva un incremento gradual en la superficie de encinar procedente de plantación artificial, produciéndose un intercambio de uso del suelo de pastizal a uso arbolado de encinar. Por otro lado, el encinar adulto existente no se regenera y consecuentemente tiene lugar la transición a uso de suelo desarbolado en forma de cultivo al tercio de cereal, de ahí los escalones ascendentes en $d_1(t)$ y los descendentes en $x(t)$ observados en $t = \{1, 34, 77\}$. Como indica la Tabla 2.1, el encinar de F1 presenta encinas con

edades de 320, 287, y 244 años en $t = 0$. El tiempo transcurrido a lo largo de los 100 años que abarca el horizonte temporal es suficiente como para que estas encinas desaparezcan en ausencia de regeneración natural, en efecto en 1, 34, y 77 años respectivamente.

El propietario de F2

Si se considera un escenario de renta mínima, es decir, en ausencia de ambos aprovechamientos, caza mayor y montanera, la política de gestión óptima para el propietario de F2 no varía con el horizonte temporal.

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t}^* &= \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \\ t_{s,t}^* &= \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.29)$$

La gestión óptima privada implica un incremento gradual en las superficies de plantación artificial de encina y alcornoque en decremento de la superficie de pastizal desarbolado. No obstante, respecto de la conservación del arbolado adulto se observa una política de no regeneración natural con el consecuente incremento en la superficie de matorral desarbolado.

Si alternativamente se incluyen los aprovechamientos asociados al escenario de renta normal, las soluciones son esencialmente iguales a excepción de los problemas de decisión con horizonte temporal de 50 y 100 años, ver expresión (3.30). En estos casos, se sustituye la plantación artificial de encina por el regenerado natural del encinar adulto en un número limitado de períodos de decisión. La plantación artificial es ejemplarmente reemplazada por el regenerado natural del encinar adulto en $t = \{6, 43\}$, cuando $T = 100$, y en $t = 6$ cuando $T = 50$. En el primer caso, se regeneran encinas con edades iniciales de 244 y 207 años, en el segundo, sólo las de 244 años de edad (*cf.* Tabla 2.1). Se observa que el último regenerado natural que podría tener lugar dentro del horizonte temporal establecido, no llega a realizarse en ninguno de los tres problemas. De esta manera, el problema con $T = 100$, podría haber incluido en su programa de regeneración las encinas con edades iniciales de 175 años, el problema con $T = 50$ las encinas con edad inicial de 207 años, y las de 244 años en el problema con $T = 25$. El horizonte temporal ejerce un efecto negativo sobre la regeneración natural del encinar debido a que los rendimientos comerciales positivos del regenerado no tienen lugar inmediatamente. El coste de oportunidad captado por el gradiente de la función objetivo es favorable al aprovechamiento continuado del encinar envejecido cuando el tiempo transcurrido desde la regeneración natural no es lo suficientemente largo. De tener lugar el regenerado de las encinas mencionadas en los diferentes problemas, tendrían una edad aproximada de 25 años en $T = 100$, de 7 años en $T = 50$, y de 19 años en $T = 25$, edades todas ellas insuficientes como para ofrecer resultados favorables al regenerado natural del encinar.

$$\left. \begin{array}{l}
t_{i,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \quad \forall t \neq 6, 43 \\ 0 \quad \text{para } t = 6, 43 \end{array} \right\} \\
n_{i,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \quad \text{para } t = 6, 43 \\ 0 \quad \forall t \neq 6, 43 \end{array} \right\} \\
t_{s,t}^* = \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 \\
n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} = 0
\end{array} \right\} \forall t \in \{1, \dots, 100\} \quad T = 100$$

$$\left. \begin{array}{l}
t_{i,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \quad \forall t \neq 6 \\ 0 \quad \text{para } t = 6 \end{array} \right\} \\
n_{i,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \quad \text{para } t = 6 \\ 0 \quad \forall t \neq 6 \end{array} \right\} \\
t_{s,t}^* = \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\} \\
n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\}
\end{array} \right\} \quad T = 50 \quad (3.30)$$

$$\left. \begin{array}{l}
t_{i,t}^* = \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 \\
t_{s,t}^* = \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 \\
n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} = 0
\end{array} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T = 25$$

Por un lado, el tipo de gestión asociado a un nivel de renta normal incluye el aprovechamiento de bellota de encina en montanera. Por otro, el supuesto de transición a uso del suelo desarbolado para esta finca es el de transición a matorral, cuyo valor de mercado es inferior al de los demás (Tabla 2.4). Estas condiciones de gestión, junto a las exigencias de rentabilidad real evaluadas ($r = .03$) y las condiciones de mercado y de intervención pública del año 1998, hacen que para horizontes temporales de decisión lo suficientemente amplios, la regeneración natural del encinar adulto sea más atractiva para el propietario que la plantación artificial sobre pastizal desarbolado.

La Figura 3.2 representa los estados controlados *agregados* del suelo arbolado y los estados controlados del suelo desarbolado generados por el problema de decisión del propietario de F2 para un horizonte temporal de 100 años y el escenario de renta normal.

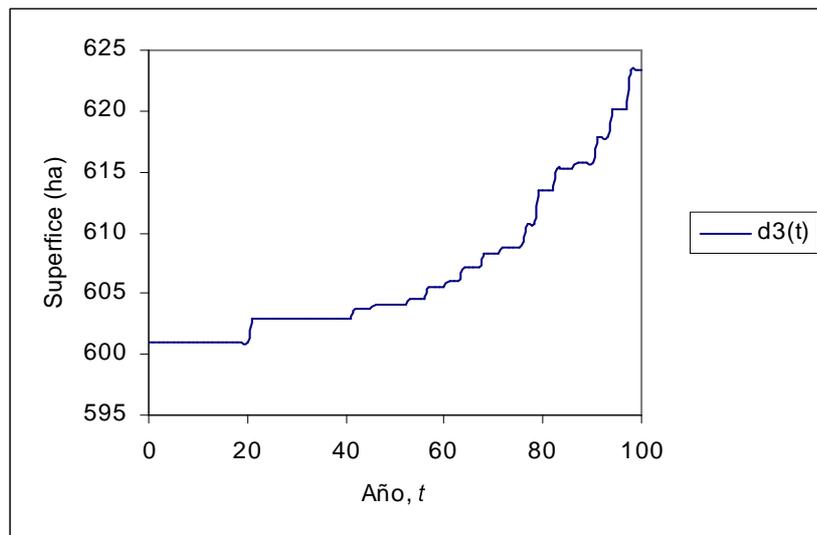
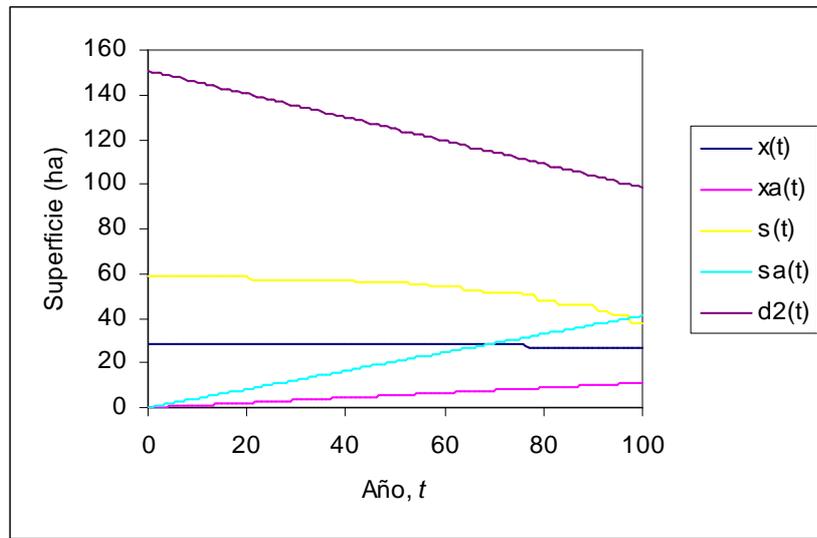


Figura 3.2. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$, y $d_{2,t}, d_{3,t}$ del problema de decisión del propietario de F2 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

El propietario de F3

Las políticas óptimas de gestión del propietario de F3 no varían ni con el horizonte temporal T , ni con el nivel de renta.

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t}^* &= \frac{S_{i,3}^n}{250} = .99 \\ t_{s,t}^* &= \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.31)$$

Los estados controlados *agregados* del suelo arbolado y los estados controlados del suelo desarbolado cuando el horizonte temporal es de 100 años se representan en la Figura 3.3.

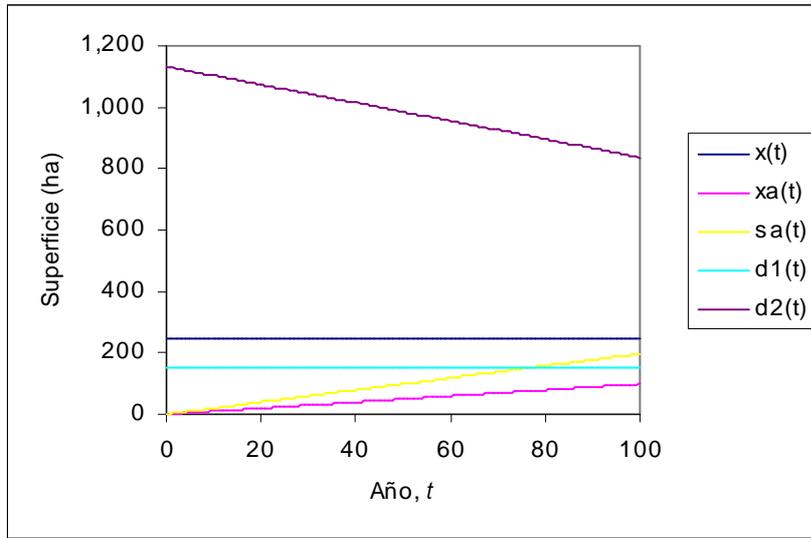


Figura 3.3. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}, \hat{s}_{a,t}$, y $d_{1,t}, d_{2,t}$ del problema de decisión del propietario de F3 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Como se observa en la Figura 3.3, los resultados de gestión óptima para el propietario de F3 implican un aumento gradual en las superficies de plantación artificial de encina y alcornoque realizadas sobre el pastizal desarbolado. El encinar existente en el período inicial es lo suficientemente joven como para no alcanzar la edad crítica de regeneración natural de 250 años en los horizontes temporales establecidos (ver Tabla 2.1), y por tanto, no tienen lugar alteraciones ni en los estados controlados *agregados* que representan las superficies de encinar procedente de regeneración natural, $x(t)$, ni en el estado controlado de cultivo al tercio de cereal, $d1(t)$.

El propietario de F4

Los caminos óptimos de las variables de control coinciden para los escenarios de renta mínima y normal y los tres horizontes temporales establecidos.

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t}^* &= \frac{S_{i,4}^n}{250} = 1.18 \\ t_{s,t}^* &= \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*} &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.32)$$

Los estados controlados de los usos del suelo desarbolado así como los de las superficies de encinar y alcornocal agregados por clases de edad se representan en la Figura 3.4 para el horizonte temporal más largo, $T = 100$, y el escenario de renta normal.

La política de gestión óptima privada en F4 resulta como en casos anteriores en un incremento continuado de las superficies de plantación artificial de encina y alcornoque.

Al igual que sucede en F3, las encinas más viejas de F4 en $t = 0$ tan sólo tienen una edad aproximada de 123 años (Tabla 2.1). El encinar existente no alcanza la edad crítica de regeneración natural en ninguno de los horizontes temporales considerados, de ahí que su superficie, $\mathbf{x}(\mathbf{t})$, permanezca constante a lo largo de todo el período de decisión. No ocurre lo mismo con el alcornocal de F4, en donde si aparecen superficies susceptibles de ser regeneradas dentro de los períodos de decisión considerados (ver Tabla 2.2). La curva $\mathbf{s}(\mathbf{t})$ muestra una evolución descendente por escalones, coincidiendo éstos en los períodos que las superficies de alcornocal envejecido alcanzan los 196 años de edad.

En este caso, las plantaciones de encina se realizan sobre pastizal desarbolado, y al mismo tiempo, este es el uso del suelo de transición una vez desaparece el arbolado envejecido de ambas especies por muerte natural (supuestos **S5** y **S6**, apartado 1.8). La ausencia de regeneración natural sobre el alcornocal adulto con la consecuente transición a pastizal desarbolado, así como las plantaciones artificiales de encina sobre pastizal, provocan la apariencia convexa de la curva de estado controlado asociada a este uso del suelo desarbolado, $\mathbf{d2}(\mathbf{t})$. Las reforestaciones de alcornocal realizadas sobre matorral resultan en una disminución gradual de la superficie dedicada a este uso del suelo desarbolado, como queda reflejado en la evolución descendente de la curva $\mathbf{d3}(\mathbf{t})$.

Desde el punto de vista de los valores óptimos de la función objetivo reflejados en la Tabla 3.2, el caso de estudio F4, seguido de F2, es sin duda alguna la finca con mayores niveles por hectárea de RCPcf en valor actual neto, independientemente del horizonte temporal y el nivel de renta evaluados. Para los horizontes temporales de 25 y 50 años, el propietario de F1 percibe mayores niveles de renta que el de F3, al presentar el encinar de F1 un grado más avanzado de madurez (ver Tablas 2.1 y 2.3). No obstante, para $T = 100$, la finca de dehesa F3, con un encinar relativamente menos envejecido, supera a F1 en términos del valor actual neto a horizonte temporal finito de la RCPcf.

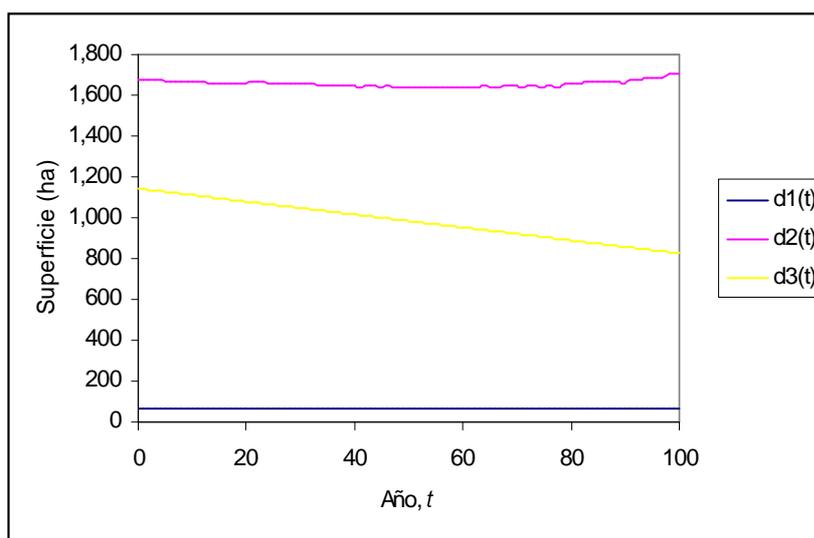
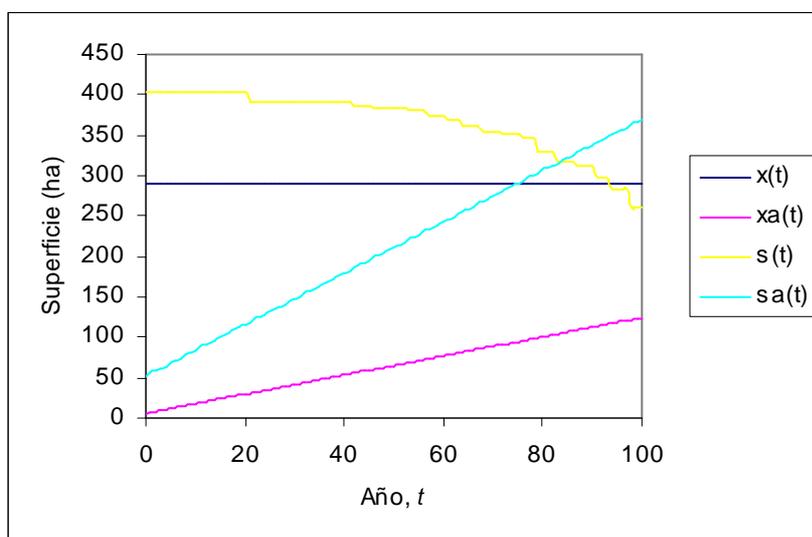


Figura 3.4. Estados controlados agregados $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$ y $d_{1,t}, d_{2,t}, d_{3,t}$ del problema de decisión del propietario de F4 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Los resultados observados para los propietarios de las distintas fincas coinciden plenamente con la experiencia observada a lo largo de los últimos años, a raíz de la aplicación del *ECC Council Regulation 2080/92* sobre reforestación en tierras agrarias, (*cf.* apartado 1.2).

El rasgo más representativo de las soluciones al problema de decisión del propietario de una finca de dehesa es la política óptima de reforestación me-

diante la plantación artificial de encina y alcornoque. En todos los problemas planteados, excepto los mencionados casos en F2 con $T = \{50, 100\}$ y en un contexto de aprovechamiento cinegético mayor y de bellota de encina en montanera (ver ecuación (3.30)), es óptimo reforestar en todos y cada uno de los períodos de decisión con ambas especies forestales (salvo en F1, donde la reforestación con alcornoque es inviable). Los supuestos de transición a uso del suelo desarbolado como cultivo al tercio de cereal y pastizal, establecidos para las fincas F1, F3 y F4, contribuyen a que las ganancias asociadas a la plantación artificial sean siempre superiores a las derivadas del regenerado natural del arbolado adulto existente en estas fincas (*cf.* expresiones (3.28), (3.29), (3.31) y (3.32)).

3.5.3 Planificador central benevolente

Se considera el problema de decisión de un planificador central benevolente que maximiza el valor actual neto a horizonte temporal finito de la renta total social (RTS) en sus niveles mínimo y normal. En este apartado se presentan y analizan las soluciones o políticas óptimas en cada uno de los casos de estudio y horizontes temporales considerados, aportando además la evolución gráfica de los estados controlados que resultan de los problemas de decisión con horizonte temporal más largo.

Caso de estudio F1

La política óptima de gestión en F1 viene dada por la expresión (3.33), independientemente del nivel de renta (mínima o normal) considerado por el planificador central benevolente.

$$\begin{aligned}
 n_{i,t}^* &= \left\{ \begin{array}{ll} \frac{S_{i,1}^n}{250} = .40 & \text{para } t = 6, 43, 75 \\ 0 & \forall t \neq 6, 43, 75 \end{array} \right\} T = 100 \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^*, t_{s,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\} \\
 n_{i,t}^* &= \left\{ \begin{array}{ll} \frac{S_{i,1}^n}{250} = .40 & \text{para } t = 6, 43 \\ 0 & \forall t \neq 6, 43 \end{array} \right\} T = 50 \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^*, t_{s,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\} \\
 n_{i,t}^* &= \left\{ \begin{array}{ll} \frac{S_{i,1}^n}{250} = .40 & \text{para } t = 6 \\ 0 & \forall t \neq 6 \end{array} \right\} T = 25 \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^*, t_{s,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 25\}
 \end{aligned} \tag{3.33}$$

Los estados controlados *agregados* del suelo arbolado así como los estados controlados del suelo desarbolado correspondientes al problema de planificación central benevolente para un horizonte temporal de 100 años se representan en la Figura 3.5.

