



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

Priorización de especies para los proyectos de repoblación forestal incorporando criterios de cambio climático en el

Parque Natural Serra de Mariola

**Doctorando: Nuria González Utrillas, Departamento de Física Aplicada,
Universitat Politècnica de València**

Directores de Tesis:

**Jorge Curiel Esparza, Departamento de Física Aplicada,
Universitat Politècnica de València**

**Julián Cantó Perelló, Departamento de Ingeniería de la
Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil,
Universitat Politècnica de València**

**Manuel Guzmán Martín Utrillas, Departamento de Física
Aplicada, Universitat Politècnica de València**

Enero de 2016

Priorización de especies para los proyectos de repoblación forestal incorporando criterios de cambio climático en el Parque Natural Serra de Mariola.

Autor: Nuria González Utrillas, Ingeniera de Montes. Ingeniera Agrónoma

Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain

E-mail: nugonut@upv.es

Directores de Tesis:

Jorge Curiel Esparza^a, Julián Cantó Perelló^b, Manuel Guzmán Martín Utrillas^a,

^aDepartamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain

^bDepartamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain

Tribunal de Tesis:

Presidente: Dr.Santiago González Alonso, Universidad Politécnica de Madrid

Vocal: Dr.Rafael Escribano Bombín, Universidad Politécnica de Madrid

Secretario: Dr.Francisco Galiana Galán, Universitat Politècnica de València

ÍNDICE

ABSTRACT	13
RESUMEN.....	15
RESUM	17
1.- Introducción	19
2.- La selección de especies en las repoblaciones forestales	33
3.- Caso de estudio.	59
4.- Metodología aplicada.....	135
4.1.- Método Delphi	135
4.2.- Método AHP	146
5.- Aplicación de la metodología para la selección de especies.....	161
6.- Definición de la estructura jerárquica	171
7.- Construcción de las matrices de comparación por pares	187
8.- Ponderación de los criterios y subcriterios. Relación de consistencia.....	197
9.- Evaluación de las alternativas en función de los criterios y subcriterios.....	203
10.- Conclusiones.....	217
11.- Referencias bibliográficas.....	227
ANEXO 1.- PUBLICACIÓN	249

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Sensibilidad de especies forestales a daños producidos por fauna	49
Tabla 2.- Atributos vitales de las plantas para predecir respuesta al fuego	51
Tabla 3.- Datos de precipitaciones	89
Tabla 4.- Datos de temperaturas.....	90
Tabla 5.- Series de vegetación de Rivas-Martínez.....	95
Tabla 6.- Matriz de comparación.....	150
Tabla 7.- Escala fundamental de Saaty para la comparación de pares	151
Tabla 8.- Tabla del RCI	157
Tabla 9.- Lista de especies proporcionada a los expertos	165
Tabla 10.- Especies seleccionadas tras la fase Delphi	166
Tabla 11.- Evaluación de los criterios respecto al objetivo de la repoblación	188
Tabla 12.- Cuestionario para la evaluación de los criterios.....	188
Tabla 13.- Resultados para cada uno de los expertos	189
Tabla 14.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del grupo (EES).....	190
Tabla 15.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del grupo (EIM)	190
Tabla 16.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del grupo (ICC)	191
Tabla 17.- Resultados de la evaluación de los criterios para cada uno de los expertos.....	192
Tabla 18.- Cuestionario para la evaluación de subcriterios.....	193
Tabla 19.- Resumen de la prioridad de cada subcriterio y de los pesos de las especies para cada uno de estos subcriterios.	198
Tabla 20.- Resultados del análisis de consistencia para cada una de las matrices.	200
Tabla 21.- Ejemplo de cuestionario para el subcriterio CB.....	203
Tabla 22.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio CB	205
Tabla 23.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio LE	205
Tabla 24.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio TA	205
Tabla 25.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio WI	205
Tabla 26.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio IC.....	206
Tabla 27.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio ST.....	206
Tabla 28.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio ER.....	206
Tabla 29.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio WR.....	206

Tabla 30.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio SU	207
Tabla 31.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio SC.....	207
Tabla 32.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio FR.....	207
Tabla 33.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio PR	207
Tabla 34.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de EES.....	208
Tabla 35.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de EIM....	208
Tabla 36.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de ICC.....	208
Tabla 37.- Resumen de la prioridad de cada subcriterio y de los pesos	209
Tabla 38.- Porcentaje óptimo de distribución de las especies seleccionadas.....	210
Tabla 39.- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal ICC.....	212
Tabla 40.- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal EES.	213
Tabla 41.- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal EIM.....	214

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1.- Vista del Parque Natural Serra de Mariola	30
Fig. 2.- Etapas en el proceso de elección de especies.	37
Fig. 3.- Carácter de las especies arbóreas.	40
Fig. 4.- Vegetación del Parque Natural Serra de Mariola	55
Fig. 5.- Parques Naturales de la Comunitat Valenciana	59
Fig. 6.- Mapa de los municipios y principales vías de comunicación	69
Fig. 7.- Pico del Montcabrer	76
Fig. 8.- Mapa Geológico de España (E 1:50.000) Hoja Onteniente	81
Fig. 9.- Mapa Geológico de España (E 1:50.000) Hoja Alcoy	83
Fig. 10.- Manzanilla amarga (<i>Santolina chamaecyparissus</i>)	92
Fig. 11.- Font de la Mallaeta	93
Fig. 12.- Coscojar formando garriga asociada al pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>) y a la estepa blanca (<i>Cistus albidus</i>)	96
Fig. 13.- Maquia de carrasca (<i>Quercus ilex</i>) y pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	96
Fig. 14.- Río Vinalopó en el Molí l'ombria	97
Fig. 15.- Carrascas (<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>) arbustivas	98
Fig. 16.- Carrasca (<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>)	99
Fig. 17.- Quejigo (<i>Quercus faginea</i> Lam.subsp. <i>faginea</i>)	99
Fig. 18.- Coscoja (<i>Quercus coccifera</i>) y agrupación de carrascas (<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>) rebrotando tras incendio	100
Fig. 19.- Barranco del Cint	101
Fig. 20.- Pico Montcabrer	102
Fig. 21.- Río Vinalopó	104
Fig. 22.- Imágenes de las consecuencias del incendio de 2012	106
Fig. 23.- Pico de Mariola	107
Fig. 24.- Cova Serrella	108
Fig. 25.- Distribución en porcentaje de las distintas unidades de zonificación	109
Fig. 26.- Zonificación del PORN	110
Fig. 27.- Vía pecuaria en Banyeres de Mariola	111
Fig. 28.- Cava Arquejada	112
Fig. 29.- Bosquete de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	114