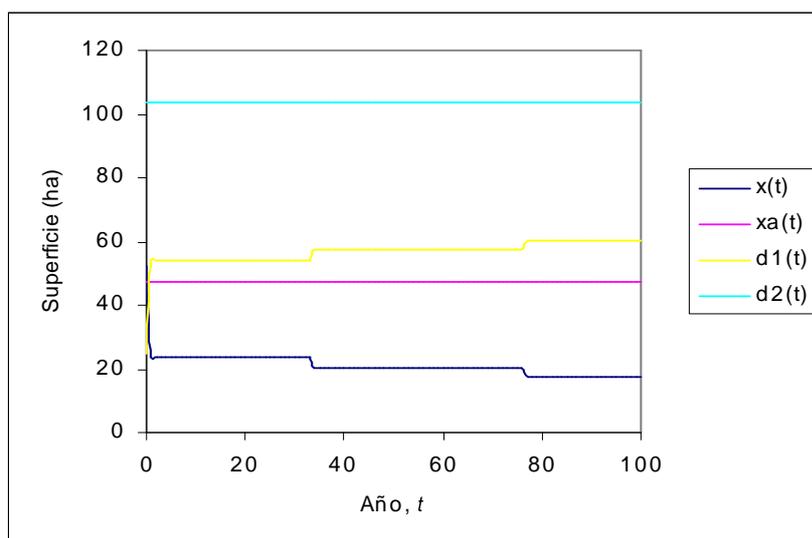


Figura 3.5. Estados controlados *agregados* \hat{x}_t , $\hat{x}_{a,t}$, y $d_{1,t}$, $d_{2,t}$ del problema de decisión del planificador central benevolente en F1 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

El problema de planificación central benevolente planteado en F1 resulta en una única forma de intervención, la regeneración natural en todos los períodos de decisión en los que aparecen superficies de encinar en edad crítica de regeneración. De este modo, cuando el horizonte temporal es de 100 años, el regenerado natural del encinar existente se realiza sobre las superficies de encinar con edades iniciales de 244, 207, y 175 en los períodos de decisión, $t = \{6, 43, 75\}$, respectivamente (*cf.* expresión (3.33) y Tabla 2.1).

La existencia de regeneración natural del encinar adulto no evita que la Figura 3.5 siga mostrando los escalones descendentes en $x(t)$ y ascendentes en $d_1(t)$ observados en el caso privado en los períodos de decisión $t = \{1, 34, 77\}$, (Figura 3.1), consecuencia de la transición del encinar envejecido al uso del suelo como cultivo al tercio de cereal. El escalón producido en $t = 77$ corresponde a las superficies normalizadas de encinar con edad inicial de 244 años que no fueron regeneradas en $t = 6$, al exceder las existencias iniciales de esta clase diamétrica el límite impuesto por la restricción en (3.10).

Las superficies de pastizal, $d_2(t)$, y de encinar procedente de plantación artificial, $x_a(t)$, se mantienen constantes en el tiempo fruto de la ausencia de reforestaciones en la política óptima de gestión central benevolente.

Caso de estudio F2

Los caminos óptimos de las variables de control del problema del planificador central benevolente en F2 coinciden para los niveles de renta mínima y normal.

Como indica la expresión (3.34), la política óptima de gestión correspondiente al regenerado natural del encinar adulto coincide plenamente con la gestión óptima resultante para el caso F1, teniendo lugar las plantaciones en los mismos períodos de decisión sobre las superficies de encinar con edad inicial de 244, 207 y 175 años (*cf.* Tabla 2.1). No obstante, en F2, donde la reforestación con alcornoque es físicamente viable, la política óptima del planificador central benevolente incluye además plantaciones artificiales de alcornoque continuadas, que tan sólo son interrumpidas en un máximo de siete veces (cuando $T = 100$) y un mínimo de dos (cuando $T = 25$) por el regenerado natural del alcornocal adulto.

Es interesante destacar que desde el punto de vista de la RTS, la regeneración natural del alcornocal³ no es sistemáticamente más atractiva que su reforestación mediante la plantación artificial. Esto es, el problema de planificación central benevolente con horizonte temporal de 100 años podría incluir regeneración natural en 26 períodos de decisión sobre las existencias iniciales de alcornocal con edades comprendidas entre 47 y 140 años (ver Tabla 2.2). En el problema con $T = 50$, la regeneración natural del alcornocal adulto sucede en 5 períodos de decisión de los 13 posibles sobre las superficies con edades iniciales entre 95 y 140 años. De los 6 períodos de decisión⁴ en los que el control asociado a la regeneración natural del alcornocal podría haber tomado valores positivos en el problema con horizonte temporal más bajo, tan sólo en $t = \{4, 19\}$ tiene lugar el regenerado del alcornocal con edades iniciales $\tau_0 = \{140, 125\}$, respectivamente.

Se observan además algunas regularidades en la generación de estos controles $n_{s,t}^*$. La regeneración natural del alcornocal adulto se realiza en dos etapas temporales distanciadas para los problemas con horizonte temporal más bajo, y en tres etapas cuando el horizonte temporal de decisión alcanza los 100 años. De este modo, el problema con $T = 25$ es el único que genera $n_{s,t}^* > 0$ en $t = 4$, el primer período de decisión en el que la regeneración del alcornocal es posible coincidiendo con el cumplimiento de la edad crítica de regeneración natural de los alcornoques con edad inicial de 140 años. A medida que aumenta el horizonte temporal, se aprecia que la plantación artificial de alcornoque sobre el pastizal desarbolado de F2 es más atractiva que la alternativa del regenerado natural, al menos durante los primeros períodos de decisión.

³ Alcornocal en edad crítica de regeneración natural, $\tau^* = 144$.

⁴ Asociados a la regeneración natural de las superficies de alcornocal con edades iniciales $\tau_0 = \{121, \dots, 140\}$.

$T = 100 :$

$$\begin{aligned}
 n_{i,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 & \text{para } t = 6, 43, 75 \\ 0 & \forall t \neq 6, 43, 75. \end{cases} \\
 n_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \text{para } t = 41, 45, 68, 71, 75, 79, 94 \\ 0 & \forall t \neq 41, 45, 68, 71, 75, 79, 94 \end{cases} \\
 t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \neq 41, 45, 68, 71, 75, 79, 94 \\ 0 & \text{para } t = 41, 45, 68, 71, 75, 79, 94 \end{cases} \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\} \\
 \left. \begin{aligned}
 n_{i,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 & \text{para } t = 6, 43 \\ 0 & \forall t \neq 6, 43 \end{cases} \\
 n_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \text{para } t = 15, 19, 23, 26, 45 \\ 0 & \forall t \neq 15, 19, 23, 26, 45 \end{cases} \\
 t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \neq 15, 19, 23, 26, 45 \\ 0 & \text{para } t = 15, 19, 23, 26, 45 \end{cases} \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\}
 \end{aligned} \right\} T = 50 \quad (3.34) \\
 \left. \begin{aligned}
 n_{i,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{i,2}^n}{250} = .11 & \text{para } t = 6 \\ 0 & \forall t \neq 6 \end{cases} \\
 n_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \text{para } t = 4, 19 \\ 0 & \forall t \neq 4, 19 \end{cases} \\
 t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \neq 4, 19 \\ 0 & \text{para } t = 4, 19 \end{cases} \\
 n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 25\}
 \end{aligned} \right\} T = 25
 \end{aligned}$$

El problema de optimización con $T = 50$ retrasa la primera entrada de regeneración natural del alcornocal al período $t = 15$, que corresponde al regenerado natural de los alcornoque con $\tau_0 = 129$. A partir de este momento se regenera el alcornocal adulto que alcanza la edad τ^* durante tres clases de edad consecutivas, $\tau_0 = \{125, 121, 118\}$, posteriormente las plantaciones artificiales vuelven a ser más lucrativas evitando el regenerado de las siguientes 4 clases de edad. Cuando el alcornocal de edad inicial $\tau_0 = 99$ alcanza su edad crítica de regeneración natural en $t = 45$ se realiza la última regeneración natural de las dos posibles dentro del horizonte temporal de 50 años.

Finalmente, para los problemas de decisión del planificador central benevolente con $T = 100$, el regenerado natural se retrasa aún más en el tiempo no comenzando hasta el período de decisión $t = 41$. En este caso se regeneran los alcornokes con edad inicial de 103 años y 4 años más tarde, en $t = 45$, sobre la siguiente clase de edad, $\tau_0 = 99$. La regeneración natural del alcornocal vuelve a interrumpirse durante las 5 siguientes clases de edad hasta alcanzar en $t = \{68, 71, 75, 79\}$ las clases de edad inicial $\tau_0 = \{76, 73, 69, 65\}$. A partir del período de decisión, $t = 79$, se produce un salto de otras 3 clases de edad hasta que en $t = 94$, las superficies de alcornocal con $\tau_0 = 50$ presentan la última intervención en forma de regenerado natural llevada a cabo en todo el horizonte temporal. Como en los horizontes temporales de 25 y 50 años, tampoco resulta óptimo el regenerado natural de la última clase de edad inicial que cumple τ^* años de edad dentro del horizonte temporal establecido, en este caso, $\tau_0 = 47$.

Para el problema con horizonte temporal más largo, la Figura 3.6 representa la evolución en el tiempo de los estados controlados del suelo arbolado *agregados* por clases de edad, así como los estados controlados de los usos del suelo desarbolado, resultantes de la política óptima establecida en (3.34).

Se observa un aumento continuado en la superficie de alcornocal procedente de plantación artificial, $\mathbf{sa}(\mathbf{t})$, en decremento de la superficie de pastizal desarbolado, $\mathbf{d2}(\mathbf{t})$. A pesar de la incidencia del regenerado natural del encinar y el alcornocal adulto, la Figura 3.6 muestra el incremento gradual en la superficie de matorral desarbolado, $\mathbf{d3}(\mathbf{t})$, consecuencia de la inevitable transición a uso del suelo desarbolado en ausencia de regeneración natural sistemática del arbolado adulto. En el caso del encinar, tan sólo se observa un salto descendiente en $\mathbf{x}(\mathbf{t})$ cuando $t = 77$, correspondiente a las encinas con $\tau_0 = 244$ que cumplieron la edad de 320 años y no fueron regeneradas en $t = 6$ al exceder sus existencias el límite impuesto por las restricción en (3.10). Las superficies de alcornocal, $\mathbf{s}(\mathbf{t})$, muestran un descenso escalonado más pronunciado fruto de la existencia de un grupo de clases de edad más amplio susceptible de desaparecer en el transcurso del horizonte temporal considerado⁵, que comprende alcornokes desde los 99 años de edad inicial hasta los 176 registrados en la Tabla 2.2.

⁵Estas diferencias entre el alcornocal y el encinar se deben fundamentalmente al tamaño de los ciclos selvícolas completos en ausencia de regeneración natural del arbolado, de 196 y 320 años respectivamente.

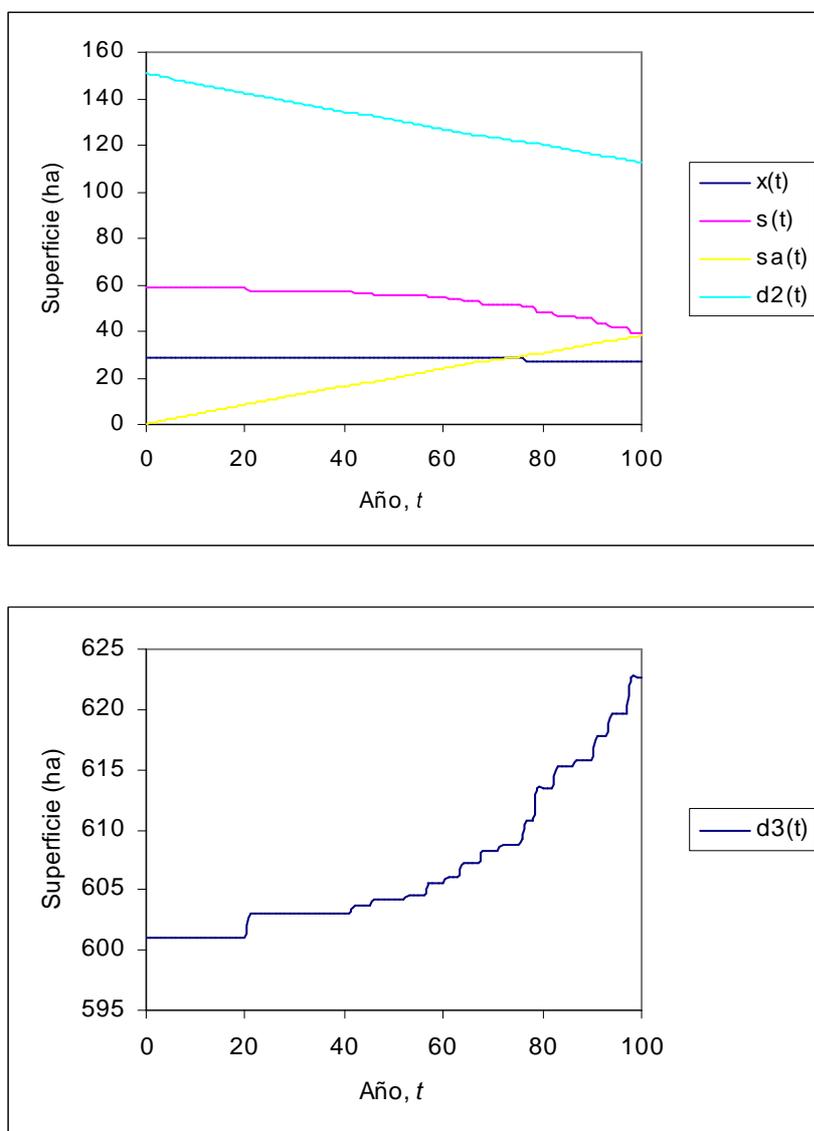


Figura 3.6. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$, y $d_{2,t}, d_{3,t}$ del problema de decisión del planificador central benevolente en F2 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Caso de estudio F3

Las soluciones al problema de planificación central benevolente no varían en el caso de F3 con el nivel de renta mínima o normal y los horizontes temporales considerados. Como muestra la expresión (3.35), la política óptima de gestión social benevolente consiste en la plantación artificial con alcornoques en todos

y cada uno de los períodos de decisión comprendidos a lo largo del horizonte temporal.

$$\left. \begin{aligned} t_{s,t}^* &= \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.35)$$

Las superficies de usos del suelo resultantes de esta política de gestión óptima para el horizonte temporal de 100 años se ilustran en la Figura 3.7, donde se aprecia el gradual incremento en la superficie de alcornocal procedente de plantación artificial, $sa(t)$, con la consecuente disminución en la superficie de pastizal desarbolado, $d2(t)$.

El encinar adulto no alcanza la edad crítica de regeneración natural en los períodos de decisión considerados y por tanto, la evolución en el tiempo de su estado controlado *agregado*, $x(t)$, se mantiene constante al igual que ocurre con la superficie de cultivo al tercio de cereal, $d1(t)$.

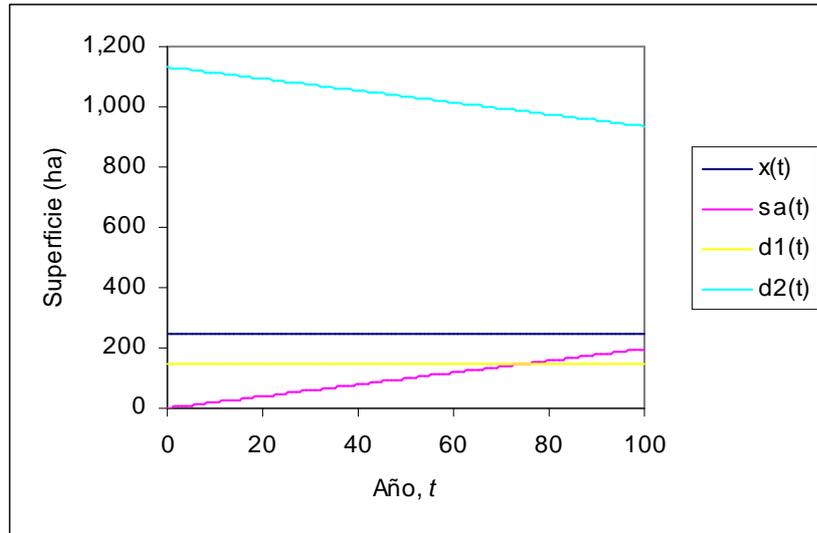


Figura 3.7. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{s}_{a,t}$, y $d_{1,t}, d_{2,t}$ del problema de decisión del planificador central benevolente en F3 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Caso de estudio F4

Los caminos óptimos de las variables de control del problema de planificación central benevolente en F4 se definen para los diferentes horizontes temporales, independientemente del nivel de renta mínima o normal, en la expresión (3.36).

$$\left. \begin{aligned} t_{s,t}^* &= \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.36)$$

Al igual que en F3, la política óptima de gestión social benevolente consiste en la plantación artificial con alcornoque en todos los períodos de decisión t que comprenden los diferentes horizontes temporales, T , considerados.

La Figura 3.8 representa las superficies resultantes de este programa de gestión óptima para el problema de decisión con $T = 100$.

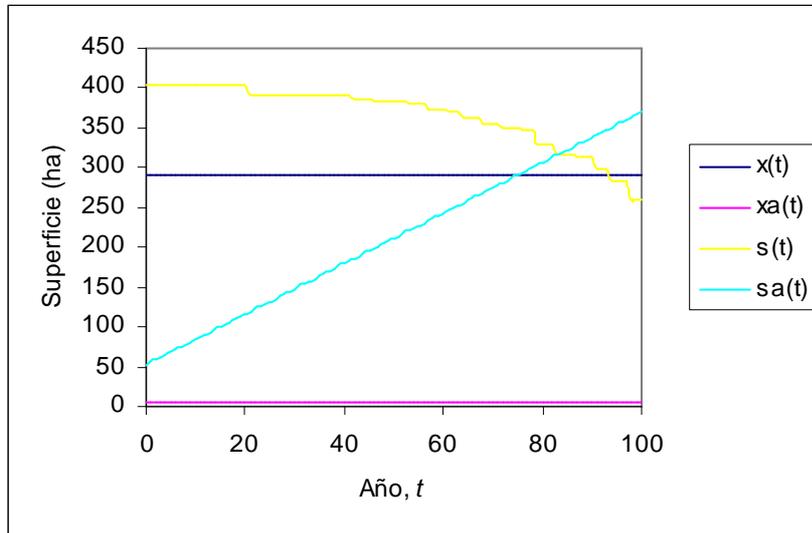


Figura 3.8. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$ del problema de decisión del planificador central benevolente en F4 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

La política de gestión social benevolente queda reflejada en el incremento gradual de la superficie de alcornocal procedente de plantación artificial, $sa(t)$, en decremento de la superficie de matorral desarbolado, $d3(t)$. El encinar adulto existente, $x(t)$, tampoco alcanza en esta finca la edad crítica de regeneración natural, mostrando una evolución constante en su superficie. No sucede lo mismo con el alcornocal adulto, $s(t)$, que presenta una evolución descendente en el tiempo consecuencia de la ausencia de regeneración natural y la eventual transición a uso del suelo desarbolado. El supuesto de transición a pastizal desarbolado provoca la evolución ascendente de la superficie $d2(t)$. La plantación artificial de encina, $xa(t)$, corresponde a la reforestación realizada en esta finca durante el año 1995 (*cf.* Tabla 2.5).

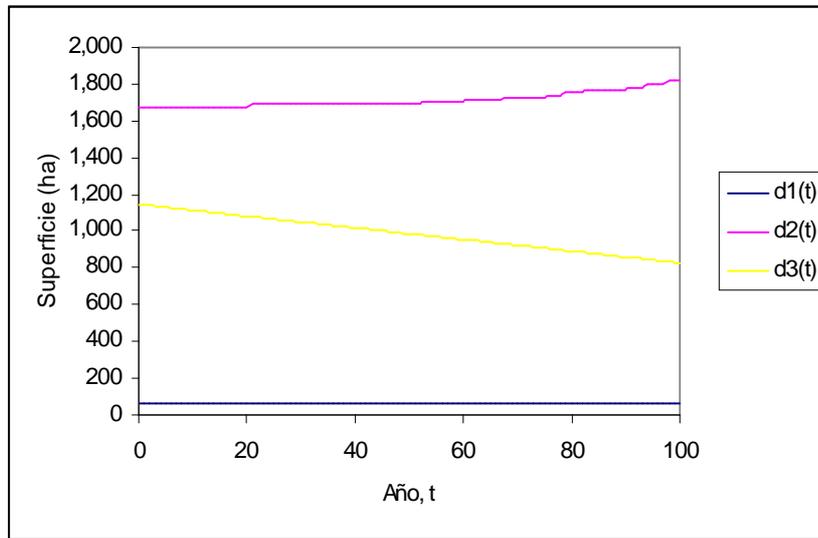


Figura 3.8 (continuación). Estados controlados $d_{1,t}$, $d_{2,t}$, $d_{3,t}$ del problema de decisión del planificador central benevolente en F4 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

La política óptima de gestión para un agente social que maximiza el valor actual neto de la RTS en sus niveles mínimo y normal, varía de un caso de estudio a otro. No obstante, los caminos óptimos resultantes en cada caso no cambian con el escenario de gestión analizado, sea el de renta mínima o normal. Mientras que en los casos F1 y F2 sí aparecen episodios de regeneración natural del encinar y alcornocal adulto (encinar en F1, encinar y alcornocal en F2), en los casos F3 y F4, sólo resultan óptimas las plantaciones artificiales con alcornoque. Un rasgo común a todos los casos de estudio es la ausencia de plantaciones artificiales con encina. El coste de oportunidad en el que incurre el planificador central al realizar la reforestación con encinas sobre pastizal desarbolado es siempre negativo.