Fig. 30.- Sierra de Mariola desde Alfafara.	115
Fig. 31.- Regeneración natural.....	118
Fig. 32.- Hojas y baya de tejo (<i>Taxus baccata</i>)	121
Fig. 33.- León de Bocairent (Museo San Pío V Valencia)	122
Fig. 34.- Límite del PORN y titularidad de los terrenos	123
Fig. 35.- Deslinde del MUP “Mas de Galbis”	124
Fig. 36.- Mas de Galbis.....	126
Fig. 37.- Rodal de actuación para la repoblación del caso de estudio.. ..	127
Fig. 38.- Robellones (<i>Lactarius deliciosus</i>)	128
Fig. 39.- Paso vía pecuaria en Banyeres de Mariola	129
Fig. 40.- Sierra de Mariola nevada.....	130
Fig. 41.- Sierra de Mariola.	132
Fig. 42.- Árbol jerárquico o estructura jerárquica del modelo AHP	184
Fig. 43.- Importancia relativa asignada a cada subcriterio dentro de los tres grupos principales en la matriz de comparación por pares	219
Fig. 44.- Evaluación de las especies para cada subcriterio propuesta por los expertos como resultado de la aplicación del AHP	222
Fig. 45.- Porcentaje de distribución de las especies seleccionadas.....	221

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
BIC	Bien de Interés Cultural
BRL	Bien de Relevancia Local
CB	Contribución a la biodiversidad
CEE	Comunidad Económica Europea
CIDAM	Centro de Información y Documentación Ambiental (GVA)
CIEF	Centro para la Investigación y Experimentación Forestal
CMA	Conselleria de Medio Ambiente (GVA)
CPF	Asociación de Colaboración en materia de Bosques
DOGV	Diario Oficial de la Generalitat Valenciana
DOUE	Diario Oficial de la Unión Europea
EES	Efecto de los bosques sobre los servicios ambientales
EIM	Importancia económica del bosque
ER	Beneficio económico
EU	Unión Europea
EUCOM	Comisión de la Unión Europea
EUCON	Consejo de la Unión Europea
EUFS	Estrategia Forestal de la Unión Europea
EUPAR	Parlamento de la Unión Europea
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FERA	Flora Endémica, Rara o Amenazada
FMDSS	Sistemas de Apoyo a la toma de Decisiones en cuanto a la Gestión Forestal
FMP	Planes de Ordenación Forestal
FR	Respuesta a los incendios forestales
GIS	Sistemas de Información Geográfica
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GVA	Generalitat Valenciana
IC	Coste inicial o de establecimiento
ICC	Impacto del cambio climático sobre los bosques
IGME	Instituto Geológico y Minero de España
INGEMISA	Investigaciones Geológicas y Mineras, SA
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
ISO	Organización Internacional de Normalización

ISSN	Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas
IUNC	Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza
JCR	Journal Citation Reports
LE	Mejora del paisaje
LENPCV	Ley de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana
LIC	Lugar de Interés Comunitario
LIFE	Instrumento Financiero para la Protección del Medio Ambiente
MCDM	Métodos Multicriterio de toma de Decisiones
MCPEE	Conferencia Ministerial sobre la Protección de los Bosques en Europa
MUP	Monte de Utilidad Pública
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAFCOM	Plan de Acción Forestal de la Unión Europea
PATFOR	Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana
PLANPREVIN	Plan de Prevención de Incendios Forestales
PNSM	Parque Natural de la Serra de Mariola
POI	Plan de Ordenación Integral
PORN	Plan de Ordenación de los Recursos Naturales
PR	Riesgo de plagas y enfermedades
PRUG	Plan Rector de Uso y Gestión
SC	Conservación del suelo
SEA	Evaluación Estratégica Medioambiental
SFM	Gestión Sostenible de los Bosques
ST	Tratamientos selvícolas
SU	Tolerancia a la insolación
TA	Atractivo turístico
UIB	Universitat de les Illes Balears
UN-REDD	Iniciativa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación Forestal
WI	Mejora de la fauna
WR	Respuesta al estrés hídrico
ZEPA	Zonas de Espacios Protegidos para las Aves

ABSTRACT

The selection of appropriate species in a reforestation project has always been a complex decision-making problem in which, due mostly to government policies and other stakeholders, not only economic criteria but also other environmental issues interact. Climate change has not usually been taken into account in traditional reforestation decision-making strategies and management procedures. Moreover, there is a lack of agreement on the percentage of each one of the species in reforestation planning, which is usually calculated in a discretionary way. In this context, a multicriteria technique has been developed in order to improve the process of selecting species for reforestation in the Mediterranean region of Spain. A hybrid Delphi-AHP methodology is proposed, which includes a consistency analysis in order to reduce random choices. As a result, this technique provides a percentage distribution of the appropriate species to be used in reforestation planning, bearing in mind the climate-change related criteria promoted by the European Commission.

RESUMEN

La selección de especies en una repoblación forestal constituye un complejo problema de toma de decisiones, donde interactúan no sólo criterios económicos sino también otros aspectos medioambientales, impuestos en muchos casos desde políticas gubernamentales o grupos de presión. El cambio climático no ha sido tenido en cuenta en las estrategias tradicionales de toma de decisiones en las repoblaciones. Es más, hay actualmente una falta de consenso acerca del peso que cada especie debe tener en la reforestación multiespecífica, el cual se calcula normalmente de un modo discrecional. En este contexto, se desarrolla aquí una técnica multicriterio para mejorar el proceso de selección de especies en una reforestación localizada en el área Mediterránea. Se propone, pues, una metodología híbrida Delphi-AHP, la cual incluye un análisis de consistencia para reducir las elecciones aleatorias. Como resultado, esta técnica proporciona un porcentaje de distribución de las especies apropiadas para ser utilizadas en la planificación de la reforestación, teniendo en cuenta criterios de cambio climático, tal y como recomienda la Comisión Europea.

RESUM

La selecció d'espècies en una repoblació forestal constituïx un complex problema de presa de decisions, on interactúen no sols criteris econòmics sinó també altres aspectes mediambientals, impostos en molts casos des de polítiques governamentals o grups de pressió. El canvi climàtic no ha sigut tingut en compte en les estratègies tradicionals de presa de decisions en les repoblacions. És més, hi ha actualment una falta de consens sobre el pes que cada espècies ha de tindre en la reforestació multiespecífica, el qual es calcula normalment d'una manera discrecional. En este context, es desenrotlla ací una tècnica multicriterio per a millorar el procés de selecció d'espècies en una reforestació localitzada en l'àrea Mediterrània. Es proposa, doncs, una metodologia híbrida Delphi-AHP, la qual inclou una anàlisi de consistència per a reduir les eleccions aleatòries. Com a resultat, esta tècnica proporciona un percentatge de distribució de les espècies apropiades per a ser utilitzades en la planificació de la reforestació, tenint en compte criteris de canvi climàtic, tal com recomana la Comissió Europea.

1.- INTRODUCCIÓN

1.- Introducción

El 24 de septiembre de 2008, dentro del ámbito del programa UN-REDD (Iniciativa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación forestal, siglas en inglés), el actual Secretario General de la ONU, Ban Ki-moon, revelaba que la lucha contra el cambio climático no puede ser ganada sin los bosques del mundo, lo que constituye, sin embargo, una hazaña compleja y desafiante en términos de estructuras de incentivo al establecimiento y mecanismos de implementación. A pesar de eso, señalaba Ban Ki-moon, es una de las inversiones a gran escala que podemos hacer para combatir el cambio climático y que puede resarcir beneficios a una escala de iguales dimensiones, ya que es capaz de contribuir en la reducción de las emisiones globales.