Observando los valores óptimos de la función objetivo del planificador central benevolente (Tabla 3.2), las fincas de alcornocal siguen ofreciendo los valores por hectárea de la RTS en valor actual neto más altos, estando F4 por encima de F2. Respecto de las fincas de encinar, los niveles alcanzados por F3 superan en todos los horizontes temporales a los obtenidos en F1.

3.5.4 El mercado y el planificador central no benevolente

Los caminos óptimos de las variables de control del problema al que se enfrenta un propietario privado dentro de una economía de mercado en la que se mantienen las restricciones legales de gestión⁶ pero se excluyen todas las subvenciones e impuestos considerados en el problema de decisión del agente privado,

⁶ Como por ejemplo la prohibición de corta de encinas o alcornoques.

coinciden en todos los casos de estudio con los caminos óptimos derivados del problema del planificador central no benevolente.

Este resultado se debe fundamentalmente a la similitud entre la variable de renta asociada a este agente privado, la renta de capital privada a precios de mercado (RCPpm), y la considerada por el planificador central no benevolente, la renta de capital social (RCS). La primera se diferencia de la segunda en que no incluye los ingresos derivados de los servicios ambientales no controlados por el propietario (servicios recreativos de libre acceso y el consumo de bellotas de animales salvajes) ni el gasto intermedio de la administración pública en concepto de guardería y lucha contra incendios (Martín *et al.*, 2001). Salvo el consumo de bellotas de los animales salvajes, las partidas omitidas por la RCPpm no dependen de la superficie de suelo arbolado, se mantienen constantes para todos y cada uno de los usos del suelo presentes en la dehesa (supuesto **S2**, apartado 1.8), por ello, la inclusión o exclusión de éstas en la función objetivo no afecta el resultado final. Respecto al consumo de bellotas de animales salvajes, los ingresos ambientales varían con la reforestación de encinas, sin embargo, los resultados muestran que no lo suficiente como para provocar cambios en las políticas óptimas de gestión.

En este apartado se presentan y analizan las soluciones resultantes de los problemas de decisión del planificador central no benevolente, maximizador del valor actual neto a horizonte temporal finito de la RCS, y del agente privado maximizador del VAN de la RCPpm. Todos los problemas se han resuelto para los niveles de renta mínimo y normal.

Caso de estudio F1

En la finca de dehesa F1, las políticas óptimas de gestión social no benevolente y de gestión privada en ausencia de SNI, son las mismas independientemente del nivel de renta y horizonte temporal evaluados. La expresión (3.37) define los caminos óptimos de las diferentes variables de control.

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^*, t_{s,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50, 100\} \quad (3.37)$$

La Figura 3.9 representa los estados controlados correspondientes a las superficies de uso del suelo desarbolado, así como los estados controlados *agregados* de las superficies de encinar, $\mathbf{x}(t)$ y $\mathbf{xa}(t)$, para el horizonte temporal de 100 años.

En este caso de estudio, donde la plantación de alcornos no es viable, la política óptima corresponde a un escenario de gestión forestal caracterizado por la ausencia tanto de plantaciones artificiales como del regenerado natural del encinar adulto existente. Las consecuencias de esta política de gestión se aprecian de manera clara en la evolución de los estados controlados de las superficies desarboladas. Por un lado, la ausencia de reforestaciones hace que la superficie de pastizal desarbolado, $\mathbf{d2}(t)$, se mantenga constante a lo largo del período de decisión completo. Por otro, la superficie de cultivo al tercio de cereal, $\mathbf{d3}(t)$,

muestra escalones ascendentes en los períodos de decisión $t = \{1, 34, 77\}$, coincidiendo con la transición de las superficies de encinar envejecido (con edades iniciales de 320, 287 y 244 años, respectivamente) al uso del suelo como cultivo al tercio de cereal.

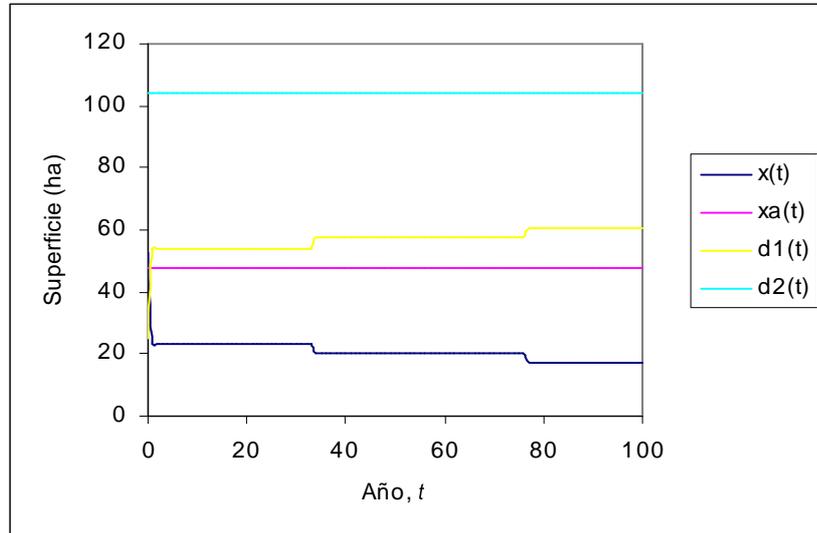


Figura 3.9. Estados controlados agregados \hat{x}_t , $\hat{x}_{a,t}$, y $d_{1,t}$, $d_{2,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F1 bajo un escenario de renta normal y $T = 100$.

Caso de estudio F2

Las soluciones óptimas en el caso de estudio F2 varían dependiendo del escenario de renta mínima o normal considerado. Las políticas óptimas de planificación central no benevolente o de gestión privada en ausencia de subvenciones netas de impuestos, bajo un escenario de gestión sin aprovechamiento cinegético mayor o de bellota de encina en montanera se definen en la expresión (3.38). Las soluciones bajo un escenario de renta normal son las descritas por la expresión (3.39).

La inclusión del aprovechamiento cinegético mayor tiene un efecto negativo sobre la conservación del alcornocal. Mientras que el nivel de renta mínima resulta en reforestaciones intermitentes con alcornoco independientemente del horizonte temporal analizado, el escenario de renta normal provoca la ausencia de reforestaciones con alcornoco para los horizontes temporales de 25 y 50 años. En el caso de $T = 100$, resulta óptimo reforestar pero sólo durante los primeros 48 períodos de decisión, al contrario que en el nivel de renta mínima, donde las reforestaciones intermitentes se alargan a lo largo de todo el período de decisión. La Figura 3.10 muestra la evolución en el tiempo de los estados controlados asociados al problema de decisión para $T = 100$ y bajo el supuesto de renta mínima. Se aprecia el incremento en la superficie de alcornocal proce-

dente de plantación artificial, $\mathbf{sa}(\mathbf{t})$, en decremento de la superficie de pastizal desarbolado, $\mathbf{d2}(\mathbf{t})$, sobre la cual tienen lugar las mencionadas reforestaciones.

$T = 100$:

$$t_{s,t}^* = \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \\ 0 & \forall t \notin I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \end{cases}$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 48\}$; $I_2 = \{53, \dots, 57\}$; $I_3 = \{81, \dots, 94\}$ e

$$I_4 = \{96\}$$

$$\left. \begin{aligned} t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 \\ 0 & \forall t \notin I_1 \cup I_2 \cup I_3 \end{cases} \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\} \end{aligned} \right\} T = 50 \quad (3.38)$$

en donde $I_1 = \{3, \dots, 7\}$; $I_2 = \{31, \dots, 44\}$ e $I_3 = \{46\}$

$$\left. \begin{aligned} t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \in \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \\ 0 & \forall t \notin \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \end{cases} \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 25\} \end{aligned} \right\} T = 25$$

$$\left. \begin{aligned} t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,2}^n}{144} = .41 & \forall t \in \{1, \dots, 48\} \\ 0 & \forall t \notin \{1, \dots, 48\} \end{cases} \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\} \end{aligned} \right\} T = 100 \quad (3.39)$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^*, t_{s,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}, T \in \{25, 50\}$$

La ausencia de regeneración natural del alcornocal adulto provoca la disminución gradual en la superficie $\mathbf{s}(\mathbf{t})$ con el consecuente aumento en la superficie de matorral desarbolado, $\mathbf{d3}(\mathbf{t})$. Menos acusado es el descenso en la superficie de encinar $\mathbf{x}(\mathbf{t})$, que únicamente muestra un salto descendente en $t = 77$ coincidiendo con la transición de la superficie de encinar envejecido con edad inicial de 244 años.

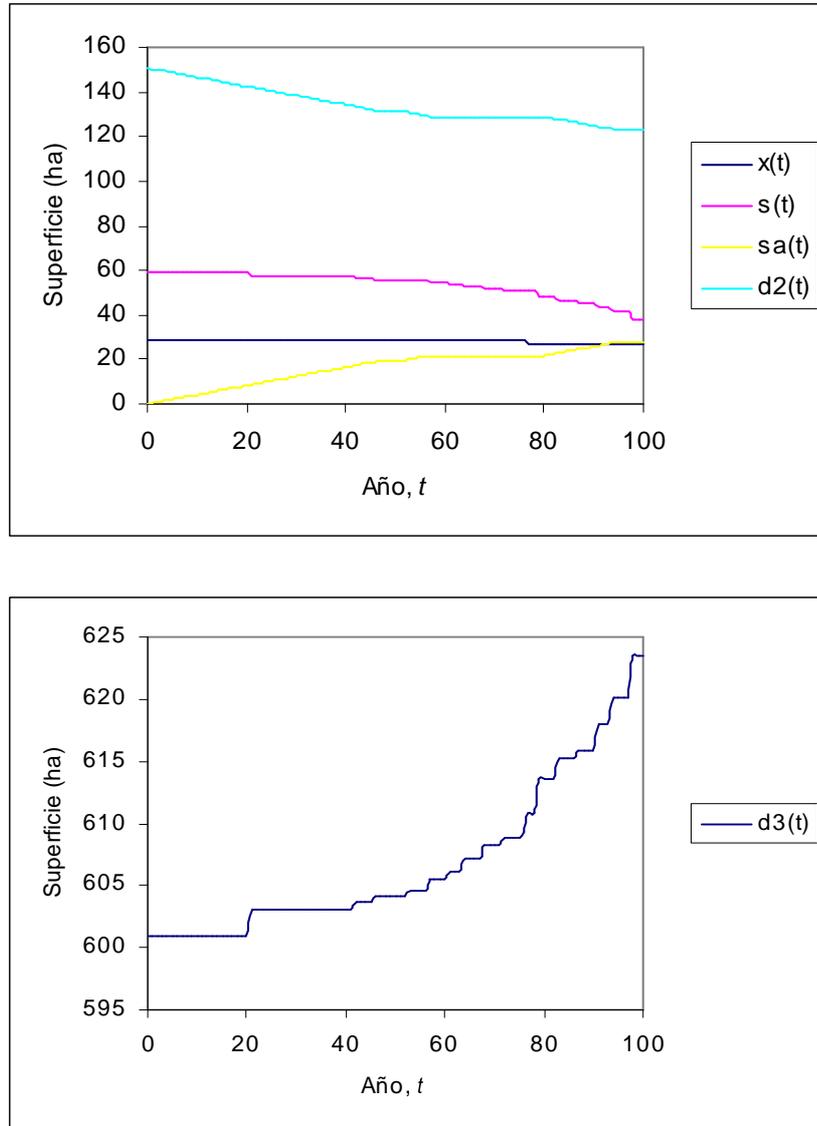


Figura 3.10. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$, y $d_{2,t}, d_{3,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F2 bajo un escenario de renta mínima y $T = 100$.

Si alternativamente se analiza la evolución de los estados controlados para los mismos problemas de decisión pero bajo un escenario de renta normal y un horizonte temporal $T = 50$ (Figura 3.11), se confirma la ausencia de plantaciones artificiales con alcornoque así como de regenerado natural del alcornocal adulto, provocando que se mantenga constante en el tiempo la superficie de pastizal desarbolado, $d2(t)$, y que haya un incremento gradual en la superficie

de matorral, $d3(t)$. Mientras que la superficie de encinar $x(t)$ se mantiene constante a lo largo de los 50 períodos de decisión, la superficie de alcornocal muestra saltos descendentes en $t = \{21, 42, 46\}$ coincidiendo con la transición de las superficies de alcornocal con edades iniciales $\tau_0 = \{176, 155, 151\}$ (cf. Tabla 2.2) al uso del suelo como matorral desarbolado.

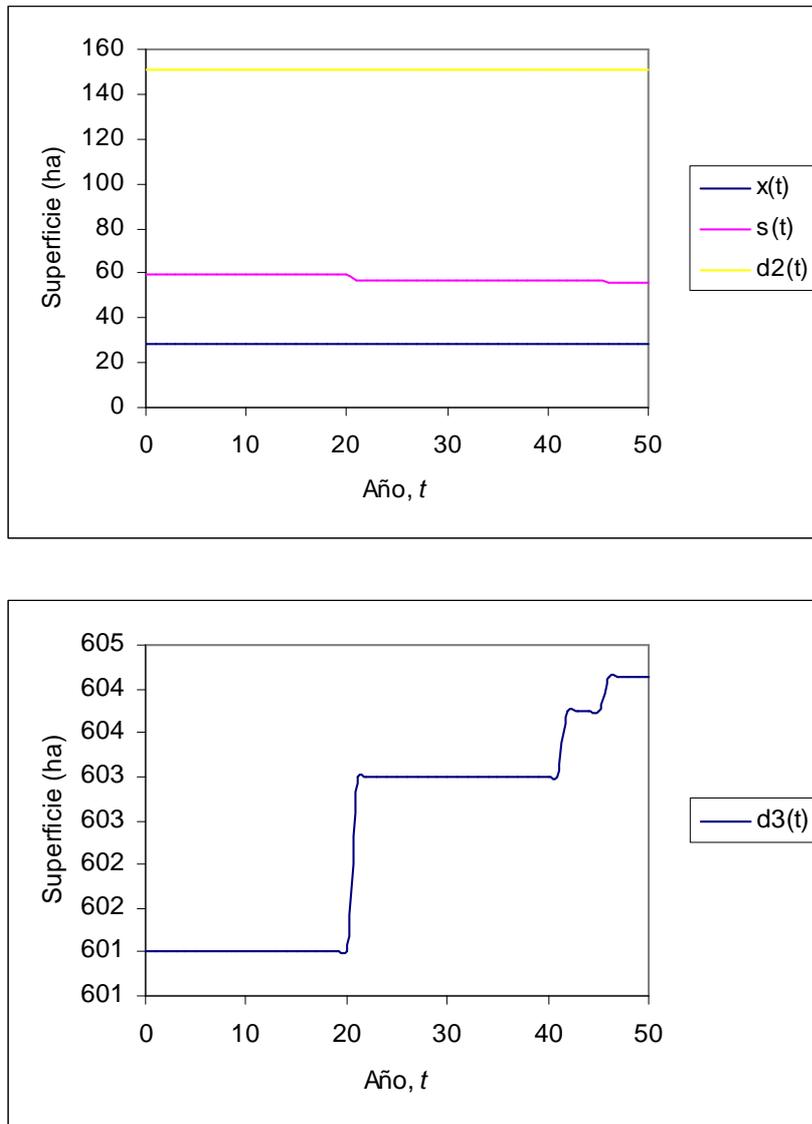


Figura 3.11. Estados controlados *agregados* \hat{x}_t , \hat{s}_t , y $d_{2,t}$, $d_{3,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F2 bajo un escenario de renta normal y $T = 50$.

Los saltos en las políticas óptimas de reforestación con alcornocal observados

en las expresiones (3.38) y (3.39) tienen su origen en el calendario de intervenciones culturales establecido para el ciclo selvícola del alcornocal procedente de plantación artificial descrito en Montero *et al.* (2002).

De esta manera, el salto observado en $t = 48$ se explica en función del cuarto descorche realizado cuando la plantación artificial alcanza los 52 años de edad en $t = T = 100$. En este caso, los ingresos del corcho hacen atractiva la reforestación en este período, pero no en los 4 siguientes. Del mismo modo el salto observado en el período de decisión 57 se relaciona con el tercer descorche de los alcornos que cumplen la edad de 43 años en $t = 100$.

La plantación artificial con alcornos vuelve a ser óptima en $t = 81$, evitando así los costes asociados a la segunda poda de formación que se realiza cuando la plantación artificial alcanza la edad de 20 años. Del mismo modo, la última intervención en forma de plantación artificial con alcornos se realiza en $t = 96$ para no incurrir en los costes derivados de la primera poda de formación a la edad de 5 años.

En los problemas de decisión con $T = \{25, 50\}$ y el escenario de renta mínima, tanto las podas de formación realizadas a las edades de 5 y 20 años como el tercer descorche a la edad de 43 años resultan decisivos a la hora de realizar las plantaciones artificiales con alcornos. El tercer descorche está relacionado con $t = 7$ en el problema de decisión con horizonte temporal de 50 años. La primera y segunda poda de formación están asociadas a los períodos de decisión $t = \{31, 46\}$ cuando el horizonte temporal es de 50 años, y los períodos $t = \{6, 21\}$ cuando $T = 25$.

Caso de estudio F3

Las políticas de gestión óptimas resultan muy similares bajo los supuestos de renta mínima y normal. Al contrario que en el caso de F2, el escenario de renta normal resulta en una ampliación de la superficie de alcornocal ligeramente superior a la obtenida bajo el supuesto de renta mínima cuando $T = \{50, 100\}$. Para el horizonte temporal de 25 años, los resultados coinciden bajo ambos escenarios de renta (*cf.* expresiones (3.40) y (3.41)).

La política óptima de gestión social no benevolente o privada en ausencia de SNI, está dirigida a la reforestación con alcornos en tramos temporales intermitentes muy parecidos a los observados en F2. En ausencia de aprovechamiento cinegético mayor y de bellota de encina en montanera, el problema con un horizonte temporal de 100 años presenta diferencias en el intervalo I_2 , dos períodos más corto en F3 que en F2. Cuando el horizonte temporal es de 50 años, estos intervalos de reforestación con alcornos son esencialmente los mismos a excepción de I_1 . La tercera saca de corcho que se realiza sobre la plantación artificial con edad de 43 años no incentiva la reforestación en el período $t = 3$ en la finca de dehesa F3, donde las reforestaciones no comienzan hasta $t = 5$. Como indican las expresiones (3.38), y (3.40) y (3.41), los resultados al problema con $T = 25$ coinciden en ambas fincas cuando la gestión en F2 está asociada a un nivel de renta mínima. La relación entre los distintos períodos de decisión y las intervenciones culturales asociadas a la selvicultura del alcornocal procedente

de plantación artificial, sigue siendo la discutida para la finca de dehesa F2.

$T = 100$:

$$t_{s,t}^* = \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \\ 0 & \forall t \notin I_1 \cup I_2 \cup I_3 \cup I_4 \end{cases}$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 48\}$; $I_2 = \{55, \dots, 57\}$; $I_3 = \{81, \dots, 94\}$ e

$$I_4 = \{96\}$$

$$t_{s,t}^* = \left. \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 \\ 0 & \forall t \notin I_1 \cup I_2 \cup I_3 \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 & \forall t \in \{1, \dots, 50\} \end{cases} \right\} T = 50 \quad (3.40)$$

en donde $I_1 = \{5, \dots, 7\}$; $I_2 = \{31, \dots, 44\}$ e $I_3 = \{46\}$

$$t_{s,t}^* = \left. \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \\ 0 & \forall t \notin \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \\ n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 & \forall t \in \{1, \dots, 25\} \end{cases} \right\} T = 25$$

La Figura 3.12 muestra la evolución de los estados controlados *agregados* de las superficies arboladas así como los estados controlados de los usos del suelo desarbolado para el problema de decisión con $T = 100$ y bajo el supuesto de renta mínima. Por un lado, las plantaciones artificiales con alcornoque sobre pastizal desarbolado provocan el aumento en la superficie de alcornocal, $\mathbf{sa}(t)$, con la simétrica disminución en la superficie de pastizal desarbolado, $\mathbf{d2}(t)$. Por otro, el encinar adulto existente no alcanza en ningún período de decisión la edad crítica de regeneración natural y consecuentemente no puede hablarse de envejecimiento de la masa o transición a uso del suelo desarbolado. Esto se aprecia en la evolución constante a lo largo de todo el horizonte temporal tanto de $\mathbf{x}(t)$, como del control asociado a la superficie de cultivo al tercio de cereal, $\mathbf{d1}(t)$.