De acuerdo con esta línea de pensamiento, la Comisión Europea propone una nueva Estrategia Forestal de la Unión Europea (EUFS) para los bosques y el sector forestal (EUCOM 2013), implementando la ya adoptada en 1998 (EUCON 1999) y relacionada con el Plan de Acción Forestal de la Unión Europea (EUCOM 2006). La EUFS (EUCOM 1998) destaca tanto los desafíos a los que se enfrenta la política y el marco legal para los bosques de la Unión Europea (en adelante, EU) como los objetivos del papel a desempeñar por los Estados Miembros en cuanto a política forestal. La citada EUFS enfatiza la importancia del papel multifuncional de los bosques y de la Gestión Sostenible de los Bosques (en adelante, SFM) en el desarrollo de la sociedad y destaca que los

bosques y el mundo forestal pueden proveer de una manera exitosa múltiples beneficios a la sociedad.

En este sentido, en la Resolución del Parlamento Europeo del 11 de mayo de 2011, sobre el Libro Verde de la Comisión sobre la protección de los bosques e información en la EU: preparando los bosques para el cambio climático (EUPAR 2011), el Parlamento Europeo considera que los bosques Mediterráneos tienen un alto valor como sumideros de carbono atmosférico y en términos de diversidad y por ello deberían beneficiarse de una encarecida protección. Además, considera también que la SFM es esencial para la continua capacidad de los bosques de la EU para llevar a cabo las funciones económicas, ecológicas y sociales. También, la Estrategia Europea de Biodiversidad anima a los Estados Miembros a asegurar que las repoblaciones se llevan a cabo de acuerdo con la guía pan-Europea a nivel operacional para la SFM.

De acuerdo con la EUFS, los bosques europeos cumplen diversas funciones tales como la social (contribución al desarrollo rural, recreo, empleo en zonas rurales), económica (madera de aserradero, celulosa, embalaje, papel, energía renovable) o medioambiental (conservación de la diversidad biológica, acción para combatir la desertificación, secuestro de carbono que mitiga el cambio climático, protección contra la erosión del suelo, control de avenidas, regulación de ríos y corrientes). Como resultado de esta situación, la nueva EUFS 2013 dirige su atención hacia dichos criterios pan-europeos para informar acerca de la implementación del SFM por parte de los distintos países. Los indicadores asociados fueron finalmente revisados y adoptados en la Conferencia Ministerial de

Viena (MCPEE 2002) como “Indicadores Pan-Europeos mejorados para la Gestión Sostenible del Bosque”. Se utilizan para evaluar el progreso a través de un SFM en la región pan-Europea tanto a nivel regional como nacional. Los Planes de Gestión del Bosque o Planes de Ordenación Forestal (en adelante, FMP, de sus siglas en inglés) constituyen una importante herramienta para la implementación de la SFM a un nivel operacional. En este sentido, el Plan de Acción Territorial Forestal 2013 (en adelante PATFOR, 2013) para la Comunidad Valenciana sugiere varios criterios a tener en cuenta en el proceso de selección de especies en una repoblación forestal, relacionados todos ellos con el efecto sobre varios servicios ambientales y con el impacto del cambio climático sobre el terreno (Schöter *et al.* 2005).

Como se desprende de toda esta recopilación de directrices para una correcta planificación forestal, los sistemas forestales son inherentemente complejos y por ello hay varios criterios que deben ser considerados en la implementación del proceso de evaluación de las diferentes especies dirigidas a ser seleccionadas en una repoblación forestal. Es más, las específicas características de los bosques de la región Mediterránea subrayan la necesidad de conseguir una repoblación exitosa, por lo que la selección de especies adecuadas es la principal decisión en un proyecto de repoblación forestal. La complejidad en la toma de decisión se incrementa debido a la manera por la cual los diferentes grupos sociales y grupos de presión perciben la importancia relativa de los criterios implicados en el proceso de toma de decisión (Díaz-Balteiro y Romero 2008; Edwards *et al.* 2012a y 2012b).

A la vista de estas dificultades, la planificación actual de los proyectos de repoblación forestal exige la utilización de sistemas expertos como una herramienta versátil para el apoyo de la decisión final (Orsi *et al.* 2011). En este sentido, el PATFOR impone a los responsables de la toma de decisiones en un proyecto de repoblación forestal el deber de utilizar técnicas multicriterio para la selección de las especies en tales proyectos.

Cabe destacar que el marco general forestal ha cambiado durante los últimos veinte años. Es frecuente en la selvicultura actual la búsqueda de multi-objetivos. Sería deseable que los bosques produjeran ingresos razonables mientras que al mismo tiempo se deberían tener en cuenta consideraciones de conservación y recreo. Se confiere cada vez más peso a otros criterios distintos de los relacionados con la producción forestal en el proceso de elección de las alternativas en cuanto a especies forestales a utilizar en la repoblación forestal. Los bosques están actualmente siendo empleados de forma simultánea para múltiples finalidades. Esto nos lleva a la necesidad de utilización de métodos aplicables en la planificación forestal multi-objetivo. En particular, se necesitan métodos de toma de decisiones para la evaluación multi-criterio y para la comparación de planes forestales alternativos (Kangas y Kangas, 2005).

Los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) han sido ampliamente utilizados en gestión medioambiental, análisis de políticas energéticas, gestión agrícola, seguridad alimentaria, gestión forestal, protección de áreas naturales, gestión de los recursos hídricos, de los ecosistemas, del suelo y del agua subterránea, de la fauna, gestión de zonas húmedas y de parques nacionales. Estos métodos MCDM son

apropiados para la gestión forestal y sus problemas de planificación (Ananda y Herath, 2009). De hecho, algunos trabajos relacionan esta potente herramienta que es el MCDM con los Sistemas de Información Geográfica (en adelante, GIS) (Gilliams *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010; Sousa *et al.*, 2012). Incluso, Vukicevi y Nedovic-Budic consideran el integrar la Evaluación Estratégica Medioambiental (SEA), tal y como sugiere la Directiva Trans-SEA (2001/42/EC), en el proceso de planificación basado en un análisis multicriterio implementado con GIS.

Ha habido un crecimiento en los últimos años en estudios de investigación que utilicen métodos MCDM, cuyas principales contribuciones se revisan en algunas publicaciones relativamente recientes (Ananda y Herath, 2009; Díaz-Balteiro y Romero, 2008; Mendoza y Martins, 2006; Kangas y Kangas, 2005). En este último trabajo se analizan un amplio rango de temas forestales mostrando las principales publicaciones relacionadas: problemas de planificación de la cosecha, conservación de la biodiversidad del bosque, sostenibilidad forestal, repoblaciones, planificación regional, industria forestal, riegos e incertidumbres y misceláneas. En cuanto a la sección de repoblación forestal, los principales problemas analizados versan sobre las metodologías para la planificación de actividades relacionadas con la reforestación, tales como la toma en consideración de diferentes especies, el diseño espacial de un sistema de apoyo a la toma de decisiones para abordar diferentes requerimientos medioambientales asociados con los problemas de la repoblación, la aplicación de modelos para determinar el turno óptimo de rotación o la evaluación de alternativas entre diferentes técnicas de forestación (Díaz-Balteiro y Romero, 2008).