En los problemas de decisión con horizontes temporales $T = \{50, 100\}$, el escenario de renta normal amplía levemente los intervalos temporales en los que tiene lugar la plantación artificial con alcornoque. Para los problemas con período de decisión más largo, se aprecia que los intervalos I_1 e I_2 observados en (3.40) se funden en uno solo cuando se incluyen el aprovechamiento cinegético mayor y de bellota de encina en montanera. De esta manera, bajo un escenario

de renta normal la reforestación con alcornoque se realiza ininterrumpidamente hasta el momento en que el horizonte temporal no permite recolectar la tercera saca de corcho realizada a la edad de 43 años, esto es, hasta el período de decisión $t = 57$. Si alternativamente el horizonte temporal evaluado es de 50 años, las reforestaciones con alcornoque comienzan en el primer período de decisión y no en $t = 5$ como ocurre en un contexto de renta mínima.

$T = 100$:

$$\begin{aligned}
 t_{s,t}^* &= \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in \{1, \dots, 57\} \cup \{81, \dots, 94\} \cup \{96\} \\ 0 & \forall t \notin \{1, \dots, 57\} \cup \{81, \dots, 94\} \cup \{96\} \end{cases} \\
 n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\} \\
 t_{s,t}^* &= \left. \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in I_1 \cup I_2 \cup I_3 \\ 0 & \forall t \notin I_1 \cup I_2 \cup I_3 \end{cases} \right\} T = 50 \\
 n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\}
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 7\}$; $I_2 = \{31, \dots, 44\}$ e $I_3 = \{46\}$

$$\begin{aligned}
 t_{s,t}^* &= \left. \begin{cases} \frac{S_{s,3}^n}{144} = 1.97 & \forall t \in \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \\ 0 & \forall t \notin \{6, \dots, 19\} \cup \{21\} \end{cases} \right\} T = 25 \\
 n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* &= 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 25\}
 \end{aligned}$$

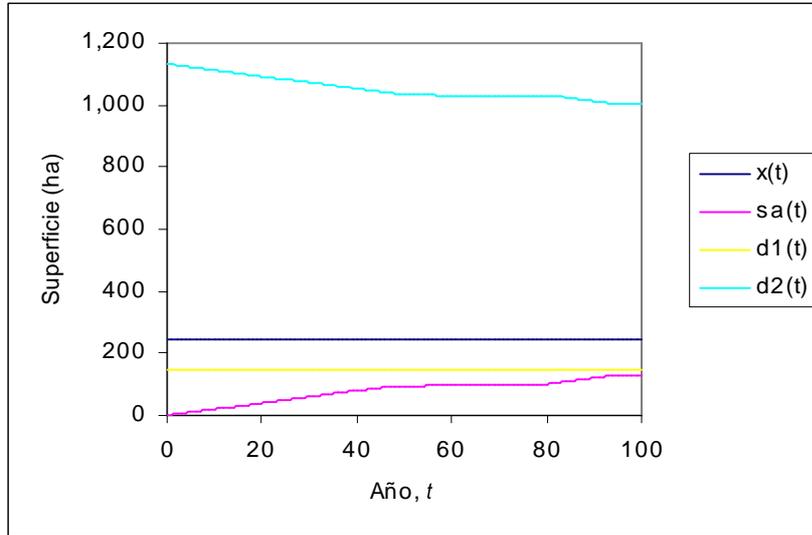


Figura 3.12. Estados controlados *agregados* \hat{x}_t , $\hat{s}_{a,t}$, y $\hat{d}_{1,t}$, $\hat{d}_{2,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F3 bajo un escenario de renta mínima y $T = 100$.

Caso de estudio F4

Las políticas óptimas de gestión social no benevolente o gestión privada en ausencia de SNI, para el caso de estudio F4 y los diferentes horizontes temporales considerados se definen para el escenario de renta mínima en (3.42) y el de renta normal en (3.43).

La política de plantación artificial con alcornoque sigue siendo la óptima en el caso de F4. Al igual que en F2 y contrariamente al caso de encinar predominante de F3, el escenario de renta normal desincentiva ligeramente la reforestación con alcornoque cuando $T = \{50, 100\}$. Para el horizonte temporal de 25 años, los resultados coinciden bajo ambos niveles de renta (*cf.* expresiones (3.42) y (3.43)).

El supuesto de reforestación sobre matorral desarbolado hace que esta finca presente episodios más prolongados de plantación artificial con alcornoque que las fincas de dehesa F2 y F3, independientemente del nivel de renta evaluado.

En un contexto de renta mínima, la plantación artificial con alcornoque se realiza en todos los períodos de decisión excepto los 5 comprendidos entre $t = 58$ y $t = 62$ cuando $T = 100$, o entre $t = 8$ y $t = 12$ cuando $T = 50$ (ver expresión (3.42)).

El contexto de renta normal resulta en períodos más prolongados de ausencia de reforestación con alcornoque; $t \in \{58, 80\}$ si $T = 100$, y $t \in \{8, 30\}$ cuando el horizonte temporal es de 50 años, (ver expresión (3.43)).

$$t_{s,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \forall t \in I_1 \cup I_2 \\ 0 \quad \forall t \notin I_1 \cup I_2 \end{array} \right\} T = 100$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 57\}$ e $I_2 = \{63, \dots, 100\}$

$$t_{s,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \forall t \in I_1 \cup I_2 \\ 0 \quad \forall t \notin I_1 \cup I_2 \end{array} \right\} T = 50 \quad (3.42)$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 7\}$ e $I_2 = \{13, \dots, 50\}$

$$t_{s,t}^* = \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \left. \vphantom{t_{s,t}^*} \right\} \forall t \in \{1, \dots, 25\}, T = 25$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0$$

$$t_{s,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \forall t \in I_1 \cup I_2 \\ 0 \quad \forall t \notin I_1 \cup I_2 \end{array} \right\} T = 100$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 100\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 57\}$ e $I_2 = \{81, \dots, 100\}$

$$t_{s,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \forall t \in I_1 \cup I_2 \\ 0 \quad \forall t \notin I_1 \cup I_2 \end{array} \right\} T = 50 \quad (3.43)$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 50\}$$

en donde $I_1 = \{1, \dots, 7\}$ e $I_2 = \{31, \dots, 50\}$

$$t_{s,t}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S_{s,4}^n}{144} = 3.17 \quad \forall t \in \{6, \dots, 25\} \\ 0 \quad \forall t \notin \{6, \dots, 25\} \end{array} \right\} T = 25$$

$$n_{i,t}^*, n_{i,t}^{a,*}, n_{s,t}^*, n_{s,t}^{a,*}, t_{i,t}^* = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, 25\}$$

Las plantaciones artificiales se interrumpen a partir del momento en que el horizonte temporal $T = 100$ no permite recolectar el corcho procedente de la tercera saca realizada a la edad de 43 años. La segunda poda de formación realizada a la edad de 20 años desincentiva la reforestación en $t = 80$ y $t = 30$ en los problemas de decisión con $T = 100$ y $T = 50$, respectivamente. No obstante, la primera poda de formación⁷ deja de ejercer el efecto negativo sobre la reforestación con alcornoque observado en las fincas F2 y F3.

La Figura 3.13 muestra los resultados correspondientes al problema de decisión con $T = 100$ y para el escenario de renta mínima. En este gráfico se observa la evolución creciente de la superficie de alcornocal procedente de plantación artificial, $sa(t)$, en decremento de la superficie de matorral desarbolado, $d3(t)$. La ausencia de regeneración natural sobre el alcornocal adulto provoca la disminución en la superficie de alcornocal procedente de regeneración natural, $s(t)$, con el consecuente aumento en la superficie de pastizal desarbolado, $d2(t)$. Las superficies de encinar existente procedente de regeneración natural y de plantación artificial son constantes a lo largo de todo el horizonte temporal.

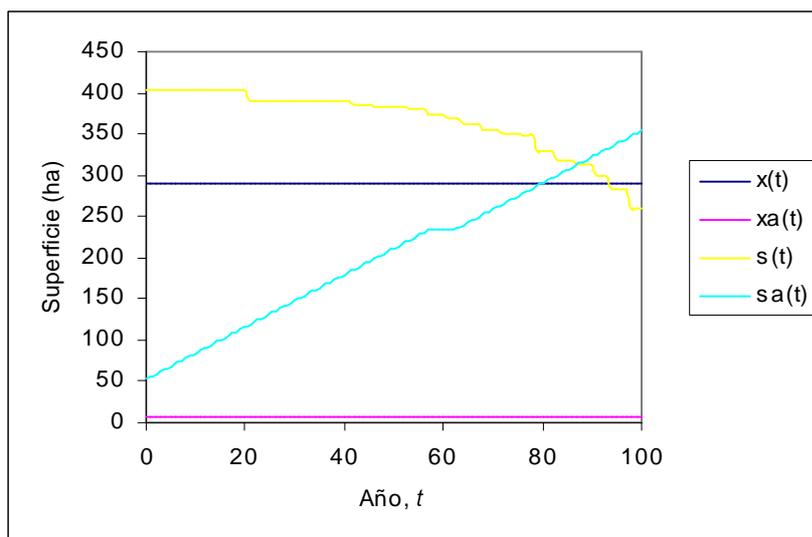


Figura 3.13. Estados controlados *agregados* $\hat{x}_t, \hat{x}_{a,t}, \hat{s}_t, \hat{s}_{a,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F4 bajo un escenario de renta mínima y $T = 100$.

⁷Esta poda tiene lugar sobre las plantas de alcornoque con 5 años de edad.

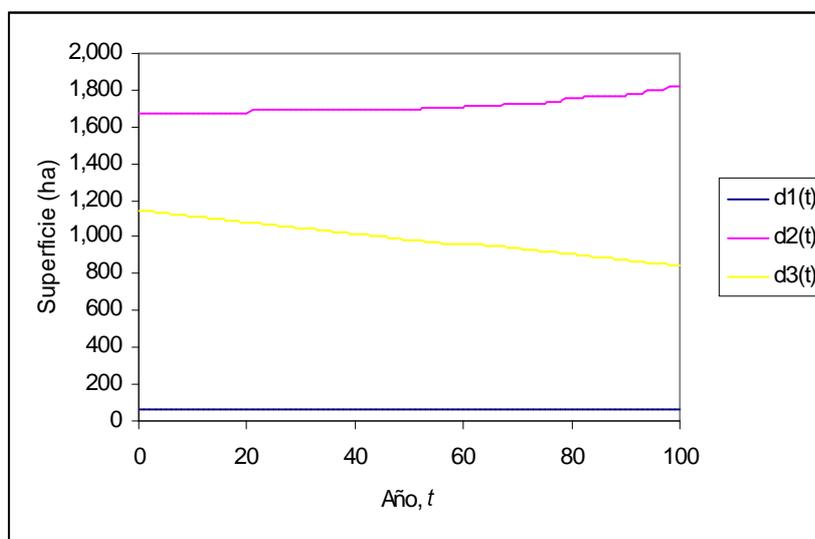


Figura 3.13 (continuación). Estados controlados $d_{1,t}$, $d_{2,t}$, $d_{3,t}$ del problema de decisión del planificador central no benevolente en F4 bajo un escenario de renta mínima y $T = 100$.

Desde la perspectiva de los valores óptimos de la función objetivo, la Tabla 3.2 muestra que el planificador central no benevolente percibe siempre mayores niveles de renta que el propietario privado que opera en una economía de mercado sin intervención pública en la forma de impuestos y subvenciones. F4 sigue obteniendo los valores presentes descontados por hectárea media de dehesa más altos, seguido de F2, F3, y F1, cumpliéndose esta ordenación para las dos variables de renta, la RCPm y la RCS, en sus niveles mínimo y normal.

Como rasgo representativo de la gestión óptima resultante de los problemas de decisión del planificador central no benevolente o del propietario privado en ausencia de SNI, la reforestación artificial con alcornoque en tramos temporales intermitentes, representa el único tipo de intervención positiva. En ningún caso resulta aceptable la regeneración natural del arbolado adulto, así como la reforestación con encinas.

3.6 Reflexiones computacionales

El problema de optimización dinámica planteado se resuelve mediante programación lineal a partir de la función `linprog`. Este método de solución, al contrario que métodos alternativos de optimización como el implementado por la función `fmincon` (ver Coleman *et al.*, 1999) que admite no linealidades en la función objetivo y las restricciones, presenta eficiencia computacional. Mientras que resolviendo mediante `fmincon` los problemas de decisión con horizonte temporal de 100 años llegan a requerir hasta casi 24 horas de tiempo de cálculo, la función `linprog` ofrece soluciones con $T = 141$ en un tiempo que no llega a

superar los 15 segundos en el peor de los casos⁸.

El código necesario para resolver el problema también es notablemente más sencillo si se utiliza la función `linprog`. De este modo se evita el cálculo del gradiente de las restricciones así como la programación de las leyes de movimiento de los estados incluyendo las variables de control de manera explícita y no implícita como aparecen formuladas en (3.5), ambos aspectos necesarios si se resuelve mediante `fmincon`.

3.7 Conclusiones

Este Capítulo presenta la formulación de un problema de control óptimo en tiempo discreto y horizonte temporal finito. El objetivo es modelizar el mecanismo de decisión del propietario de dehesa o agente privado, así como el problema de planificación central al que se enfrentan las administraciones públicas a la hora de evaluar los posibles escenarios de gestión dentro de estos sistemas.

Los propietarios toman decisiones sobre la conservación del encinar y alcornocal de acuerdo a las condiciones de mercado e intervención pública observadas en el año 1998, además del programa de ayudas a la regeneración natural simulado a partir del reglamento oficial comunitario sobre reforestación en tierras agrarias. El agente privado maximiza el valor actual neto a horizonte temporal finito de la renta de capital privada a coste de los factores, mientras que el planificador central benevolente toma decisiones de acuerdo al valor actual neto de la renta total social. Además se considera el problema de decisión del propietario que no percibe subvenciones netas de impuestos y maximiza el valor actual neto de la renta de capital privada a precios de mercado. El problema de planificación central no benevolente se refiere al agente social maximizador de renta de capital social.

El problema de control óptimo se resuelve por programación matemática mediante la función `linprog` del *Optimization Toolbox* de MATLAB[®]. Se escribe un programa que permite resolver los problemas de control óptimo definidos para cada uno de los agentes de decisión, cada una de las fincas de estudio, $j \in \{1, \dots, 4\}$, cualquier tasa de descuento $r \in [0, 1]$, y horizonte temporal inferior a la edad crítica de regeneración del alcornocal procedente de plantación artificial, $T \in \{1, \dots, 141\}$.

La naturaleza lineal de todo el programa de optimización dinámica proporciona propiedades deseables como la unicidad en las soluciones⁹ y el gradiente de la función objetivo, que representa el conjunto completo de costes de oportunidad por unidad de superficie en los que incurren los agentes de decisión al regenerar el arbolado adulto de una determinada finca o realizar plantaciones artificiales sobre suelo desarbolado en cada uno de los períodos de decisión $t \in \{1, \dots, T\}$.

⁸Los cálculos se han realizado con un procesador Pentium IV[®] a 2.0 GHz, y 512 MB de RAM.

⁹Siempre se saturan las restricciones sobre las variables de decisión.

Todos los problemas se resuelven para una única tasa de descuento y los horizontes temporales de 25, 50 y 100 años. En este contexto de decisión con horizonte temporal finito se ha supuesto una exigencia de rentabilidad real del 3 por ciento anual. Comparando los valores óptimos de la función objetivo resultantes en términos de la renta de capital privada a precios de mercado, los casos de estudio con alcornocal, F2 y F4, presentan valores muy próximos a los precios de mercado estimados en el Capítulo 2, al contrario que F1 y F3, donde un 3 por ciento anual puede resultar ligeramente elevado para los horizontes temporales considerados.

Los resultados al problema de decisión del propietario coinciden plenamente con la experiencia observada en la gestión privada de muchas dehesas a lo largo de la segunda mitad de la década de 1990, desde la aplicación del reglamento comunitario sobre reforestación en tierras agrarias. La política de plantación artificial con encina y alcornoque sobre suelo desarbolado se convierte en óptima en todos y cada uno de los períodos de decisión en los casos de estudio F3 y F4. En F1, donde la reforestación con alcornoque no es posible, la política óptima del propietario es la plantación artificial con encinas en todos los períodos de decisión. La finca de dehesa F2, es la única donde la regeneración del encinar adulto reemplaza la reforestación con encinas en algunos de los períodos de decisión donde aparecen superficies de encinar en edad de regeneración, no obstante, solo cuando se supone un escenario de renta normal caracterizado por el aprovechamiento de bellota en montanera, y horizontes temporales de 50 y 100 años. En este caso, el supuesto de transición a uso como matorral desarbolado cuando los árboles envejecen en ausencia de regeneración natural, desincentiva ocasionalmente la plantación artificial sobre pastizal desarbolado en favor de la regeneración del encinar adulto. En el resto de los casos de estudio, las ayudas a la plantación artificial de encinas y alcornos hacen que el coste de oportunidad en el que incurren los propietarios al realizar el cambio de uso de suelo desarbolado a arbolado sea más favorable que el asociado a la alternativa de la regeneración del arbolado adulto. Cabe esperar que para niveles superiores a los diseñados en este trabajo de la ayuda aportada en el primer año de la regeneración natural, los propietarios podrían verse incentivados a conservar el arbolado adulto mediante la aplicación de la regeneración natural, como complemento y alternativa a las actuales plantaciones artificiales.

Desde el punto de vista del planificador central benevolente, la regeneración natural sistemática del encinar adulto existente forma parte de los programas óptimos de gestión en F1 y F2. El rasgo más representativo de la política óptima de gestión social benevolente es la ausencia de plantaciones artificiales con encina. En todas las fincas de dehesa se observa un coste de oportunidad desfavorable a este tipo de intervención. Alternativamente, las plantaciones artificiales de alcornoque resultan generalmente óptimas desde el punto de vista de la RTS. La plantación artificial con alcornoque es la única forma de intervención positiva realizada en F3 y F4 en todos y cada uno de los períodos de decisión considerados. En F2, las ganancias sociales asociadas al regenerado natural del alcornocal superan excepcionalmente las ganancias derivadas de la plantación artificial con alcornoque en algunos de los períodos de decisión en

los que aparecen superficies de alcornoque en edad crítica de regeneración natural. No obstante, la plantación artificial con alcornoque sigue siendo el tipo de intervención más común en esta finca. En ninguno de los casos de estudio evaluados, llegan a observarse modificaciones en las variables de control resultantes de los problemas de gestión social benevolente como consecuencia de los diferentes escenarios de aprovechamiento asociados a los niveles de renta mínima o normal.