El proceso de análisis jerárquico, AHP, desarrollado originalmente por Saaty (1980), es un sistema de ayuda a la toma de decisiones, ampliamente extendido y quizás el más popular en muchos campos, en el que se incluye la gestión forestal (Kangas y Kangas, 2005; Ananda y Herath, 2009). Mendoza y Prabhu (2003, 2005), Wolfslehner *et al.* (2005), Sheppard y Meitner (2005) y Nordström *et al.* (2011), entre otros, han utilizado la técnica AHP en aplicaciones forestales. Algunos trabajos han abordado la técnica AHP para solucionar problemas forestales específicos (Sousa *et al.* 2012; Vukicevi y Nedovic-Budic 2012; Espelta *et al.* 2003; Gilliams *et al.* 2005; Wang *et al.* 2010). Espelta *et al.* (2003) aplicaron un método multicriterio para elegir las mejores alternativas en un problema de repoblación tras un incendio acontecido en España. Gilliams *et al.* (2005) compararon el método AHP con otros métodos discretos multicriteria (ELECTRE y tres tipos de PROMETHEE) en un estudio donde el objetivo de la investigación era elegir la mejor alternativa de forestación en Bélgica. Aquí, las alternativas a evaluar eran las diferentes prácticas de forestación, la elección del lugar de plantación y la longitud del período de forestación (Díaz-Balteiro y Romero, 2008).

En cuanto al problema que nos ocupa, la selección de alternativas para la repoblación, pueden considerarse varios criterios en la implementación del proceso de evaluación de las diferentes especies que van a ser seleccionadas en la repoblación forestal. Es más, las características concretas de los bosques de la región Mediterránea requieren el logro de una repoblación forestal con un porcentaje elevado de éxito (un bajo porcentaje de reposición de marras). Y lo que es más, esta complejidad en

la toma de decisión de las especies a repoblar está actualmente en aumento debido al modo en el que los diferentes grupos sociales o grupos de presión perciben la importancia relativa de estos criterios (Díaz-Balteiro y Romero, 2008). Debido a esto, la planificación de una repoblación forestal requiere hoy en día el uso de sistemas expertos como una herramienta versátil para la toma de decisiones. En esta tesis se trata de mejorar el éxito de la repoblación forestal mediante la utilización de la metodología AHP en el nivel de evaluación de alternativas de acuerdo con el objetivo de la repoblación forestal. Conscientes del papel potencial que la técnica AHP puede tener en la resolución de este problema, se sugiere aquí una metodología AHP como herramienta de toma de decisiones para evaluar las alternativas en cuanto a especies en la repoblación forestal, de acuerdo con criterios específicos definidos previamente.

De acuerdo con Pemán García *et al.* (2006), la decisión de restauración forestal viene determinada por el logro de los objetivos planificados; tradicionalmente, estos han sido: conservación, protección o producción. Sin embargo, los autores recomiendan tomar la decisión tras una evaluación de la situación actual, las razones que originaron esta situación y el objetivo final a lograr. En cuanto al proceso de selección de especies, los autores describen tres etapas. En primer lugar, la identificación de las alternativas, que comprende la selección de especies compatibles con las características ecológicas del rodal a repoblar. En esta etapa, los factores a considerar son los siguientes: climáticos y bioclimáticos, fisiográficos, edáficos y de vegetación. Deben destacarse aquí los escenarios de cambio climático, entre los que se incluyen las últimas predicciones de variabilidad

en las temperaturas y patrones de precipitación. La segunda de estas tres etapas hace referencia a la evaluación de las alternativas propuestas de acuerdo con el objetivo de la repoblación forestal, con especial referencia a la gestión del rodal y sus perturbaciones. Los criterios sugeridos por los autores son ecofisiológicos, económicos, caracteres culturales, biodiversidad biológica, faunísticos, de paisaje, respuesta de la población, selvícolas y sociales.

En lo referente a la tercera etapa, la definición de estos criterios, Pemán García *et al.* (2006) proporcionan una guía para la selección de especies en las repoblaciones forestales, basada en las contribuciones del profesor Ruiz de la Torre sobre el conocimiento de las características selvícolas y ecológicas de las principales especies forestales españolas (“Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre”) Los autores señalan la importancia que tiene una adecuada elección de especies en la repoblación forestal, ya que implica a largo plazo un efecto económico significativo.

Tras la evaluación de las especies seleccionadas de acuerdo con estos criterios y como etapa final del proceso se obtiene la elección de la mejor alternativa. En la presente tesis doctoral se propone la evaluación de las especies conforme a dichos criterios utilizando el método AHP. El proceso aquí propuesto corresponde a una estructura jerárquica en diferentes niveles: en el primer nivel, el objetivo principal de la repoblación, en el segundo nivel, los criterios, que a su vez se dividen en subcriterios y que son los que hay que tener en cuenta para la elección de las especies; por último, en el tercer nivel, las alternativas o especies.

En esta tesis doctoral se propone un sistema de apoyo de decisión que integra criterios de cambio climático para una mejor alternativa de planificación de la repoblación forestal. Se utiliza una metodología híbrida formada por el método Delphi y el proceso de análisis jerárquico AHP. Esta metodología híbrida se aplica a un caso de estudio en el Parque Natural Serra de Mariola (Comunitat Valenciana) (ver figura1). Se utiliza el método Delphi (Dalkey y Helmer, 1963) para evaluar la idoneidad de diversas especies compatibles con las características ecológicas del rodal a repoblar, considerando factores tales como climáticos, fisiográficos, edáficos y de vegetación potencial (Edwards *et al.* 2012b). El segundo paso es evaluar estas especies de acuerdo con el objetivo de la repoblación forestal, es decir, con los criterios o estrategias de planificación forestal. El problema de la decisión atañe en asignar un orden de prioridad de los diferentes criterios considerados mediante el método AHP (Saaty 2013). La innovación que se propone es incluir en estos criterios aquellos relacionados con el cambio climático para minimizar los efectos adversos de éste sobre el bosque (Flugman *et al.* 2012). Como resultado, la metodología híbrida Delphi-AHP proporciona un porcentaje de distribución de las especies apropiadas para ser utilizadas en el proyecto de repoblación forestal. Al aplicar esta metodología híbrida se incorporan los criterios de adaptación al cambio climático, teniendo en cuenta tanto el desarrollo socio-económico como a la aceptación de los grupos de presión (Bhave *et al.* 2014).



Fig. 1.- Vista del Parque Natural Serra de Mariola. (Fuente: CIDAM)

2.- LA SELECCIÓN DE ESPECIES EN LAS REPOBLACIONES FORESTALES

2.- La selección de especies en las repoblaciones forestales

La selección correcta de las especies en una repoblación forestal es una de las decisiones más importantes de un proyecto de restauración forestal, por las implicaciones significativas que a largo plazo tiene en los costes de gestión y en el valor de la comunidad final (Pemán García *et al.* 2006).