Las variables de control óptimas del problema de decisión al que se enfrenta un agente privado que opera en una economía de mercado sin subvenciones netas de impuestos coinciden con las obtenidas en el problema de planificación central no benevolente. El rasgo fundamental de todos estos problemas de decisión es la ausencia de prácticas de regeneración natural del arbolado adulto existente, favoreciendo la eventual transición a usos del suelo desarbolado. En esta economía de mercado tan sólo se llevarían a cabo plantaciones artificiales intermitentes de alcornoque en F2, F3 y F4. Este resultado contrasta con la realidad observada, ya que la popularidad de las reforestaciones en la dehesa con especies forestales autóctonas es sólo reciente como consecuencia de la aplicación del reglamento comunitario sobre reforestación. Es predecible que bajo exigencias de rentabilidad real superiores al 3 por ciento anual, la intervención en forma de plantación artificial con alcornoque disminuya hasta desaparecer de las políticas de gestión óptima privada en ausencia de subvenciones. No obstante, se observa que el coste de oportunidad asociado a las plantaciones artificiales con alcornoque no es sistemáticamente favorable a este tipo de intervención como ocurre en los problemas del propietario y del gestor social benevolente analizados. La intervención de reforestación es relativamente más sensible al horizonte temporal, los escenarios de aprovechamiento asociados a los niveles de renta mínima y normal, y más importante aún, al calendario de intervenciones culturales impuesto por el ciclo selvícola del alcornoque procedente de plantación artificial. En las fincas con alcornoque, F2 y F4, se aprecia que el escenario de renta normal es menos favorable a las reforestaciones que el de renta mínima, al resultar en un menor número de períodos con intervención positiva. En F3 sucede justamente lo contrario, siendo el escenario de renta normal más favorable a la reforestación con alcornoque. F4 es la finca en donde más períodos con reforestación de alcornoque se observan, independientemente del nivel de renta evaluado. Bajo un escenario de renta normal, F3 presenta más períodos de decisión con reforestación que F2, y al contrario en ausencia de aprovechamiento cinegético mayor y de bellota de encina en montanera.

Desde el punto de vista de los valores óptimos de la función objetivo, son las fincas de alcornoque F4 y F2 las que presentan mayores valores por hectárea, independientemente del horizonte temporal y la variable de renta evaluada. Todos los problemas de decisión excepto el asociado al agente privado o propietario ofrecen niveles superiores de renta en F3 que en F1, con independencia del horizonte temporal considerado. El propietario de F1, con un encinar relativamente más envejecido que el de F3, percibe mayores niveles de renta privada que el propietario de F3 cuando el horizonte temporal de decisión es de 25 ó 50 años. No obstante, el horizonte temporal más largo ofrece mayores niveles de RCPcf

por hectárea en F3. Dada la naturaleza de los límites superiores impuestos en las superficies a reforestar o regenerar, las fincas de mayor extensión presentan ventaja al tener acceso a unos niveles de ampliación de la superficie arbolada superiores. Consecuentemente, la ordenación $F4 > F2 > F3 > F1$ tiene sentido desde el punto de vista de la función objetivo considerada, al ser F4 la finca más grande y F1 la menor.

3.8 Apéndice: El modelo

3.8.1 Variables de decisión

Las variables de control son las siguientes,

$$\{n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t}\}_{t=1}^{t=T}$$

$n_{q,t}$ y $n_{q,t}^a$ representan las hectáreas procedentes de regeneración natural y plantación artificial, respectivamente, que entran en regeneración natural en el período de decisión t a la edad de 144 y 142 años en el caso del alcornocal ($q = s$), y 250 años en el caso del encinar ($q = i$). Las variables de control $t_{i,t}$ y $t_{s,t}$ corresponden a las hectáreas desarboladas que son reforestadas mediante plantación artificial con encina y alcornoque en el período t .

3.8.2 Variables de estado

Los vectores \mathbf{x}_t (321x1), $\mathbf{x}_{a,t}$ (321x1), \mathbf{s}_t (197x1), $\mathbf{s}_{a,t}$ (195x1) y \mathbf{d}_t (3x1) incluyen las variables de estado del problema de optimización. Éstas registran el número de hectáreas de cada uno de los usos del suelo presentes en cada momento del tiempo t . \mathbf{x}_t y \mathbf{s}_t están asociados a las superficies existentes de regeneración natural y representan las distribuciones de clases de edad del encinar y alcornocal, respectivamente. $\mathbf{x}_{a,t}$ y $\mathbf{s}_{a,t}$ informan sobre el número de hectáreas de encinar y alcornocal procedentes de plantación artificial. Los usos desarbolados de cultivo al tercio de cereal, pastizal y matorral se registran en \mathbf{d}_t .

$$\mathbf{x}_t = \begin{pmatrix} x_{0,t} \\ \vdots \\ x_{320,t} \end{pmatrix}; \mathbf{x}_{a,t} = \begin{pmatrix} x_{0,t}^a \\ \vdots \\ x_{320,t}^a \end{pmatrix}; \mathbf{s}_t = \begin{pmatrix} s_{0,t} \\ \vdots \\ s_{196,t} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{s}_{a,t} = \begin{pmatrix} s_{0,t}^a \\ \vdots \\ s_{194,t}^a \end{pmatrix}; \mathbf{d}_t = \begin{pmatrix} d_{1,t} \\ d_{2,t} \\ d_{3,t} \end{pmatrix} \forall t \in \{0, 1, \dots, T\}, T < \infty$$

3.8.3 Variables exógenas

Variables de renta económica

Los vectores fila $\mathbf{y}^{q,n}$ e $\mathbf{y}^{q,a}$ recogen la renta generada por hectárea procedente de regeneración natural y plantación artificial, bien sea de encinar, $q = i$, o alcornocal, $q = s$. Cada elemento de estos vectores está asociado a una de las clases de edad del arbolado. El vector fila $\mathbf{y}^{q,d}$ contiene las rentas por hectárea asociadas a los usos del suelo desarbolado, cultivo al tercio de cereal, pastizal y

matorral, dependiendo de si la finca donde se encuentran es predominantemente de encinar (F1 y F3) o alcornocal (F2 y F4).

$$\begin{aligned}
 \mathbf{y}^{i,n} &= (y_0^{i,n} \quad y_1^{i,n} \quad \cdots \quad y_{320}^{i,n}) \\
 \mathbf{y}^{i,a} &= (y_0^{i,a} \quad y_1^{i,a} \quad \cdots \quad y_{320}^{i,a}) \\
 \mathbf{y}^{s,n} &= (y_0^{s,n} \quad y_1^{s,n} \quad \cdots \quad y_{196}^{s,n}) \\
 \mathbf{y}^{s,a} &= (y_0^{s,a} \quad y_1^{s,a} \quad \cdots \quad y_{194}^{s,a}) \\
 \mathbf{y}^{i,d} &= (y_{ct}^i \quad y_p^i \quad y_m^i) && \text{para } j = 1, 3. \\
 \mathbf{y}^{s,d} &= (y_{ct}^s \quad y_p^s \quad y_m^s) && \text{para } j = 2, 4.
 \end{aligned}$$

Precios de la tierra

Los precios de mercado de la hectárea desarbolada y arbolada en función de su edad, τ , se registran en los vectores fila \mathbf{f}_d , \mathbf{f}_i , \mathbf{f}_s , y $\mathbf{f}_{s,a}$. Los elementos de los tres últimos se calculan a partir de las siguientes funciones cúbicas de precios.

$$f_i(\tau) = .0002\tau^3 - .11\tau^2 + 16.39\tau + 2,336.49$$

$$\forall \tau \in \{0, 1, \dots, 320\}$$

$$f_s(\tau) = .01\tau^3 - 2.45\tau^2 + 229.55\tau + 2,724.58$$

$$\forall \tau \in \{0, 1, \dots, 196\}$$

$$\mathbf{f}_i = (f_i(0) \quad f_i(1) \quad \cdots \quad f_i(320))$$

$$\mathbf{f}_s = (f_s(0) \quad f_s(1) \quad \cdots \quad f_s(196))$$

$$\mathbf{f}_{s,a} = (f_s(0) \quad f_s(1) \quad \cdots \quad f_s(194))$$

$$\mathbf{f}_d = (1,803.04 \quad 1,502.53 \quad 901.52)$$

3.8.4 Función objetivo

La función objetivo para cada una de las 4 fincas de dehesa, j , consiste en la maximización del valor actual neto a horizonte temporal finito de una de las 8 variables de renta económica consideradas.

$$\max_{\{n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t}\}_{t=1}^{t=T}} F_j$$

El valor actual neto por hectárea se calcula de acuerdo a la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} F_j = \frac{1}{S_j} \left\{ \sum_{t=0}^T \delta^t [\mathbf{y}^{i,n} \mathbf{x}_t + \mathbf{y}^{i,a} \mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{y}^{s,n} \mathbf{s}_t + \mathbf{y}^{s,a} \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{y}^{q,d} \mathbf{d}_t] - \right. \\ \left. - [\mathbf{f}_i (\mathbf{x}_0 + \mathbf{x}_{a,0}) + \mathbf{f}_s \mathbf{s}_0 + \mathbf{f}_{s,a} \mathbf{s}_{a,0} + \mathbf{f}_d \mathbf{d}_0] + \right. \\ \left. + \delta^T [\mathbf{f}_i (\mathbf{x}_T + \mathbf{x}_{a,T}) + \mathbf{f}_s \mathbf{s}_T + \mathbf{f}_{s,a} \mathbf{s}_{a,T} + \mathbf{f}_d \mathbf{d}_T] \right\} \end{aligned}$$

$$q = \begin{cases} i \text{ (ilex)} & \text{para } j = 1, 3. \\ s \text{ (suber)} & \text{para } j = 2, 4. \end{cases}$$

En donde S_j representa la superficie total de la finca, $\delta = \frac{1}{1+r}$ es la función de descuento y r la tasa de descuento anual.

3.8.5 Vectores de control

\mathbf{z}_t , $\mathbf{z}_{a,t}$, \mathbf{v}_t , $\mathbf{v}_{a,t}$ y \mathbf{u}_t son los vectores de control,

$$\mathbf{z}_t = \begin{pmatrix} n_{i,t} + n_{i,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{i,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \mathbf{z}_{a,t} = \begin{pmatrix} t_{i,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{i,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{v}_t = \begin{pmatrix} n_{s,t} + n_{s,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{s,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \mathbf{v}_{a,t} = \begin{pmatrix} t_{s,t} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -n_{s,t}^a \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{u}_t = \begin{cases} (\xi_t, -t_{i,t}, 0)' & \text{para } j = 1 \\ (0, -(t_{i,t} + t_{s,t}), \xi_t)' & \text{para } j = 2 \\ (\xi_t, -(t_{i,t} + t_{s,t}), 0)' & \text{para } j = 3 \\ (0, (\xi_t - t_{i,t}), -t_{s,t})' & \text{para } j = 4 \end{cases}$$

$$\forall t \in \{0, 1, \dots, T\}, T < \infty$$

ξ_t es la función de transición de uso del suelo arbolado a desarbolado. ' indica traspuesto.

$$\xi_t = x_{320,t-1} + x_{320,t-1}^a + s_{196,t-1} + s_{194,t-1}^a$$

3.8.6 Restricciones

Leyes de movimiento

Se define una ley de movimiento para cada uno de los vectores de estado.

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_t + \mathbf{z}_{t+1} \\ \mathbf{x}_{a,t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{z}_{a,t+1} \\ \mathbf{s}_{t+1} &= \mathbf{A}_n\mathbf{s}_t + \mathbf{v}_{t+1} \\ \mathbf{s}_{a,t+1} &= \mathbf{A}_a\mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{v}_{a,t+1} \\ \mathbf{d}_{t+1} &= \mathbf{d}_t + \mathbf{u}_{t+1} \end{aligned} \right\} \forall t \in \{0, 1, \dots, T-1\}, T < \infty$$

En donde \mathbf{T} (321x321), \mathbf{A}_n (197x197) y \mathbf{A}_a (195x195) son matrices de transición cuyos elementos son todo ceros a excepción de la diagonal -1 .

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 & 0 & \vdots \\ 0 & \vdots & \ddots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Restricción global de recursos

Esta restricción especifica que la extensión de la finca permanece constante a lo largo de todo el período de decisión. Los vectores $\mathbf{i}(\cdot)$ son vectores de unos.

$$\mathbf{i}(321) \cdot (\mathbf{x}_t + \mathbf{x}_{a,t}) + \mathbf{i}(197) \cdot \mathbf{s}_t + \mathbf{i}(195) \cdot \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{i}(3) \cdot \mathbf{d}_t = S_j \\ \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

Restricciones sobre las variables de control**(i) Restricciones de no negatividad**

$$n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

(ii) Existencias de recursos de regeneración natural y reforestación

$$\left. \begin{array}{l} n_{i,t} \leq x_{249,t-1} \\ n_{i,t}^a \leq x_{249,t-1}^a \\ n_{s,t} \leq s_{143,t-1} \\ n_{s,t}^a \leq s_{141,t-1}^a \end{array} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_{i,t} \leq d_{2,t} \quad \text{para } j = 1 \\ t_{i,t} + t_{s,t} \leq d_{2,t} \quad \text{para } j = 2 \\ t_{i,t} + t_{s,t} \leq d_{2,t} \quad \text{para } j = 3 \\ t_{s,t} \leq d_{3,t} \\ t_{i,t} \leq d_{2,t-1} + \xi_t \end{array} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

(iii) Máximos niveles anuales permitidos de regeneración natural y reforestación

$$\left. \begin{array}{l} n_{i,t} + n_{i,t}^a + t_{i,t} \leq \frac{S_{i,j}^n}{250} \quad \forall j \in \{1, \dots, 4\} \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} \leq \frac{S_{s,j}^n}{144} \quad j = 2, 4 \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} \leq \frac{25 \cdot d_{2,0}}{144} \quad j = 3 \end{array} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

En donde $S_{i,j}^n$ y $S_{s,j}^n$ son las superficies iniciales normalizadas de encinar y alcornocal.

3.8.7 Condiciones iniciales

\mathbf{x}_0 , $\mathbf{x}_{a,0}$, \mathbf{s}_0 , $\mathbf{s}_{a,0}$, \mathbf{d}_0 , y T dados.

3.8.8 El modelo completo

$$\max_{\{n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t}\}_{t=1}^{t=T}} F_j$$

sujeto a:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_t + \mathbf{z}_{t+1} \\ \mathbf{x}_{a,t+1} &= \mathbf{T}\mathbf{x}_{a,t} + \mathbf{z}_{a,t+1} \\ \mathbf{s}_{t+1} &= \mathbf{A}_n \mathbf{s}_t + \mathbf{v}_{t+1} \\ \mathbf{s}_{a,t+1} &= \mathbf{A}_a \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{v}_{a,t+1} \\ \mathbf{d}_{t+1} &= \mathbf{d}_t + \mathbf{u}_{t+1} \end{aligned} \right\} \forall t \in \{0, 1, \dots, T-1\}, T < \infty$$

$$\mathbf{i}(321) \cdot (\mathbf{x}_t + \mathbf{x}_{a,t}) + \mathbf{i}(197) \cdot \mathbf{s}_t + \mathbf{i}(195) \cdot \mathbf{s}_{a,t} + \mathbf{i}(3) \cdot \mathbf{d}_t = S_j \\ \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$n_{i,t}, n_{i,t}^a, n_{s,t}, n_{s,t}^a, t_{i,t}, t_{s,t} \geq 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$\left. \begin{aligned} n_{i,t} &\leq x_{249,t-1} \\ n_{i,t}^a &\leq x_{249,t-1}^a \\ n_{s,t} &\leq s_{143,t-1} \\ n_{s,t}^a &\leq s_{141,t-1}^a \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\} \quad (3.44)$$

$$\left. \begin{aligned} t_{i,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 1 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 2 \\ t_{i,t} + t_{s,t} &\leq d_{2,t} && \text{para } j = 3 \\ t_{s,t} &\leq d_{3,t} && \text{para } j = 4 \\ t_{i,t} &\leq d_{2,t-1} + \xi_t && \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$$\left. \begin{aligned} n_{i,t} + n_{i,t}^a + t_{i,t} &\leq \frac{S_{i,j}^n}{250} && \forall j \in \{1, \dots, 4\} \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{S_{s,j}^n}{144} && j = 2, 4 \\ n_{s,t} + n_{s,t}^a + t_{s,t} &\leq \frac{25 \cdot d_{2,0}}{144} && j = 3 \end{aligned} \right\} \forall t \in \{1, \dots, T\}$$

$\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_{a,0}, \mathbf{s}_0, \mathbf{s}_{a,0}, \mathbf{d}_0$, y T dados.

Parte III

Conclusiones

Capítulo 4

Conclusiones

4.1 Introducción

Este Capítulo presenta el conjunto de resultados principales derivados de este trabajo de investigación. En primer lugar se realiza un análisis conjunto de los instrumentos metodológicos utilizados en el desarrollo del Capítulo 2 y 3 así como de los resultados derivados de su aplicación. El análisis termina enumerando posibles ampliaciones metodológicas y aplicadas del trabajo realizado en esta memoria de tesis doctoral.

4.2 Aspectos metodológicos

Esta tesis realiza en primer lugar un análisis coste beneficio, ACB, incluyendo valores ambientales en un contexto de horizonte temporal infinito, y en segundo lugar, formula y resuelve un modelo de control óptimo en tiempo discreto a horizonte temporal finito. Aunque los instrumentos metodológicos utilizados son en principio diferentes, el trabajo realizado muestra un importante factor de complementariedad entre ambos.

La aplicación se basa en un grupo de dehesas reales de la comarca de Monfragüe en Cáceres. El desarrollo de un proceso de normalización permite analizar en ambos casos las superficies de dehesa a partir de la información teórica aportada por los ciclos selvícolas de las dos especies forestales predominantes en estos sistemas.

La diferencia explícita entre ambas metodologías se refiere a la naturaleza estática o dinámica del proceso de decisión. El análisis coste beneficio implica que la elección de una política de gestión determinada se realiza en el período inicial, $t = 0$, y se mantiene indefinidamente en el tiempo. Por otro lado, el problema de control óptimo resuelto permite un proceso de decisión que puede ser actualizado en cada uno de los períodos, t , comprendidos a lo largo del horizonte temporal T (siendo T finito). De manera intuitiva puede considerarse al problema de control óptimo resuelto como un conjunto muy amplio de problemas

de decisión semejantes a los resueltos en el análisis coste beneficio realizado, no obstante a horizonte temporal finito, y bajo un criterio de decisión sistemático impuesto por el principio de optimización dinámica. Puede observarse de esta manera, cierto anidamiento de la metodología ACB en el proceso de decisión lineal implícito en el modelo de control óptimo formulado.

En efecto esto se comprueba a través del gradiente de la función objetivo, que identifica el conjunto de costes de oportunidad en los que incurre un determinado agente decisor al intervenir en cada finca mediante reforestaciones o regenerado natural del arbolado adulto existente. Mientras que el ACB realizado en el Capítulo 2 calcula 5 costes de oportunidad fundamentales, este número asciende a $6 * T$ en cada uno de los problemas de optimización dinámica resueltos en el Capítulo 3. En el Capítulo 2 se evalúan (i) los costes de oportunidad de las actuales distribuciones de clases de edad del encinar y alcornocal gestionadas de manera sustentable frente a su hipotética gestión en estado estacionario, (ii) *idem*, pero cuando las actuales distribuciones de clases de edad se gestionan de manera no sustentable, es decir, sin regeneración natural cuando el arbolado alcanza su edad de regeneración, y (iii) el coste de oportunidad de una gestión forestal sustentable frente a otra no sustentable, esta vez a escala de la finca de dehesa incluyendo todos los usos del suelo. En el Capítulo 3 se calculan también a escala de la finca, (i) los costes de oportunidad asociados al regenerado natural del encinar y alcornocal existentes frente a su aprovechamiento continuado hasta su desaparición por mortalidad natural y el consecuente cambio a uso del suelo desarbolado, (ii) los costes de oportunidad de la plantación artificial con encinas y alcornoques sobre suelo desarbolado, y finalmente, (iii) los costes de oportunidad asociados al regenerado natural del arbolado procedente de las actuales plantaciones artificiales. Estos últimos carecen de sentido en el contexto analizado puesto que los horizontes temporales evaluados (un máximo de 100 años) no son lo suficientemente largos como para que las actuales reforestaciones alcancen la edad crítica de regeneración natural (de 144 y 250 años en el alcornocal y encinar, respectivamente).

Mientras que el análisis coste beneficio a horizonte temporal infinito ofrece un marco de valoración económica muy completo del activo de dehesa, el modelo de control óptimo formulado está más orientado a determinar las políticas de gestión óptima en estos sistemas, tanto desde el punto de vista de los propietarios como del conjunto de la sociedad.