Se entiende como repoblación forestal el conjunto de técnicas que son necesarias aplicar para crear una masa o cubierta forestal en sentido amplio, formada por especies leñosas, arbóreas o arbustivas, que no son propias de la agricultura y que sean estables con el medio, en un terreno cuya vegetación actual es ineficaz en mayor o menor grado según el uso asignado al territorio y que, adoptando las características deseadas, cumple los fines que de ella se demandan (Serrada, 2000). Según este autor, pueden considerarse sinónimos los términos repoblación forestal y reforestación, que se refieren a la introducción de la masa forestal en un terreno que la ha poseído anteriormente en tiempos relativamente cercanos. No obstante, algunos autores aplican el término reforestación a la regeneración artificial de una masa preexistente cuando se produce un cambio de especie principal. El término forestación se refiere etimológicamente a la introducción de una masa forestal en lugares donde no ha existido este tipo de vegetación nunca, aunque muchos autores hacen referencia con este término a la actividad de repoblar un terreno no arbolado.

La Ley de Montes define los siguientes términos:

-
- Repoblación forestal: introducción de especies forestales en un terreno mediante siembra o plantación. Puede ser forestación o reforestación.
 - Forestación: repoblación, mediante siembra o plantación, de un terreno que era agrícola o estaba dedicado a otros usos no forestales.
 - Reforestación: reintroducción de especies forestales, mediante siembra o plantación, en terrenos que estuvieron poblados forestalmente hasta épocas recientes, pero que quedaron rasos a causa de talas, incendios, vendavales, plagas, enfermedades u otros motivos.

La repoblación forestal, por tanto, abarca las actuaciones tanto de forestación como de reforestación, consistiendo esta última bien en la introducción de nuevas especies forestales, bien en la realización de labores de densificación o enriquecimiento de la masa forestal existente.

Se realiza, por tanto, repoblación, en aquellos terrenos donde la vegetación resulta ineficaz en mayor o menor grado según el uso asignado al territorio, tanto si no cubre las necesidades económicas de producción de materias primas como si no realiza la función de producción de beneficios indirectos (protección del suelo, mejora de la atmósfera, fomento de la biodiversidad, función paisajística), que de ella se podrían esperar. Esto es, la masa forestal no satisface las necesidades sociales, bien sean de tipo primario (producción de materias primas) o de tipo

secundario (servicios, externalidades), de una forma continua y diversa. Como apunta Serrada (2000), en relación con la producción indirecta de las masas, la ausencia de función se manifiesta muy frecuentemente en España en relación con la protección y evolución edáfica.

De lo anterior se deduce la necesidad de estudio y diagnóstico de la vegetación existente en el lugar a repoblar, conocer su origen y dinámica en relación con los factores ecológicos de la estación, los caracteres culturales de las especies que forman la agrupación y describirla suficientemente en relación con su espesura y altura. Ello conduce a una división en rodales de la zona de trabajo. Los rodales son espacios homogéneos respecto de las características de la estación y del estado del suelo, que pueden ser clasificados según si necesitan o no tratamiento selvícola de mejora sobre su suelo actual o si es necesario acudir a la repoblación forestal, ya sea productora, protectora o conservadora.

La decisión de la selección de las especies en una repoblación forestal viene determinada fundamentalmente por el grado de cumplimiento de los objetivos fijados por la planificación forestal. Estos objetivos suelen responder, como ya se ha dicho, a la conservación, a la protección o a la producción. Es decir, una vez diferenciados en la estación a repoblar los diferentes rodales de repoblación se debe proceder a definir en cada uno de ellos cuáles son las especies a utilizar. Tradicionalmente la elección de especies se ha realizado considerando factores climáticos, edáficos (Madariaga, 1909; Ruiz de la Torre, 1956), ecológicos (que pueden incluir los dos primeros), biológicos y económicos (Ramos, 1965). Hacen especial

énfasis estos autores en considerar en el futuro los escenarios de cambio climático, dado el objetivo de conservación en el tiempo de la cubierta vegetal.

La elección de especies en un proceso de selección de alternativas para una repoblación forestal implica un procedimiento en tres etapas: la primera correspondería a la identificación de las alternativas, la segunda a su evaluación y la tercera a la selección final de éstas (Pemán García *et al.* 2006).

Según estos autores, la primera de estas etapas (ver figura 2), la identificación de las alternativas, supone la selección de especies compatibles con las características ecológicas del rodal a repoblar, de acuerdo tanto con las características del medio físico y biótico del rodal a repoblar como con las exigencias ecológicas de las especies. Esto es, se corresponde con factores climáticos y bioclimáticos, factores fisiográficos, factores edáficos y factores de vegetación.

La primera etapa comienza, pues, por considerar los factores fitogeográficos y se elabora una lista lo más completa posible de las especies forestales cuya habitación natural pueda ser, de forma aproximada, el terreno a repoblar. Sobre este conjunto de especies seleccionadas se descartan aquellas que de forma evidente no se corresponden con el piso de vegetación del monte concreto a repoblar y se recopilan sus caracteres culturales, especialmente la estación, a efectos de

comparar esta información con los factores ecológicos que definen el monte a repoblar.

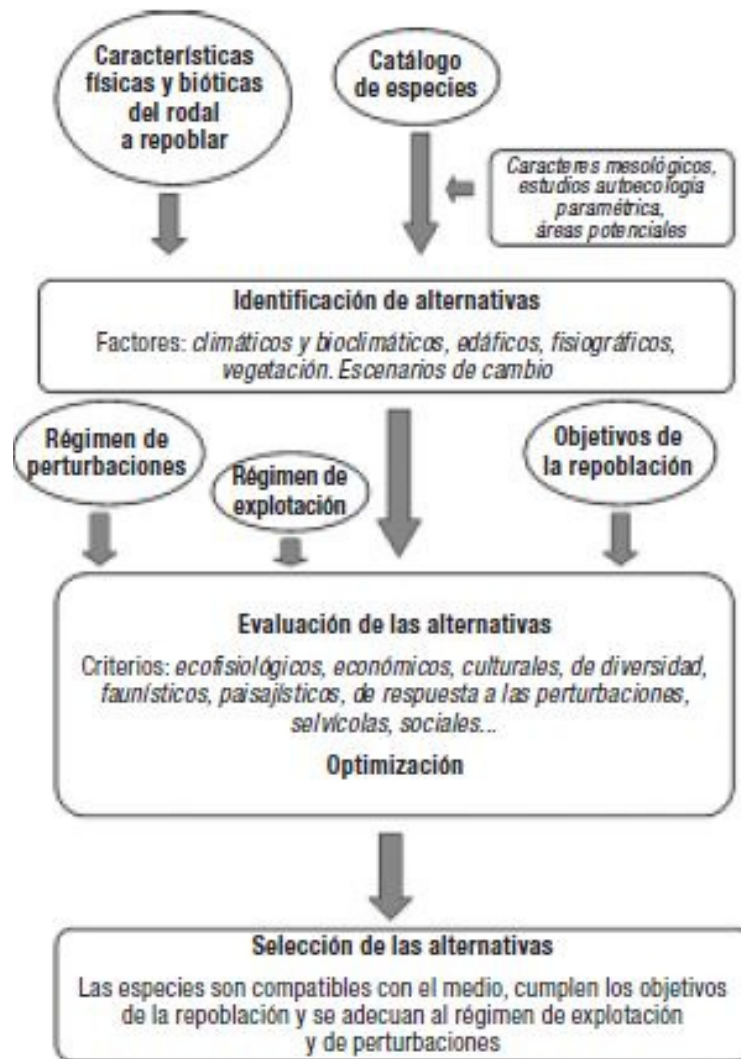


Fig. 2.- Etapas en el proceso de elección de especies.