Como se discute en el Capítulo 1, el tratamiento de un problema de decisión a horizonte temporal finito o infinito tiene implicaciones metodológicas importantes. En el primer caso, el análisis requiere información adicional sobre los precios de mercado de la tierra según uso del suelo. Dada la falta de información sobre transacciones de dehesa según la edad del arbolado, el análisis económico a horizonte temporal finito de las actuales masas de encinar y alcornocal, así como sus plantaciones artificiales y regeneración natural, requiere la estimación de funciones de precios del suelo arbolado según especie y edad. El análisis coste beneficio se realiza a horizonte temporal infinito, y el problema de control óptimo se resuelve en tiempo discreto para un horizonte temporal finito. La asignación del horizonte temporal no es casual. El análisis coste beneficio

a horizonte temporal finito queda resuelto evaluando la función objetivo del problema de control óptimo asignando controles de manera exógena. Contrariamente, la formulación y la solución al problema de control óptimo con horizonte temporal infinito no son inmediatas a partir del trabajo realizado en esta tesis.

4.3 Análisis de resultados

El Capítulo 2 analiza el concepto de sustentabilidad forestal en la dehesa desde dos perspectivas diferentes. Por un lado se estudia exclusivamente el arbolado y por otro, el análisis se realiza a escala de finca, incorporando todos los usos del suelo presentes en cada caso de estudio. El primer ejercicio compara el valor capital de las actuales superficies normalizadas de encinar y alcornocal, gestionadas bajo escenarios de regeneración natural continuada del arbolado o alternativamente sin regeneración natural y posterior transición a uso desarbolado, con el valor capital de las mismas superficies forestales pero ordenadas acorde al significado estricto de estado estacionario. En el segundo ejercicio se contrastan las preferencias sociales y privadas acerca de la gestión forestal sustentable de las especies forestales predominantes en las superficies de dehesa, esta vez a escala de finca, incluyendo todos y cada uno de los usos del suelo presentes en cada caso de estudio. Se compara el valor capital de las distribuciones actuales del arbolado gestionado de manera sustentable con el valor capital de las mismas superficies arboladas pero sin regeneración natural continuada.

El Capítulo 3 amplía el concepto de sustentabilidad forestal a la inclusión de las actuales plantaciones artificiales. La solución a un problema de control óptimo formulado en tiempo discreto y horizonte temporal finito ofrece la gestión óptima para cada uno de los agentes de decisión considerados en cada uno de los casos de estudio bajo las condiciones de mercado e intervención pública actuales.

A continuación se analiza el conjunto de resultados para los diferentes tipos de agentes de decisión considerados, los propietarios o maximizadores de RCPcf, el planificador central benevolente o maximizador de RTS, el planificador central no benevolente o maximizador de RCS, y el propietario que se enfrenta a una economía sin intervención pública en forma de impuestos y subvenciones, es decir que maximiza la RCPpm.

4.3.1 Los propietarios

Desde el punto de vista del propietario, la conservación del arbolado en estado estacionario ofrece en todos los casos de estudio, a excepción de F1, mayores niveles de RCPcf que las actuales distribuciones de clases de edad del arbolado. La importante reforestación con encina llevada a cabo en F1 durante el año 1995 hace que la distribución de clases de edad actual sea preferida al hipotético estado estacionario dado el importante volumen de subvenciones percibidas. Si las actuales distribuciones de clases de edad del encinar se gestionan de manera sustentable, los valores actuales netos a horizonte temporal infinito o valores capitales de la RCPcfn están más próximos a sus correspondientes valores esta-

cionarios en los casos de estudio que mejores resultados presentan en términos de espesura de la masa forestal. De este modo, el encinar de F1 es el más próximo al estado estacionario desde el punto de vista privado, seguido de los encinares en F2, F4, y F3. Cuando la gestión actual es no sustentable, F1 sigue siendo el más cercano al estado estacionario, no obstante, los casos de estudio con relativamente peores resultados de espesura muestran valores capitales de la RCP_{cfn} más próximos a los correspondientes valores del estado estacionario, observándose la ordenación, F1, F3, F4 y F2. En los casos con alcornocal, el de F2, con mejores niveles de espesura que el de F4, muestra valores capitales más cercanos a los estacionarios independientemente del tipo de gestión forestal realizada sobre las actuales distribuciones de clases de edad, ya sea sustentable o no sustentable.

La evaluación económica del conjunto de la finca muestra que los propietarios de las fincas de alcornocal estarían incentivados a regenerar su arbolado mediante regeneración natural si aplicasen tasas de descuento no superiores al 4.5 por ciento en F2, y al 4 por ciento en F4, en un contexto de renta mínima. Si alternativamente se incluye el aprovechamiento cinegético mayor, las tasas de rentabilidad máxima admitidas descienden al 4 por ciento en F2 y al 3 por ciento en F4. En el caso de las fincas de encinar, F1 y F3, la inclusión de subvenciones netas de impuestos hace que la gestión forestal sustentable ofrezca mayores niveles de renta que la opción no sustentable independientemente de la tasa de descuento.

Los resultados al problema de optimización dinámica planteado para el propietario coinciden plenamente con la experiencia observada en la gestión privada a lo largo de la segunda mitad de la década de 1990, desde la aplicación del reglamento comunitario sobre reforestación en tierras agrarias. La política de plantación artificial con encina en todos y cada uno de los períodos de decisión es óptima en todas las fincas de estudio excepto en F2, donde el supuesto de transición a uso como matorral desarbolado cuando los árboles envejecen en ausencia de regeneración natural, favorece a que las reforestaciones con encina sean excepcionalmente interrumpidas por el regenerado natural del encinar adulto en algunos de los períodos de decisión donde aparecen superficies en edad de regeneración, no obstante, solo cuando se supone un escenario de renta normal caracterizado por el aprovechamiento de bellota en montanera, y horizontes temporales de 50 y 100 años. La reforestación con alcornocal en todos los períodos de decisión forma también parte de las políticas óptimas de gestión de los propietarios de F2, F3, y F4.

Las fincas de dehesa con alcornocal muestran niveles de rentabilidad real superiores. Cuando se comparan los valores presentes descontados a horizonte temporal infinito de la RCP_{pm} con los precios de mercado observados para los distintos usos del suelo, resultan tasas de rentabilidad real *implícitas* en el mercado de la tierra de dehesas del 7 por ciento en los casos con alcornocal, F2 y F4, y del 3 por ciento en las fincas de encinar. Los problemas de decisión resueltos a la tasa de descuento del 3 por ciento anual, muestran valores más próximos a la realidad del mercado en las fincas con alcornocal que en las dehesas de encinar, donde esta exigencia de rentabilidad real puede resultar ligeramente

alta en un contexto de decisión a horizonte temporal finito, al mostrar valores óptimos de la función objetivo del propietario muy alejados de los precios de mercado estimados para las diferentes fincas.

Los mayores valores presentes descontados tanto a horizonte temporal finito como infinito se registran en la finca de mayor extensión, F4, seguidos de los calculados para F2. La finca de dehesa F3 presenta mayores valores capitales de renta privada que F1 aunque solo en ausencia de subvenciones. Desde el punto de vista de la RCPcf, el propietario de F1 percibe mayores niveles de renta en valor capital que el de F3. Para horizontes temporales de decisión de 25 y 50 años, F1 sigue ofreciendo niveles de RCPcf superiores a los de F3, no obstante, si se permite un período de decisión lo suficientemente largo, el valor actual neto de la RCPcf en F3 llega a superar al de F1, consecuencia de la política óptima privada de plantación artificial con alcornoque en todos y cada uno de los 100 períodos de decisión evaluados.

El análisis de los valores óptimos de la función objetivo muestra ganancias en renta de capital privada derivadas de la inclusión de subvenciones netas de impuestos más pronunciadas en los casos de encinar, F1 y F3, que en los de alcornocal, F2 y F4. Por otro lado, el aprovechamiento cinegético en las fincas con alcornocal ofrece incrementos en renta de capital privada relativamente más cuantiosos que los observados en las fincas de encinar al evaluar el aprovechamiento de su bellota en montanera.

4.3.2 El maximizador de RCPpm

En ausencia de subvenciones los propietarios de F2, F3 y F4 perciben mayores niveles de RCPpm de la actual distribución de clases de edad del encinar que del correspondiente estado estacionario. En los casos con alcornocal, el nivel de precios de corcho observado para el año 1998 hace que la distribución de clases de edad sincronizada del estado estacionario ofrezca mayores niveles de renta que la distribución actual en todas las situaciones evaluadas, salvo en F2 cuando las exigencias de rentabilidad real ascienden a un 15 por ciento.

La opción no sustentable es siempre preferida en los casos F1 y F3 desde el punto de vista de la RCPpm. En los casos de alcornocal, la opción sustentable es preferida a la no sustentable siempre y cuando la tasa de descuento no supere 3 por ciento en F2, y el 2 y el 3 por ciento en F4 dependiendo del nivel de renta evaluado, normal o mínimo respectivamente.

Las soluciones al problema de decisión del agente privado que opera en una economía de mercado sin subvenciones netas de impuestos coinciden con las obtenidas en el problema de planificación central no benevolente. El rasgo fundamental de todos estos problemas de decisión es la ausencia de prácticas de regeneración natural del arbolado adulto existente, favoreciendo la eventual transición a usos del suelo desarbolado. En esta economía de mercado tan sólo se llevarían a cabo plantaciones artificiales intermitentes de alcornoque en F2, F3 y F4. Este resultado contrasta con la realidad observada, ya que en ausencia de subvenciones no se han registrado reforestaciones generalizadas. Es predecible que bajo exigencias de rentabilidad real superiores al 3 por ciento

anual, la intervención en forma de plantación artificial con alcornoque disminuya hasta desaparecer de las políticas de gestión óptima privada en ausencia de subvenciones. Lo que está de acuerdo con la realidad observada y las tasas implícitas estimadas de descuento.

4.3.3 El planificador central benevolente

La respuesta afirmativa del planificador central benevolente sobre la conservación del arbolado en estado estacionario es clara en todos los casos de estudio, independientemente del tipo de gestión forestal aplicada a las distribuciones actuales de encinar o alcornocal y del tipo de descuento evaluado. Las rentas salariales asociadas al estado estacionario son un factor decisivo en este aspecto, ya que el problema de decisión del planificador central no benevolente o maximizador de RCS revela respuestas muy diferentes, dependiendo del caso de estudio, la especie forestal, el tipo de gestión, y la tasa de descuento.

Desde el punto de vista de la finca de dehesa en su conjunto, la opción de gestión forestal sustentable genera en todos los casos de estudio mayores niveles de renta salarial que la opción no sustentable, siendo las fincas con alcornocal, F2 y F4, las que más rentas salariales generan bajo este escenario de regeneración natural continuada del arbolado adulto existente. El maximizador de RTS obtiene generalmente mayores niveles de renta si la gestión forestal actual es sustentable, aunque aparecen algunas excepciones. De esta manera, las fincas de alcornocal F2 y F4 aportan mayores niveles de RTSn bajo una gestión no sustentable cuando la tasa de descuento real es del 7 por ciento. Adicionalmente, las fincas de encinar, F1 y F3, generan mayores niveles de RTSm si la gestión forestal del arbolado es no sustentable cuando la tasa de descuento real es del .5 por ciento.

Los problemas de planificación central benevolente resueltos en el Capítulo 3 muestran que en F1 y F2 resulta óptimo realizar la regeneración natural del encinar en todos los períodos de decisión en los que aparecen encinas en edad de regeneración. Las plantaciones artificiales con alcornoque resultan la forma de intervención más deseada, realizándose sistemáticamente en los casos de estudio F3 y F4. En F2, la reforestación con alcornoque tan sólo es interrumpida ocasionalmente por el regenerado natural del alcornocal adulto existente en algunos de los períodos de decisión en los que aparecen superficies de alcornocal en edad crítica de regeneración natural. En ningún caso resultan aceptables las reforestaciones con encina desde el punto de vista del maximizador de RTS.

4.3.4 El planificador central no benevolente

Solo el alcornocal de F4 y el encinar de F1 cuando su bellota se aprovecha en montanera, presentan mayores valores de RCS en estado estacionario independientemente del tipo de descuento y nivel de precio evaluados. En un contexto de renta mínima, el encinar de F1 presenta mayores niveles de RCSm en su estado actual si las exigencias de rentabilidad real no superan el 1 y el 1,5 por ciento, dependiendo del tipo de gestión forestal actual, sustentable o no sustentable.

En el alcornocal de F2 se observa precisamente lo contrario, solo en un contexto de renta normal y de alta exigencia de rentabilidad social, 15 por ciento anual, se observan mayores valores de RCSn en el estado actual que en el hipotético estado estacionario.

El análisis realizado a escala de la finca de dehesa muestra que sólo el maximizador de RCSn prefiere la gestión forestal con regeneración natural continuada del arbolado cuando las tasas de descuento no superan el .5 por ciento en las fincas de encinar, el 2 por ciento en F4 y el 3 por ciento en F2.

En consecuencia, la justificación de los incentivos públicos a la conservación del arbolado de la dehesa tienen su fundamento más cercano en el principio de precaución que en el de eficiencia económica.

4.3.5 Efectos de los distintos aprovechamientos

El análisis de sensibilidad realizado en los precios de la arroba repuesta en montanera y el corcho demuestra que el interés social y privado por la conservación del encinar y el alcornocal en estado estacionario aumenta con el nivel de precio de estos productos forestales.

La inclusión del aprovechamiento de la bellota de encina en montanera y la ausencia de aprovechamiento cinegético mayor ejercen una influencia positiva apreciable sobre la conservación del encinar de F1 y el alcornocal de F2 en estado estacionario desde el punto de vista del planificador central no benevolente. De esta manera, los únicos casos en los que el estado actual ofrece mayores niveles de renta que el estado estacionario ocurren en una situación de renta mínima en el encinar de F1, y de renta normal en el alcornocal de F2.

El análisis de sustentabilidad forestal realizado a escala de la finca muestra en las dehesas de encinar, F1 y F3, mayores ganancias de RCPcf y menores pérdidas de RCPpm si la gestión de las fincas incluye el aprovechamiento de bellota en montanera. En los casos de estudio con alcornocal, F2 y F4, el escenario de renta mínima, es decir, en ausencia de aprovechamiento cinegético mayor y de bellota de encina en montanera, proporciona una situación más favorable a la conservación del arbolado. En estas fincas, las ganancias/pérdidas en RCPcf/RCPpm derivadas de una selvicultura sustentable frente a otra no sustentable, son mayores/inferiores en el escenario de renta mínima. Como aparece reflejado en el resumen presentado para los propietarios, la inclusión del aprovechamiento cinegético mayor provoca en F2 y F4 descensos de medio punto y un punto porcentual en la tasa de rentabilidad máxima admitida por el propietario para que el escenario sustentable ofrezca mayores niveles de renta que el no sustentable. En ausencia de subvenciones, el escenario de renta mínima admite un punto adicional en la tasa máxima admitida de descuento para que la opción sustentable de gestión forestal sea preferida por el propietario de F4. Desde el punto de vista del planificador central benevolente, las únicas situaciones en las que se genera preferencia por el escenario de no sustentabilidad forestal ocurren en un escenario de renta normal en las fincas con alcornocal, F2 y F4, y en un escenario de renta mínima en las fincas de encinar, F1 y F3.

Los distintos aprovechamientos asociados a los niveles de renta mínimo y

normal no afectan a las políticas óptimas de gestión social benevolente determinadas en el Capítulo 3, no obstante, sí que producen cambios en algunas de las políticas de gestión privada y social no benevolente. El propietario de F2 es el único que interviene ocasionalmente para regenerar el encinar adulto existe cuando hay aprovechamiento de bellota en montanera y el horizonte temporal de decisión es de al menos 50 años. Las políticas de gestión social no benevolente incluyen más períodos de plantación artificial con alcornoque en F3 bajo un escenario de renta normal, y al contrario en las fincas F2 y F4, en donde la mayor incidencia de las reforestaciones con alcornoque se observa en ausencia del aprovechamiento cinegético mayor.

4.3.6 Recomendaciones de gestión pública

A la luz de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación pueden hacerse algunas recomendaciones sobre las políticas de intervención pública respecto de la conservación del arbolado autóctono en los sistemas agroforestales de dehesa.

Los programas de ayudas a la reforestación mediante la plantación artificial podrían ser ampliados a la regeneración natural del arbolado adulto existente. El escenario simulado de ayudas a la regeneración natural, relativamente más barato para las administraciones públicas que el programa comunitario del Reglamento 2080/92 sobre reforestación en tierras agrícolas, sería suficiente como para que la alternativa del estado estacionario aportase mayores niveles de renta privada y social que las actuales distribuciones de clases de edad del arbolado. Esto es así independientemente de la tasa de descuento en todos los casos de estudio excepto en F1, donde la influencia de las ayudas a la extensa reforestación realizada en 1995 hace más atractiva la distribución actual que la estacionaria. En un contexto de tasas de descuento real no superiores al 3 por ciento anual, una gestión forestal sustentable consistente en la regeneración natural del arbolado adulto a medida que alcanza su edad crítica de regeneración natural, ofrecería mayores niveles de renta a cada uno de los propietarios que la alternativa no sustentable observada en la realidad.

No obstante, como ya anticipaba el resultado en F1 comentado en el párrafo anterior, el escenario de ayudas a la regeneración natural del arbolado no compete en las condiciones de mercado y de intervención pública del año 1998, con las ayudas a la reforestación. El problema de optimización dinámica resuelto para cada uno de los propietarios muestra que sólo en F2, bajo el supuesto de transición al uso del suelo desarbolado menos rentable, se obtienen ocasionalmente mayores beneficios privados del regenerado natural del encinar que de su plantación artificial sobre pastizal desarbolado. Las plantaciones artificiales con encina y alcornoque resultan como en la práctica, óptimas en todos los períodos de decisión restantes. En un contexto relativamente más equiparado entre las ayudas a la plantación artificial y a la regeneración natural pueden esperarse respuestas afirmativas por parte de los propietarios como las observadas en los últimos años en términos de las reforestaciones con encina y alcornoque a raíz de la aplicación del reglamento comunitario 2080/92.

Resultan interesantes para las administraciones públicas, los resultados obtenidos sobre la inclusión de los distintos aprovechamientos. De este modo, mientras que el aprovechamiento de la bellota de encina en montanera favorece la conservación del encinar en la dehesa, el aprovechamiento cinegético mayor muestra un efecto negativo sobre los intereses privados en términos de la conservación del alcornocal. Políticas públicas incentivadoras del aprovechamiento de la montanera son totalmente compatibles con programas de conservación del arbolado. Por otro lado, no debieran concederse simultáneamente ayudas al aprovechamiento intensivo de los recursos de pastoreo de la dehesa si paralelamente se persigue la conservación de su arbolado. Aunque este trabajo no analiza la influencia de los distintos aprovechamientos ganaderos de la dehesa en la conservación de su arbolado, los resultados observados en términos del aprovechamiento cinegético mayor anticipan que aumentos en la intensidad de uso de los recursos de pastoreo desincentivan la conservación del arbolado desde punto de vista del propietario.

La inclusión de ayudas al regenerado natural y a la plantación artificial resulta más determinante en los casos de encinar estudiados que en los de alcornocal. En ausencia de subvenciones netas de impuestos las actuales distribuciones de clases de edad del encinar proporcionan siempre mayores niveles de renta al propietario que la correspondiente distribución del estado estacionaria. Por otro lado, una gestión no sustentable de las actuales masas de encinar es siempre más atractiva que la alternativa sustentable para el propietario que opera sin ayudas a su gestión forestal. Por último, en ninguno de los problemas de decisión considerados resultan óptimas las reforestaciones con encina o el regenerado natural del encinar existente para el maximizador de RCPpm cuyas exigencias mínimas de rentabilidad real no superan el 3 por ciento anual.

Las rentas salariales son siempre mayores en un contexto de sustentabilidad forestal. La conservación del arbolado, además de aportar un conjunto muy amplio de externalidades positivas con origen en la conservación de la vegetación, ofrece la oportunidad de generar oferta de empleo a la mano de obra local en una economía regional con notables tasas de paro y bajas tasas de natalidad.

4.4 Futuras líneas de investigación

Pueden distinguirse dos aspectos fundamentales en la ampliación del trabajo presentado. Por un lado, deben tenerse en cuenta aspectos puramente metodológicos, y por otro, elementos ligados a la aplicación de dicha metodología.

Es relevante la formulación de metodologías de análisis similares a las utilizadas en los Capítulos 2 y 3, no obstante introduciendo elementos de carácter estocástico tanto desde el punto de vista económico, en precios de bienes y servicios, costes de los factores de producción y materias primas; como físico, en términos de crecimiento de la masa forestal, así como la posible evaluación de diversos riesgos catastróficos por plagas o incendios entre otros. El planteamiento de estos problemas resulta mucho más factible desde el punto de vista teórico que del práctico o aplicado. La disponibilidad de información es el factor deter-

minante. Aunque si que existen series temporales oficiales de algunos productos forestales como el corcho o la madera, gran parte de la información económica necesaria debiera ser construida a partir de bases primarias.

Futuras aplicaciones del modelo de control óptimo, en un contexto de mayor interacción entre el analista y el agente decisor, pudieran incluir técnicas de programación matemática positiva (ver Howitt, 1995). El proyecto de investigación titulado Ecosistemas silvopastorales mediterráneos en España y California: Estrategias globales para la conservación de sistemas agrícolas extensivos, financiado por la Universidad de California y la Universidad Complutense de Madrid, dirigido por Lynn Huntsinger y Emilio Cerdá Tena, ofrece al doctorando y sus directores la oportunidad de colaborar con los profesores norteamericanos Richard Howitt y Richard Standiford en la elaboración y extensión de los modelos bioeconómicos de gestión en sistemas agroforestales mediterráneos, con la inclusión del autoconsumo de servicios ambientales por los propietarios.

El trabajo realizado en términos del análisis coste beneficio a horizonte temporal infinito y el modelo de control óptimo a horizonte temporal finito, puede ser fácilmente orientado a la evaluación y análisis de los efectos que ejercen en la gestión privada los diferentes escenarios de política de intervención pública, tanto en niveles de los distintos incentivos a la reforestación y regeneración natural del arbolado como en las normas que definen su aplicación.

La formulación del estado estacionario de las superficies arboladas se realiza a lo largo de todo el trabajo acorde al significado teórico estricto del concepto. En otras palabras, se considera un rodal de igual superficie por cada uno de los grupos de edad que comprenden el ciclo selvícola de regeneración natural continuada. En términos de gestión real, la ordenación de las superficies de encinar y alcornocal en estado estacionario se realiza utilizando un número menor de rodales, principalmente por cuestiones prácticas. Formulaciones alternativas del estado estacionario considerando un número limitado de rodales, por ejemplo $N = \frac{\tau^*}{20}$, es decir, la edad crítica de regeneración natural del arbolado sobre el número de años de acotamiento al pastoreo de animales (Montero *et al.*, 1998), pueden resultar muy interesantes en futuras aplicaciones donde la información forestal y la propia gestión del caso de estudio presenten un mayor nivel de detalle e interés en estos aspectos. En este caso, el período de decisión no sería anual y correspondería al número de años de acotamiento al pastoreo, hecho que afecta a toda la dinámica del sistema a través de las leyes de movimiento de los estados. Las restricciones de ordenación forestal en estado estacionario debieran actualizar además los límites superiores: $\frac{S_{i,j}^n}{N}$ ó $\frac{S_{s,i}^n}{N}$, dependiendo si se trata del encinar o alcornocal, respectivamente. En el caso del alcornocal, también suelen tener lugar ordenaciones forestales para el descorche que aseguran una producción de corcho anual más o menos constante, mediante el establecimiento de un número de rodales de descorche igual al número de años del turno de descorche aplicado.

Las consideraciones del párrafo anterior no presentan dificultades metodológicas importantes y su tratamiento es relativamente sencillo a partir de la metodología presentada en este trabajo. Principalmente se requiere información forestal precisa por parte de los gestores de los casos de estudio.

La ampliación del conjunto de información teórica correspondiente a los ciclos selvícolas del arbolado para zonas de dehesa alternativas permite realizar estudios a mayor escala que la finca de dehesa.

Mientras que el trabajo presenta un tratamiento relativamente completo de los aspectos puramente forestales, se añora en cierta medida la inclusión de restricciones de carácter biológico y ecológico sobre la gestión de estos sistemas agroforestales, teóricamente fundamentadas (ver Díaz *et al.*, 2001). La realización de futuros proyectos de investigación multidisciplinar pudieran evaluar la influencia de estas restricciones en el proceso de decisión de los agentes públicos y privados sobre la conservación de estos sistemas mediterráneos de uso múltiple.

El trabajo realizado en el Capítulo 2 sobre la medición del coste de oportunidad de las actuales distribuciones de clases de edad del arbolado frente a su hipotética distribución en estado estacionario pudiera ampliarse a la medición del coste económico de deterioro ecológico contemplado en Naredo y Valero (1999).

Futuras versiones del problema de optimización planteado en el Capítulo 3 debieran considerar el horizonte temporal de decisión más largo permitido, $T = 141$. Adicionalmente, podría endogeneizarse el horizonte temporal y consecuentemente determinar el período de decisión óptimo para los diferentes agentes estudiados.

Bibliography

- [1] Aunós, A., 1994. Análisis financiero de los proyectos de repoblación con *Quercus Suber L.* En: Instituto de Promoción del Corcho (Ed.), *Simposio internacional sobre regeneración del monte alcornocal*. Instituto de Promoción del Corcho, Mérida.
- [2] Azqueta, D., 2002. *Introducción a la economía ambiental*. McGraw-Hill, Madrid, 420 pp.
- [3] Borse, G.J., 1997. *Numerical methods with MATLAB[®]. A resource for scientists and engineers*. PWS Publishing Company, International Thomson Publishing Company, 640 pp.
- [4] Bowes, M.D., y Krutilla, J.V., 1989. *Multiple-use management: The Economics of public forestlands*. Resources for the future, Washington, DC, 357 pp.
- [5] Campos, P., 1991a. Nota sobre economía y conservación del alcornocal. En: *Subericultura*. Natividade, J.V. (edición en español a cargo de Pablo Campos Palacín de la versión portuguesa del año 1950 traducida por Gregorio Montero González). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, pp. 33-54.
- [6] Campos, P., 1991b. Presente y futuro del alcornocal. En: *O ambiente na península Ibérica. Perspectivas a montante*. Universidade Trás-Os-Montes e Alto Douro/Universidade Internacional, Vila Real/Lisboa, pp. 205-223.
- [7] Campos, P., 1995. Conserving commercial and environmental benefits in the Western Mediterranean forest: theory and practice. En: *Environmental and Land use Issues. An economic Perspective*. Albisu, L.M., y Romero, C., editores. Vauk Kiel KG, Kiel, pp. 301-310.
- [8] Campos, P., 1997. Análisis de la rentabilidad económica de la dehesa. En: *Situación*. Serie estudios regionales, Extremadura, pp. 111-140.
- [9] Campos, P., 1998. Contribución de los visitantes a la conservación de Monfragüe. Bienes públicos, mercado y gestión de los recursos naturales. En: *La dehesa: aprovechamiento sostenible de los recursos naturales*. Hernández, C.G., editor. GEDEA/Editorial Agrícola Española, Madrid, pp. 241-263.

- [10] Campos, P., 1999a. An agroforestry economic accounting system. En: *Institutional aspects of managerial economics and accounting in forestry*. Merlo, M., Jöbstl, H., y Venzi, L., editores. Viterbo, Italy, IUFRO, pp. 9-19.
- [11] Campos, P., 1999b. Hacia la medición de la renta de bienestar del uso múltiple de un bosque. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, Madrid, vol. 2, pp. 407-422.
- [12] Campos, P., 1999c. Alcornocales del suroeste ibérico. En: *Los Montes y su historia: Una perspectiva política, económica y social*. Marín, F., Domingo, J., y Calzado, A., editores. Universidad de Huelva, Huelva, pp. 245-285.
- [13] Campos, P., 2000. Las nuevas cuentas del bosque europeo. *Fuentes estadísticas*, 41, pp. 14-15.
- [14] Campos, P., 2002. Economía del uso múltiple de los Montes Propios de Jerez de la Frontera (1991-1993). *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 195, pp. 147-186.
- [15] Campos, P., y Sesmero, J., 1987. Análisis económico de un grupo de dehesas de Extremadura. En: *Conservación y desarrollo de las dehesas portuguesas y españolas*. Campos, P., y Martín, M., coordinadores. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, pp. 487-534.
- [16] Campos, P., De Andrés, R., Urzainqui, E., y Riera, P., 1996. Valor económico total de un espacio de interés natural. La Dehesa del Área de Monfragüe. En: *Gestión de espacios naturales. La demanda de servicios recreativos*. Azqueta, D. y Pérez, L., editores. McGraw-Hill, Madrid, pp. 193-215.
- [17] Campos, P., y López, J., 1998. *Renta y naturaleza en Doñana. A la búsqueda de la conservación con uso*. Icaria editorial, Barcelona, 246 pp.
- [18] Campos, P., y Caparrós, A., 1999. Análisis económico de la fijación de carbono por el pino silvestre. En: *El calentamiento global en España. Un análisis de sus efectos económicos y ambientales*. Hernández, F., coordinador. CSIC, Madrid, pp. 141-162.
- [19] Campos, P., y Mariscal, P.J., 2000. Demandas de compensaciones de los propietarios de dehesas para la realización de prácticas agroforestales de interés ambiental. En: *Naturaleza, agricultura y política agroambiental en España*. Paniagua, A., editor. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, pp. 115-155.
- [20] Campos, P., Rodríguez, Y., y Caparrós, A., 2001. Towards the *dehesa* total income accounting: theory and operative Monfragüe study cases. En: *New Forestlands Economic Accounting: Theories and Applications*, *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. Campos, P., editor. Madrid, pp. 43-67.

- [21] Campos, P., Cañellas, I., y Montero, G., 2002a. Evolución y situación actual del monte adehesado. En: *La gestión forestal de las dehesas: historia, ecología, selvicultura y economía*. Pulido, F.J., Campos, P., y Montero, G., coordinadores. Junta de Extremadura/IPROCOR, Mérida, pp. 27-37.
- [22] Campos, P., Huntsinger, L., Standiford, R.B., Martin, D., Mariscal, P., y Starrs, P.F., 2002b. Working woodlands: public demand, owner management, and government intervention in conserving Mediterranean ranches and dehesas. En: *Proceedings of the Fifth Symposium on Oak Woodland: Oaks in California's Changing Landscape*, October 22-25, 2001, San Diego, CA., USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-184. pp. 511-527.
- [23] Campos, P., Martín, D., y Montero, G., 2002c. Economías de la reforestación del alcornoque y la regeneración natural del alcornocal. En: *La gestión forestal de las dehesas: historia, ecología, selvicultura y economía*. Pulido, F.J., Campos, P., y Montero, G., coordinadores. Junta de Extremadura/IPROCOR, Mérida, pp. 107-164.
- [24] Caparrós, A., 2000. Valoración económica del uso múltiple de un espacio natural: análisis aplicado en los pinares de la sierra de Guadarrama. *Tesis Doctoral UCM*, Madrid, 320 pp.
- [25] Caparrós, A., Campos, P., y Montero, G., 2001. Applied multiple use forest accounting in the Guadarrama Pinewoods (Spain). En: *New Forestlands Economic Accounting: Theories and Applications, Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. Campos, P., editor. Madrid, pp. 91-108.
- [26] Ceballos, L., Ruiz de la Torre, J., 1971. *Árboles y arbustos*. IFIE-ETSIM. Madrid, 512 pp.
- [27] Cerdá, E., 2001. *Optimización dinámica*. Prentice Hall, Madrid, 321 pp.
- [28] Chiang, A.C., 1992. *Elements of Dynamic Optimization*. McGraw-Hill, New York, London, 327 pp.
- [29] Coleman, T., Branch, M.A., y Grace, A., 1999. *Optimization Toolbox for Use with MATLAB. User's Guide Version 2*. The MathWorks Inc.
- [30] Council Regulation (EEC) 2080/92 of 30 June instituting a Community aid scheme for forestry measures in agriculture. Official Journal of the European Communities L215, 96-100.
- [31] Dasgupta, P., 1982. *The control of resources*. Blackwell, Oxford, 223 pp.
- [32] Díaz, M., Campos, P., y Pulido, F.J., 1997. The Spanish dehesas: a diversity in land-use and Wildlife. En: *Farming and Birds in Europe. The Common Agricultural Policy and its Implications for Bird Conservation*. Pain, D.J., y Pienkowski, M.W., editores. Academic Press, London, UK, pp. 178-209.

- [33] Díaz, M., Pulido, F.J., y Marañón, T., 2001. Diversidad biológica en los bosques mediterráneos ibéricos: relaciones con el uso humano e importancia para la sustentabilidad de los sistemas adehesados. En: *Seminario beneficios comerciales y ambientales de la repoblación y la regeneración del arbolado del monte Mediterráneo*. CIFOR-INIA e IEG-CSIC, Madrid, 19-20 de noviembre, Tomo II, pp. 269-296. On line: http://ieg.csic.es/ben_amb_com.
- [34] Díaz, L., y Romero, C., 1995. Rentabilidad financiera de las especies forestales arbóreas de crecimiento medio y lento en el vigente marco de ayudas públicas. *Revista Española de Economía Agraria*. 171, pp. 85-108.
- [35] European Commission, 1994. *The scientific basis for sustainable multiple-use forestry in the European Community*. Koch, N.E., editor. Comisión Europea/Dirección General de Agricultura VI/4135/94- EN. Working document, ref. F.II.3-SJ/0012, Bruselas, 189 pp.
- [36] Faustmann, M., 1849. Berechnung des Werthes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd-Zeitung*, 25, pp. 441-455. Traducción en inglés: Faustmann, M., 1995. On the determination of the value which forest land and immature stands possess for forestry. *Journal of Forest Economics*, 1(1), pp. 5-42.
- [37] Fisher, I., 1930. *The Theory of Interest*. Macmillan, New York, 566 pp.
- [38] Gaffney, M., 1957. Concepts of financial maturity of timber and other assets. *Agricultural Economics Information Series 62*. North Carolina State College. Raleigh, N.C., September. Citado en Samuelson (1976).
- [39] Gregory, G.R., 1955. An economic approach to multiple use. *Forest Science*, 1, pp. 6-13.
- [40] Hartman, R., 1976. The harvesting decision when a standing forest has value. *Economic Inquiry*, 14, pp. 52-58.
- [41] Howitt, R.E., 1995. Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77, May, pp. 329-342.
- [42] Kennedy, John O.S., 1986. *Dynamic Programming. Applications to Agriculture and Natural Resources*. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 341 pp.
- [43] Klemperer, W.D., 1996. *Forest resource economics and finance*. McGraw-Hill, Singapore, 551 pp.
- [44] MAPA, 2001. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2000. Datos 1998, 1999 y 2000. Madrid, 699 pp.

- [45] Mariscal, P.J., y Campos, P., 2001. Demandas sociales, interés de los propietarios e intervención pública en los espacios naturales: el caso de la dehesa de la comarca de Monfragüe. En: *IV Coloquio Hispano-Portugués de estudios rurales*. Asociación Española de Economía Agraria-Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais, Santiago de Compostela, 7-8 de junio de 2001. On line: <http://www.usc.es/idega/pablocp.doc>.
- [46] Martín Bolaños, M., 1943. *Consideraciones sobre los encinares de España*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid, XIV, 27, 106 pp.
- [47] Martín, D., Campos, P., Caparrós A., y Cerdá, E., 1999. An optimal control model of the Spanish Dehesa. En: *Proceedings of the IUFRO Symposium: From Theory to Practice. Gaps and Solutions in Managerial Economics and Accounting in Forestry*. Prague, May 13-16: pp. 141-155.
- [48] Martín, D., Campos, P., Cañellas, I., y Montero, G., 2001. Extended cost-benefit analysis of holm oak dehesa multiple use and cereal-grass rotations. En: *New Forestlands Economic Accounting: Theories and Applications, Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. Campos, P., editor. Madrid, pp. 109-124.
- [49] Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Segundo Inventario Forestal Nacional 1989-1996. Madrid, 337 pp.
- [50] Montero, G., Torres, E., y Cañellas, I., 1994. Regeneración de alcornoques. Una síntesis bibliográfica. *Ecología*, 8, pp. 271-283.
- [51] Montero, G., San Miguel, A., Cañellas, I., 1998. Sistemas de selvicultura mediterránea. La dehesa. En: *Agricultura Sostenible*. Jiménez Díaz, R.M., y Lamo de Espinosa, J., coordinadores Ediciones Mundi-Prensa, pp. 519-554.
- [52] Montero, G., y Cañellas, I., 1999. *Manual de reforestación y cultivo de alcornoque (Quercus suber L.)*. MAPA-INIA, Madrid, 103 pp.
- [53] Montero, G., Martín, D., Campos, P., y Cañellas, I., 2000. Selvicultura y producción del encinar (*Quercus ilex* L.) en la comarca de Monfragüe. CSIC-INIA. Documento de trabajo, 47 pp. (No publicado).
- [54] Montero, G., Martín, D., Campos, P., Cañellas, I., 2002. Selvicultura y producciones del alcornoque. En: *La gestión forestal de las dehesas: historia, ecología, selvicultura y economía*. Pulido, F.J., Campos, P., y Montero, G., coordinadores. Junta de Extremadura/IPROCOR, Mérida, pp. 63-106.
- [55] Naredo, J.M., y Valero, A. (directores), 1999. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Colección Economía y Naturaleza, vol. XI. Fundación Argenteria-Visor Dis., Madrid, 388 pp.
- [56] Persky, J., 2001. Retrospectives: Cost-Benefit Analysis and the Classical Creed. *Journal of Economic Perspectives*, 15, 4, pp. 199-208.

- [57] Pulido, F.J., y Díaz, M., 2001. Regeneración del arbolado e integridad de los sistemas adhesionados. En: *Seminario beneficios comerciales y ambientales de la repoblación y la regeneración del arbolado del monte Mediterráneo*. CIFOR-INIA e IEG-CSIC, Madrid, 19-20 de noviembre, Tomo I, pp. 33-47. On line: http://ieg.csic.es/ben_amb_com.
- [58] Pulido, F.J., Campos, P., y Montero, G., 2002. *La gestión forestal de las dehesas: historia, ecología, silvicultura y economía*. Junta de Extremadura/IPROCOR, Mérida, 183 pp.
- [59] Riitters, K., Brodie, J.D., y Hann, D.W., 1982. Dynamic programming for optimization of timber production and grazing in ponderosa pine. *Forest Science*, 28(3), pp. 517-526.
- [60] Romero, C., Rós, V. y Díaz-Balteiro, L., 1998. Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: theory and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 49, pp. 121-131.
- [61] Rupérez Cuellar, A., 1957. *La Encina y sus tratamientos*. Madrid, 154 pp.
- [62] Samuelson, P.A., 1976. Economics of forestry in an evolving society. *Economic Inquiry*, 14, pp. 466-492.
- [63] San Miguel, A., 1994. *La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 96 pp.
- [64] Snyder, D.L., y Bhattacharyya, R.L., 1990. A more general dynamic economic model of the optimal rotation of multiple-use forests. *Journal of Environmental Economics and Management*, 18, pp. 168-175.
- [65] Standiford, R.B., y Howitt, E., 1992. Solving empirical bioeconomic models: a rangeland management application. *American Journal of Agricultural Economics*, 74, May, pp. 421-433.
- [66] Standiford, R.B., y Howitt, E., 1993. Multiple use management of California's hardwood rangelands. *Journal of Range Management*, 46(2), March, pp. 176-182.
- [67] Strang, W.J., 1983. On the optimal forest harvesting decision. *Economic Inquiry*, 4, pp. 576-583.
- [68] Torres, E., 2001. Regeneración natural del monte mediterráneo. Problemas e indicadores. En: *Seminario beneficios comerciales y ambientales de la repoblación y la regeneración del arbolado del monte Mediterráneo*. CIFOR-INIA e IEG-CSIC, Madrid, 19-20 de noviembre, 15 pp. On line: http://ieg.csic.es/ben_amb_com.

Apéndice computacional

Se presenta el código correspondiente a las tres funciones principales necesarias para resolver los problemas de control óptimo formulados en el Capítulo 3 mediante la función `linprog` del *Optimization Toolbox* de MATLAB[®]. En primer lugar, la función `aim4dm` define el programa principal encargado de introducir los argumentos de entrada y gestionar los resultados de la función `linprog`. `aim4dm` se encarga además de llamar a las funciones `fgt4` y `constr`. `fgt4` establece los parámetros de la función objetivo del problema de programación lineal, obtenidos a partir del vector gradiente de la función objetivo original definido en el apartado 3.3.8. La función `constr` recoge el conjunto de restricciones sobre las variables de control, a excepción de la restricción global de recursos.