Fuente: Pemán García *et al.* (2006)

En cuanto a los factores climáticos se han de analizar los valores medios y los extremos, tanto térmicos como pluviométricos. Se pueden emplear metodologías basadas en clasificaciones fitoclimáticas que utilicen en sus caracterizaciones climodiagramas, como los de Allué (1990) o diagramas bioclimáticos como los de Montero de Burgos (1987) o García Salmerón (1981). Se descartan así especies por, dado un ejemplo, no tolerar las heladas invernales o no resistir la sequía estival.

Cabe reseñar que el ya clásico “Atlas Fitoclimático de la España Peninsular” de Allué-Andrade (1990) fue modificado en 2003 (García-López y Allué-Camacho, 2003) y se ha informatizado desarrollando un programa (CLIMAFORREST 1.0) que permite hacer una diagnosis de estaciones compatibles con diversas especies forestales y resulta especialmente útil en el estudio del cambio climático en relación con la composición de las cubiertas forestales.

En la consideración de los factores edáficos se trata de conocer la geología histórica y la litología del lugar al repoblar, realizar una clasificación desde el punto de vista genético de los suelos presentes para poder dictaminar su grado de evolución o degradación, lo que informará sobre la evolución futura de la repoblación, el impacto de la misma y las posibilidades de mejora de las propiedades del perfil con el tiempo y con las intervenciones instantáneas del proceso de repoblación. Además, se debe interpretar en los diferentes perfiles parámetros tales como profundidad, pedregosidad, textura, estructura, contenido en materia orgánica, conductividad de la solución del suelo para valorar la posible

presencia de sales, contenido en caliza activa, reacción (pH) y contenido en nutrientes, lo que permite evaluar las propiedades del suelo que influyen en la vegetación, como profundidad, permeabilidad, capacidad de retención de agua y fertilidad.

Las propiedades edáficas que con mayor frecuencia condicionan el establecimiento de una determinada especie en una estación son la presencia de caliza activa, que descarta a las especies calcífugas; la permeabilidad, cuyo defecto impide el desarrollo de los sistemas radicales y respecto de la cual se conoce el comportamiento de la mayor parte de las especies forestales; y salinidad, que en caso de estar presente excluye a muchas especies arbóreas. La profundidad del suelo y su capacidad de retención de agua pueden ser modificadas favorablemente y hasta cierto punto por las labores de preparación del suelo. Sin embargo, graves limitaciones en lo referente a profundidad y pedregosidad pueden conducir a la imposibilidad de repoblar el rodal con especies arbóreas.

Tras este proceso se concluye el objetivo de la primera fase de obtener una lista de especies compatibles o de posible introducción entre las que realizar la elección definitiva.

Para esta fase de identificación de especies compatibles con la estación del rodal a repoblar, se puede acudir al catálogo de especies dominantes de Ruiz de la Torre (1977, 1981a, 2002), que distingue entre especies dominantes exclusivas de aquellas que pueden aparecer como

subordinadas o intercaladas en agrupaciones que dominan otras estirpes (ver figura 3).

Dominantes exclusivas	Subordinadas o intercaladas en grupos reducidos en masas donde dominan otras especies	Formando masas puras o como subordinadas
<i>Abies alba</i> , <i>A. pinsapo</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Q. pyrenaica</i> , <i>Q. faginea</i> subsp. <i>faginea</i> , <i>Q. suber</i> , <i>Q. ilex</i> subsp. <i>ballota</i> , <i>Juniperus thurifera</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. uncinata</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. pinea</i> , <i>P. halepensis</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Ulmus minor</i> .	<i>Taxus bacatta</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>A. platanoides</i> , <i>A. pseudo-platanus</i> , <i>A. monspessulanum</i> , <i>A. opalus</i> , <i>A. granatense</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>F. ornus</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Sorbus aria</i> , <i>S. aucuparia</i> , <i>S. domestica</i> , <i>S. torminalis</i> , <i>S. latifolia</i> , <i>S. mougeotii</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>T. platyphyllos</i> , <i>T. intermedia</i> , <i>Celtis australis</i> , <i>Quercus canariensis</i> , <i>Q. cerrioides</i> , <i>Q. faginea</i> subsp. <i>broteri</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Laurus nobilis</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> , <i>Olea europea</i> , <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ilex</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Tetraclinis articulata</i> , <i>Ficus carica</i> , <i>Ulmus glabra</i> , <i>Ilex aquifolium</i> .	<i>Quercus petraea</i> , <i>Q. pubescens</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Fraxinus angustifolia</i> , <i>Populus alba</i> , <i>P. nigra</i> , <i>Salix alba</i> , <i>S. canariensis</i>

Fig. 3.- Carácter de las especies arbóreas. (Fuente: Ruiz de la Torre, 1981a)

La información que se dispone sobre las especies forestales y su idoneidad para la repoblación de áreas determinadas es un tema común de numerosos tratados (Laguna, 1883; González Vázquez, 1947; Ruiz de la Torre, 1956 y 1979; Pita, 1951; Vázquez, 1995). Diversos autores han desarrollado procedimientos para el análisis de factores edafoclimáticos integrados para la elección de especies, como Gandullo y Sánchez Palomares (1994), que han elaborado una recopilación de los pinos españoles respecto de 32 parámetros edafoclimáticos, proporcionando un parámetro óptimo, otro posible y otro de exclusión mediante un programa informático (PINARES) que compara y calcula la idoneidad de cada especie de pinar para cada estación. La misma metodología ha sido aplicada para especies de frondosas.

También resulta útil para la selección de especies compatibles con la estación la metodología propuesta por Castejón *et al.* (1998) que realiza

una clasificación biogeoclimática territorial de España informatizada con sistemas de información geográfica de ecorregiones y aplicaciones a la identificación de especies compatibles (SIGREFOR, 1998). Existen también otras modelizaciones realizadas con aplicaciones que utilizan sistemas SIG para la definición de áreas potenciales para las especies. También existen modelos que utilizan regresiones logísticas multivariantes (Felicísimo, 2002 y 2003; Morote *et al.*, 2001).

Dentro de esta primera etapa no hay que olvidar considerar otros factores relativos a la biocenosis o factores biológicos, que se pueden dividir en factores fitosociológicos, factores de competencia con la vegetación actual y existencia de simbiosis o de riesgos de plagas y enfermedades.