.1 Programa principal

```
function [F,fx,rtbld,GRAD,OC,STATE,RGR,convg,algoth,sec,MLOWER,...
    MSMSS,MUBNR,MUBAP] = aim4dm(j,r,T,type,levelm,level)

% Programa para resolver el problema de optimización dinámica
% por programación lineal, PL, mediante linprog:
% min g'C w.r.t. C s.t. AC<=b & lb<=C.
% A es una matriz, g, C, b, lb y ub son vectores.

% ARGUMENTOS DE ENTRADA: j es finca del 1 al 4, r es tasa anual
% de descuento en tantos por uno, T es horizonte temporal
% (T<=141), debe ser inferior a la edad crítica de
% regeneración natural del alcornocal procedente de
% plantación artificial.
% type es tipo de variable,(del 1 al 8, los impares
% corresponden a las rentas mínimas, los pares a las normales,
% el orden es: rcppm, rcpcf, rcs, y rts).
% level y levelm sirven para modificar los niveles de precio
% del corcho y la arropa repuesta en montanera,
% respectivamente. level=levelm=1 corresponde a los niveles
% de precios observados en 1998.
```

```

% OUTPUT: F es función objetivo óptima original.
% fx es función objetivo óptima del problema de PL.
% rtbld, definido como el cociente entre F y el precio
% de la compra del activo dehesa por (T+1).
% GRAD (T x 6) es matriz con gradiente de la función
% objetivo. OC es una matriz T x 6: [C(1)';...;C(T)'],
% donde C(t) es el vector de control óptimo en año t y
% C: [ni nia ns nsa ti ts]'. STATE es una matriz T+1 x 7
% cuyas columnas corresponden a las superficies
% asociadas a cada uso del suelo:
% [ilex,ilexa,suber,subera,cultivo,pasto,matorral]
% en cada año t en {0,1,...,T}. EXITFLAG es un escalar: 1
% indica convergencia. RGR es T x 1: restricción global
% de recursos, 0 significa cumplimiento.
% MLOWER es una matriz T x 6 cuyas filas corresponden a los
% multiplicadores de Lagrange (lambdas) asociados a las
% restricciones: LB<=C. MSMSS es T x 2 y cada fila
% representa los lambdas asociados a las restricciones
% ni+nia+ti<=silex/250 y ns+nsa+ts<=ssuber/250 o .25d(2) en
% el caso de F3. MUBNR es T x 4 y corresponde a los
% lambdas asociados a los límites superiores de las variables
% de regeneración natural. MUBAP es T x 1 excepto en F4 que
% es T x 2, representa los lamdas asociados a los recursos
% totales para la plantación artificial.
% sec son los segundos iterando.
% algoth muestra el algoritmo utilizado por linprog.

t0=clock;

% Matriz con soluciones C al problema de optimización.

OC=zeros(T,6);

% Restricción global de recursos check.

RGR=zeros(T+1,1);

% Multiplicadores de Lagrange.

MLOWER=zeros(T,6);
MSMSS=zeros(T,2);
MUBNR=zeros(T,4);

if j==4

```

```

MUBAP=zeros(T,2);

else

MUBAP=zeros(T,1);

end

% OPTIMIZACIÓN.

options = optimset('Display','iter');

% Parámetros función objetivo.

g = fgt4(j,r,T,type,levelm,level);

% Restricciones.

[A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0] = constr(j,T); % Ax<=b y lb<=x<=ub.

[C,fval,exitflag,output,LAMBDA]=linprog(g,A,b,Aeq,beq,lb,ub,...
    [],options);

% Output.

% Multiplicadores de Lagrange.

for i=1:T

MSMSS(:,1)=LAMBDA.ineqlin(1+(2*(i-1))); % ilex.
MSMSS(:,2)=LAMBDA.ineqlin(2+(2*(i-1))); % suber.

MUBNR(:,1)=LAMBDA.ineqlin((2*T)+1+(4*(i-1))); % ni<=x.
MUBNR(:,2)=LAMBDA.ineqlin((2*T)+2+(4*(i-1))); % nia<=xa.
MUBNR(:,3)=LAMBDA.ineqlin((2*T)+3+(4*(i-1))); % ns<=s.
MUBNR(:,4)=LAMBDA.ineqlin((2*T)+4+(4*(i-1))); % nsa<=sa.

if j==4

MUBAP(:,1)=LAMBDA.ineqlin((6*T)+1+(2*(i-1))); % ti<=d2.
MUBAP(:,2)=LAMBDA.ineqlin((6*T)+2+(2*(i-1))); % ts<=d3.

else

MUBAP(:,1)=LAMBDA.ineqlin((6*T)+i); % ti+ts<=d2.

```

```

end

end

for i=1:T

    MLOWER(i,1)=LAMBDA.lower(1+(6*(i-1)));
    MLOWER(i,2)=LAMBDA.lower(2+(6*(i-1)));
    MLOWER(i,3)=LAMBDA.lower(3+(6*(i-1)));
    MLOWER(i,4)=LAMBDA.lower(4+(6*(i-1)));
    MLOWER(i,5)=LAMBDA.lower(5+(6*(i-1)));
    MLOWER(i,6)=LAMBDA.lower(6+(6*(i-1)));

end

% Gradiente y control óptimo.

for i=1:T

    GRAD(i,1)=-g(1+(6*(i-1)));
    GRAD(i,2)=-g(2+(6*(i-1)));
    GRAD(i,3)=-g(3+(6*(i-1)));
    GRAD(i,4)=-g(4+(6*(i-1)));
    GRAD(i,5)=-g(5+(6*(i-1)));
    GRAD(i,6)=-g(6+(6*(i-1)));

    DC(i,1)=C(1+(6*(i-1)));
    DC(i,2)=C(2+(6*(i-1)));
    DC(i,3)=C(3+(6*(i-1)));
    DC(i,4)=C(4+(6*(i-1)));
    DC(i,5)=C(5+(6*(i-1)));
    DC(i,6)=C(6+(6*(i-1)));

end

% Matriz con vectores de estado. Cada columna
% representa un año.

X=zeros(321,T+1);
Xa=zeros(321,T+1);
S=zeros(197,T+1);
Sa=zeros(195,T+1);
D=zeros(3,T+1);

% Condiciones iniciales, vectores de estado año 0.

```

```

[x,xa,s,sa,d,st] = inicial(j); % Condiciones iniciales finca j.

X(:,1)=x;
Xa(:,1)=xa;
S(:,1)=s;
Sa(:,1)=sa;
D(:,1)=d;

% Leyes de movimiento de los vectores de estado.

for i=2:T+1

X(:,i)=diag(ones(1,320),-1)*X(:,i-1) + ...
[C(1+(6*(i-2)))+C(2+(6*(i-2)));zeros(249,1);...
C(1+(6*(i-2)));zeros(70,1)];
Xa(:,i)=diag(ones(1,320),-1)*Xa(:,i-1) + ...
[C(5+(6*(i-2)));zeros(249,1);-C(2+(6*(i-2)));zeros(70,1)];
S(:,i)=diag(ones(1,196),-1)*S(:,i-1) + ...
[C(3+(6*(i-2)))+C(4+(6*(i-2)));zeros(143,1);...
C(3+(6*(i-2)));zeros(52,1)];
Sa(:,i)=diag(ones(1,194),-1)*Sa(:,i-1) + ...
[C(6+(6*(i-2)));zeros(141,1);-C(4+(6*(i-2)));zeros(52,1)];

if j==1 | j==3

D(:,i)=diag(ones(1,3))*D(:,i-1) + ...
[X(321,i-1)+Xa(321,i-1)+S(197,i-1)+Sa(195,i-1);...
(C(5+(6*(i-2)))+C(6+(6*(i-2))))];0];

elseif j==2

D(:,i)=diag(ones(1,3))*D(:,i-1) + ...
[0;-(C(5+(6*(i-2)))+C(6+(6*(i-2))))];...
X(321,i-1)+Xa(321,i-1)+S(197,i-1)+Sa(195,i-1)];

elseif j==4

D(:,i)=diag(ones(1,3))*D(:,i-1) + ...
[0;X(321,i-1)+Xa(321,i-1)+S(197,i-1)+Sa(195,i-1)-...
C(5+(6*(i-2)))-C(6+(6*(i-2)))]];

end

end

% Vectores de variables de renta para cada uso del suelo.

```

```

if type==1
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcpmm(j,levelm,level);
elseif type==2
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcpmn(j,levelm,level);
elseif type==3
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcpcfm(j,levelm,level);
elseif type==4
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcpcfn(j,levelm,level);
elseif type==5
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcsn(j,levelm,level);
elseif type==6
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcsn(j,levelm,level);
elseif type==7
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rtsm(j,levelm,level);
elseif type==8
    [yin,yia,ysn,ysa,yd] = rtsn(j,levelm,level);
end

% Función objetivo original.
ff=zeros(T+1,1);
for i=1:T+1
    ff(i)=X(:,i)*yin + Xa(:,i)*yia + S(:,i)*ysn + ...
        Sa(:,i)*ysa + D(:,i)*yd;
end

```

```

F=- (1/st)*(dcnt(r,T)*ff - ((X(:,1)'+Xa(:,1)')*fi +...
    S(:,1)'*fsn + Sa(:,1)'*fsa + D(:,1)'*fd) +...
    ((1+r)^(-T))*((X(:,T+1)'+Xa(:,T+1)')*fi +...
    S(:,T+1)'*fsn + Sa(:,T+1)'*fsa + D(:,T+1)'*fd));

rtbld=F/(pricela(j)*(T+1)); % Rentabilidad.

% Función objetivo óptima del problema de PL.

fx=-fval;

% Superficies por uso del suelo en cada momento del tiempo (ha).

ilex=zeros(T+1,1);
ilexa=zeros(T+1,1);
suber=zeros(T+1,1);
subera=zeros(T+1,1);
cultivo=zeros(T+1,1);
pasto=zeros(T+1,1);
matorral=zeros(T+1,1);

for i=1:T+1

    ilex(i)=ones(1,321)*X(:,i);
    ilexa(i)=ones(1,321)*Xa(:,i);
    suber(i)=ones(1,197)*S(:,i);
    subera(i)=ones(1,195)*Sa(:,i);
    cultivo(i)=D(1,i);
    pasto(i)=D(2,i);
    matorral(i)=D(3,i);

end

STATE=[ilex,ilexa,suber,subera,cultivo,pasto,matorral];

for i=1:T+1

    RGR(i)=ones(1,321)*(X(:,i)+Xa(:,i)) + ones(1,197)*S(:,i) +...
        ones(1,195)*Sa(:,i) + ones(1,3)*D(:,i) - st;

end

convg=exitflag;

algoth=output.algorithm;

```

```
sec=etime(clock,t0);
```

.2 Parámetros de la función objetivo

```
function g = fgt4(j,r,T,type,levelm,level)

% Parámetros de la función objetivo del problema de PL.
% Gradiente de la función objetivo original.

% Argumentos de entrada:
% j es finca, r tasa de descuento anual,
% T horizonte temporal,
% type es tipo de variable,(del 1 al 8, los impares
% corresponden a las rentas mínimas,
% los pares a las normales,
% el orden es: rcppm, rcpcf, rcs, y rts).
% level y levelm sirven para modificar los niveles de precio
% del corcho y la arropa repuesta en montanera,
% respectivamente.
% level=levelm=1 corresponde a los niveles de precios
% observados para el año 1998.

% Vectores de variables de renta para cada uso del suelo.

if type==1

[yin,yia,ysn,ya,yd] = rcppmm(j,levelm,level);

elseif type==2

[yin,yia,ysn,ya,yd] = rcppmn(j,levelm,level);

elseif type==3

[yin,yia,ysn,ya,yd] = rcpcfj(j,levelm,level);

elseif type==4

[yin,yia,ysn,ya,yd] = rcpcfj(j,levelm,level);

elseif type==5

[yin,yia,ysn,ya,yd] = rcsj(j,levelm,level);

elseif type==6
```

```

[yin,yia,ysn,ysa,yd] = rcsn(j,levelm,level);

elseif type==7

[yin,yia,ysn,ysa,yd] = rtsm(j,levelm,level);

elseif type==8

[yin,yia,ysn,ysa,yd] = rtsn(j,levelm,level);

end

[x,xa,s,sa,d,st] = inicial(j); % Condiciones iniciales finca j.

% Parámetros de la función objetivo del problema de PL.
% Gradiente de la función objetivo original.

delta=(1/(1+r))^T;

ffi=fi;
ffsn=fsn;
ffsa=fsa;
ffd=fd;

DCNT=dcnt(r,T);

for i=1:T

    if T-i < 71

        g(1+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
            yin(251:251+T-i)) + delta*(ffi(T+1-i)-ffi(251+T-i)));
        g(2+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
            yia(251:251+T-i)) + delta*(ffi(T+1-i)-ffi(251+T-i)));

    elseif T-i > 70

        if j==1 | j==3

            g(1+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
                [yin(251:321);yd(1)*ones(T-i-70,1)]) +...
                delta*(ffi(T+1-i)-ffd(1)));
            g(2+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
                [yia(251:321);yd(1)*ones(T-i-70,1)]) +...
                delta*(ffi(T+1-i)-ffd(1)));
        end
    end
end

```

```

elseif j==2

    g(1+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
        [yin(251:321);yd(3)*ones(T-i-70,1)]) +...
        delta*(ffi(T+1-i)-ffd(3)));
    g(2+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
        [yia(251:321);yd(3)*ones(T-i-70,1)]) +...
        delta*(ffi(T+1-i)-ffd(3)));

elseif j==4

    g(1+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
        [yin(251:321);yd(2)*ones(T-i-70,1)]) +...
        delta*(ffi(T+1-i)-ffd(2)));
    g(2+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yin(1:T+1-i)-...
        [yia(251:321);yd(2)*ones(T-i-70,1)]) +...
        delta*(ffi(T+1-i)-ffd(2)));

end

end

end

for i=1:T

    if T-i < 53

        g(3+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
            ysn(145:145+T-i)) + delta*(ffsn(T+1-i)-ffsn(145+T-i)));
        g(4+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
            ysa(143:143+T-i)) + delta*(ffsn(T+1-i)-ffsa(143+T-i)));

    elseif T-i > 52

        if j==1 | j==3

            g(3+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
                [ysn(145:197);yd(1)*ones(T-i-52,1)]) +...
                delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(1)));
            g(4+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
                [ysa(143:195);yd(1)*ones(T-i-52,1)]) +...
                delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(1)));

        elseif j==2

```

```

g(3+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
    [ysn(145:197);yd(3)*ones(T-i-52,1)]) +...
    delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(3)));
g(4+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
    [ysa(143:195);yd(3)*ones(T-i-52,1)]) +...
    delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(3)));

elseif j==4

g(3+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
    [ysn(145:197);yd(2)*ones(T-i-52,1)]) +...
    delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(2)));
g(4+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysn(1:T+1-i)-...
    [ysa(143:195);yd(2)*ones(T-i-52,1)]) +...
    delta*(ffsn(T+1-i)-ffd(2)));

end

end

end

for i=1:T

g(5+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(yia(1:T+1-i)-...
    yd(2)*ones(T+1-i,1)) + delta*(ffi(T+1-i)-ffd(2)));

if j==1 | j==2 | j==3

g(6+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysa(1:T+1-i)-...
    yd(2)*ones(T+1-i,1)) + delta*(ffsa(T+1-i)-ffd(2)));

elseif j==4

g(6+(6*(i-1)))=-(1/st)*(DCNT(i+1:T+1)*(ysa(1:T+1-i)-...
    yd(3)*ones(T+1-i,1)) + delta*(ffsa(T+1-i)-ffd(3)));

end

end

```

.3 Restricciones

```
function [A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0] = constr(j,T)

% AC<=b y lb<=C<=ub. C es vector de variables de control,
% 6*T x 1.
% A es una matriz, x, b, lb y ub son vectores.
% Argumentos de entrada:
% j es finca y T horizonte temporal.

% Condiciones iniciales finca j.

[x,xa,s,sa,d,st] = inicial(j);

% Superficies normalizadas de encinar y alcornocal.

silex=ones(1,321)*(x+xa); % Su
ssuber=ones(1,197)*s + ones(1,195)*sa;

% Hacia las distribuciones de clases de edad sincronizadas
% del estado estacionario.

ilexss=silex/250;

if j==1 | j==2 | j==4

    subess=ssuber/144;

% 25% de la superficie inicial de pastizal puede ser
% reforestada con alcornoque en F3.

elseif j==3

    subess=(.25*d(2))/144;

end

% Bosque en estado estacionario.

AA=zeros(2*T,6*T);
ba=zeros(2*T,1);

for i=1:T

    AA(1+(2*(i-1)),1+(6*(i-1)))=1;
```

```
AA(1+(2*(i-1)),2+(6*(i-1)))=1;
AA(1+(2*(i-1)),5+(6*(i-1)))=1;
```

```
AA(2+(2*(i-1)),3+(6*(i-1)))=1;
AA(2+(2*(i-1)),4+(6*(i-1)))=1;
AA(2+(2*(i-1)),6+(6*(i-1)))=1;
```

```
ba(1+(2*(i-1)))=ilexss;
ba(2+(2*(i-1)))=subess;
```

```
end
```

```
% Límites superiores sobre las variables de regeneración natural.
```

```
AB=zeros(4*T,6*T);
bb=zeros(4*T,1);
```

```
for i=1:T
```

```
AB(1+(4*(i-1)),1+(6*(i-1)))=1;
AB(2+(4*(i-1)),2+(6*(i-1)))=1;
AB(3+(4*(i-1)),3+(6*(i-1)))=1;
AB(4+(4*(i-1)),4+(6*(i-1)))=1;
```

```
bb(1+(4*(i-1)))=x(251-i);
bb(2+(4*(i-1)))=xa(251-i);
bb(3+(4*(i-1)))=s(145-i);
bb(4+(4*(i-1)))=sa(143-i);
```

```
end
```

```
% Límites superiores sobre las variables de plantación
% artificial.
```

```
if j==1 | j==2 | j==3
```

```
AC=zeros(T,6*T);
bc=zeros(T,1);
```

```
for i=1:T
```

```
AC(1+(i-1),5+(6*(i-1)))=1;
AC(1+(i-1),6+(6*(i-1)))=1;
```

```
bc(i)=d(2);
```

```

if i > 1
    for k=1:i-1
        AC(1+(i-1),5+(6*(k-1)))=1;
        AC(1+(i-1),6+(6*(k-1)))=1;
    end
end
end
elseif j==4
AC=zeros(2*T,6*T);
bc=zeros(2*T,1);
for i=1:T
    AC(1+(2*(i-1)),5+(6*(i-1)))=1;
    AC(2+(2*(i-1)),6+(6*(i-1)))=1;
    bc(1+(2*(i-1))) = d(2) + ones(1,i)*(x(321-(i-1):321)+...
    xa(321-(i-1):321)+s(197-(i-1):197)+sa(195-(i-1):195));
    bc(2+(2*(i-1)))=d(3);
    if i > 1
        for k=1:i-1
            AC(1+(2*(i-1)),5+(6*(k-1)))=1;
            AC(2+(2*(i-1)),6+(6*(k-1)))=1;
        end
    end
end
if i > 53 & i < 72
    for k=54:i
        AC(1+(2*(i-1)),3+(6*(k-54)))=1;
        AC(1+(2*(i-1)),4+(6*(k-54)))=1;
    end
end

```

```
elseif i > 71

    for k=54:i

        AC(1+(2*(i-1)),3+(6*(k-54)))=1;
        AC(1+(2*(i-1)),4+(6*(k-54)))=1;

    end

    for k=72:i

        AC(1+(2*(i-1)),1+(6*(k-72)))=1;
        AC(1+(2*(i-1)),2+(6*(k-72)))=1;

    end

end

end

end

A=[AA;AB;AC];
b=[ba;bb;bc];

% Restricciones lineales de igualdad.

Aeq=[];
beq=[];

% Restricciones de no-negatividad de las variables de control.

lb=zeros(6*T,1);
ub=[];

% Condiciones iniciales.
x0=zeros(6*T,1);
```