En relación con los factores fitosociológicos, la composición florística actual del terreno a repoblar suministra información respecto de condiciones estacionales (a través de especies indicadoras, cuyo conocimiento complementa al estudio climático y edáfico realizado anteriormente), de la asociación vegetal climática que corresponde en la sucesión primaria a la zona a repoblar y del estado de degradación de la vegetación o etapa de la sucesión secundaria en que se encuentra el monte (ver figura 4).

Según la teoría de la sucesión monoclímica y conociendo las especies arbóreas que con distintos papeles aparecen de forma espontánea en ella, se puede confirmar la selección de especies para la repoblación. De acuerdo con (Pemán García *et al.* 2006), la repoblación forestal, desde su generalización como técnica selvícola en el último cuarto del siglo XIX, ha

sido utilizada en la mayoría de las ocasiones con un fin restaurador, al menos en el ámbito mediterráneo. Los modelos teóricos en los que se ha basado esta repoblación forestal con fin de restauración o conservación han sido marcados por técnicos forestales españoles como Madariaga (1909), las Series de Regresión de Ceballos (Ximénez de Embún y Ceballos, 1939), las Series de Vegetación de Rivas Martínez (1987, ICONA), García Salmerón (1981) y los Esquemas Bidimensionales de Progresión-Regresión de Montero de Burgos (1987,1990), entre otros. A modo de ejemplo, el Mapa de Series de Vegetación de España de Rivas Martínez (1987) desarrolla las asociaciones vegetales climácicas en nuestro territorio exponiendo en una cartografía a escala 1:400.000 la vegetación potencial que corresponde a cada zona y en la Memoria correspondiente se relacionan las asociaciones vegetales que, según el criterio del autor, componen la sucesión vegetal en cada caso. Muchos de estos modelos responden a la interpretación holística de la sucesión y plantean esquemas lineales de la sucesión en series dirigidas hacia una vegetación climácica.

Frente a estos modelos se encuentra la interpretación reduccionista que entiende la sucesión como algo impredecible, consecuencia de la interacción de las especies con su entorno biótico y abiótico, en el que las perturbaciones y los fenómenos estocásticos influyen de manera que se puede alterar la situación de equilibrio prevista en el clímax, manifestándose en saltos evolutivos y etapas de metaestabilidad con transgresiones horizontales y oblicuas (Zavala, 2003; Walter, 2005). Por tanto, los modelos lineales de dinámica de la vegetación suponen un

ejercicio de simplificación al mostrar, tan sólo, una de las posibles vías de evolución de la vegetación, por lo que su aplicación práctica es muy limitada (Pemán García *et al.*, 2006; Ruiz de la Torre, 1990b; Terradas, 2001).

En consecuencia, Ruiz de la Torre (1990a, 2000) propone, en un intento por integrar ambos enfoques holístico y reduccionista, un sistema de niveles evolutivos o de madurez que representan grados de adaptación al ambiente y de aprovechamiento de los recursos existentes. En estos sistemas, el ascenso en el nivel evolutivo representa la progresión, resultado de una explotación global inferior a la producción, mientras que el descenso evolutivo representa la regresión, consecuencia de la sobreexplotación del sistema. Se han diseñado también esquemas dinámicos (Ruiz de la Torre, 1990c, Zavala, 2003) donde se integran los ciclos y situaciones de gran estabilidad con la autosucesión y la sucesión secundaria, propias de los ecosistemas mediterráneos.

La aplicación del análisis de estos factores fitosociológicos da como resultado una lista de especies posibles. No obstante, cabe también considerar en este estadio, como ya se ha comentado, los factores de competencia con la vegetación actual. Aquí se considera si la vegetación actual, que será más o menos modificada por las operaciones de repoblación, establecerá una competencia admisible con alguna de las especies seleccionadas de tal forma que en este punto del análisis deberá ser descartada. A este respecto se tendrán en cuenta los temperamentos de las especies seleccionadas, siendo por este motivo descartadas las

especies de luz o intolerantes cuando el porte y la espesura de la vegetación preexistente sean grandes y no se plantee su reducción intensa. La inoculación de plantas en vivero con micorrizas garantiza la existencia de simbiontes que faciliten la instalación de las plantas a introducir, por lo que la comprobación de su existencia en el terreno se podría obviar. Sin embargo, alguna de las especies seleccionadas podría ser descartada en el caso de que en la zona a repoblar se haya comprobado su baja resistencia frente a plagas y enfermedades.

Según el modelo de Connell y Slatyer (1977), las especies pioneras pueden afectar a las especies características de los estadios más avanzados de tres maneras: una positiva o facilitación (sombreo, aumento contenido nutrientes, protección frente a herbívoros, diseminación del polen o eliminación de competidores), otra negativa o competición y otra indiferente o tolerancia, de lo que depende el éxito final del establecimiento.

En climas mediterráneos y sobre medios muy degradados, resulta casi imposible la instalación de la vegetación climácica, esto es, la representante del óptimo o máximo biológico, sin introducir previamente otra cubierta vegetal que facilite su entrada al mejorar las condiciones del medio, en especial la sombra y el desarrollo del suelo. Por este motivo, son extensas las referencias a repoblaciones forestales con especies arbóreas al amparo de arbustos, matorrales o comunidades herbáceas que faciliten su supervivencia y crecimiento (López *et al.* 2001; Zamora *et al.* 2001; Tonioloi *et al.* 2001, Castro *et al.* 2002).

También el modelo de facilitación pino-frondosa es exitoso por la visita de diseminadores como el arrendajo (Gómez 2003) y que ha dado lugar tras un incendio a un cambio en la especie dominante tras la consecución del pinar y siempre y cuando la calidad de la estación permita la promoción de la frondosa generada bajo su cubierta (Rodrigo *et al.* 1999) Pero debe valorarse bien la relación facilitación/competición de las especies que se introducen a la vez o sucesivamente en un mismo rodal, dado que las interacciones entre especies pueden cambiar de signo a lo largo de un gradiente ambiental y producir resultados de supervivencia o crecimiento insuficientes para el objetivo de restauración (Puignaire y Luque, 2001; Ruiz de la Torre, 1993a)

En este sentido, la dinámica en los ecosistemas mediterráneos semiáridos supone la aparición de eventos esporádicos que afectan a la muerte de los individuos, tales como incendios forestales y grandes sequías, en las que el cambio climático incrementa su aparición, alterando significativamente la composición específica de las comunidades (Pemán García *et al.*, 2006; Miranda *et al.* 2004). En la actualidad, encontramos la necesidad de proporcionar un método que permita conciliar las posturas tanto de los planificadores forestales como de los grupos de presión y así llevar a cabo las acciones adecuadas de adaptación al cambio climático (Li *et al.* 2014).

Para el caso de estudio sobre el que versa la tesis, se confeccionó para esta primera etapa y atendiendo a los criterios anteriormente expuestos, una lista de especies que fue la que se envió a los expertos para la concreción de unas pocas especies elegidas para continuar el proceso de

evaluación. La segunda etapa, una vez identificadas las alternativas potenciales, esto es, las especies compatibles con las características del medio físico y biótico del rodal, fue la evaluación de las mismas en función de una serie de criterios que tengan relación directa con los objetivos definidos en el proyecto y sean acordes al régimen de explotación y de perturbaciones al que está sometido el rodal a repoblar. Pemán García *et al.* (2006) proponen tener en consideración los siguientes criterios:

Criterios ecofisiológicos: como son los mecanismos de respuesta frente al estrés o la plasticidad fenotípica de las especies, lo que puede condicionar la elección de una especie u otra. Así, en los ambientes mediterráneos donde el estrés hídrico es el principal factor que condiciona la distribución de las plantas, el carácter que tiene el pino carrasco (*Pinus halepensis*) de especie tolerante al estrés hídrico, la encina (*Quercus ilex*) o la coscoja (*Quercus coccifera*) de especies ahorradoras de agua y el lentisco (*Pistacia lentiscus*) o la cornicabra (*Pistacia terebinthus*) de especies derrochadoras puede hacer inclinar el carácter de la elección hacia una u otra. Las estrategias ahorradoras pueden ser eficaces en períodos de largas sequías con períodos de lluvia intercalados, mientras las derrochadoras lo pueden ser en períodos de gran aridez con precipitaciones muy irregulares (Pemán García *et al.* 2006). Los escenarios de cambio climático global que sufren los ecosistemas forestales favorecen cada vez más el estudio de la plasticidad fenotípica de las especies.

Criterios económicos: pueden ser directos, como el coste de establecimiento (coste de la planta o de la semilla y del método de

repoblación empleado, que influye en el coste de ejecución de la repoblación), la utilidad, valor y calidad de los productos a obtener en cada especie (aspecto fundamental en las repoblaciones productoras), el coste de la silvicultura a aplicar en el futuro en la masa creada o indirectos, como el plazo de obtención de beneficios o consideración sobre el crecimiento de cada especie, la duración del período de acotamiento del rodal a otro tipo de usos y aprovechamientos o el interés tecnológico de un determinado producto, entre otros.

Criterios culturales: engloba conceptos como el temperamento de las especies (tolerancia y exigencia a determinados grados de intensidad de insolación en sus primeras edades), el crecimiento, el porte, el enraizamiento o la longevidad. La intensidad lumínica puede ser causa de estrés para las plantas, tanto por su exceso como por su defecto, más aún en el medio mediterráneo donde las limitaciones hídricas y térmicas que sufren las plantas pueden limitar el aprovechamiento óptimo de la luz para la fotosíntesis (Long *et al.* 1994; Cabrera, 2002) La radiación solar intensa provoca una reducción en la eficiencia de la conversión fotoquímica de la luz en biomasa, fenómeno conocido como fotoinhibición, y un sobrecalentamiento foliar sobre todo cuando la presencia de un déficit hídrico limita la fotosíntesis y la transpiración debido al cierre estomático. La respuesta a este estrés viene determinada en parte por el grado de plasticidad fenotípica que presente la especie; sin embargo, una especie considerada como de sombra no admitirá su exposición a intensidades lumínicas severas durante sus primeros años de implantación, con consecuencias graves sobre su desarrollo y establecimiento. Y viceversa

ocurriría para una especie de luz ubicada en zonas sombrías. En lo referente al enraizamiento, cabe destacar aquí que las dos funciones principales del sistema radicular son la toma de nutrientes del suelo (agua e iones disueltos principalmente) y la de anclaje. Es por ello que la influencia de la profundidad del sistema radicular sobre la supervivencia de la especie en sitios secos es notable (Kozlowski *et al.* 1991).

Criterios de diversidad: entran aquí atributos de las especies como son el concepto de especie autóctona o alóctona, nivel evolutivo y sociabilidad de las especies. La repoblación forestal exige la elección de especies autóctonas, puesto que el empleo de especies alóctonas o exóticas conduciría a ecosistemas diferentes propios de la actuación de una repoblación conservadora. El concepto de nivel evolutivo se manifiesta en las Series de Regresión de Ceballos (Ximénez de Embún y Ceballos, 1939), que se aplican para conservar las especies correspondientes a una etapa superior al nivel actual de regresión del rodal a repoblar y así frenar la expansión de las especies correspondientes a niveles inferiores. Se tiende, por tanto, con la repoblación conservadora, a promocionar las especies con mayor grado de madurez que la actual. Si bien es cierto que en ambientes semiáridos algunos autores (Bonet, 2004) han planteado la posibilidad de introducción de especies de mayor madurez, mientras que otros plantean la posibilidad de utilización de especies iniciales o seriales para la consecución de un mejor resultado (Miranda *et al.* 2004). Por último, el atributo de sociabilidad pretende valorar la capacidad de acogida que una determinada especie puede presentar hacia otras.

Criterios faunísticos: pueden presentar interacciones de signo positivo o negativo. Entre las negativas estarían los daños causados por los herbívoros sobre las semillas o las plántulas, que pueden llegar a comprometer la supervivencia o regeneración de la especie. La tabla 1 muestra el grado de sensibilidad de las especies forestales al daño producido por la fauna silvestre (Van Lerberghe y Balleux, 1999). Entre las positivas cabría citar la capacidad para el refugio, la nidificación o la alimentación que podrían valorarse para las especies de fauna que tuvieran un carácter más singular o en peligro de extinción o especial protección.

Grado de sensibilidad	Tipo de daño			
	Ramoneo	Escodado	Descortezado	Róido de corteza
Elevada	Abeto, roble, arce, fresno, cerezo.	Abeto, cerezo, roble americano, fresno.	Fresno, castaño, arce, serbales.	Haya, roble.
Media	Pino silvestre, laricio, rodeno, haya, castaño, nogal.	Abeto.	<i>Pseudotsuga</i> , pino silvestre, chopo, haya, tilo.	Cerezo, fresno, álamo temblón, sauce, <i>Pseudotsuga</i> , pino silvestre y laricio.
Débil o nula	Abedul, aliso, tilo.	Haya, roble.	Abeto, roble, alerce, aliso, abedul.	Otras coníferas.

Tabla 1.- Sensibilidad de las especies forestales a los daños producidos por la fauna silvestre (Van Lerberghe y Balleux, 1999)

Criterios paisajísticos: cabría mencionar aquí criterios como la heterogeneidad cromática y la altura media del estrato superior como evaluables a nivel de especie, ya que en los estudios de paisaje este análisis se realiza a nivel de agrupación vegetal o en otras unidades superiores. La heterogeneidad cromática dentro de cada agrupación vegetal viene determinada por la existente entre especies del estrato más

representativo, los diferentes estratos, el suelo y la vegetación, y por la debida al cambio estacional.

Criterios de respuesta a las perturbaciones: se entiende perturbación como el suceso biológico o medioambiental que produce alteraciones en los ecosistemas. Las perturbaciones de origen natural de mayor frecuencia son las producidas por los incendios forestales, vendavales, aludes, avenidas en los cursos de agua, movimientos dunares o agentes bióticos. El tiempo de restauración de la comunidad inicial después de una perturbación se conoce como resiliencia y es el parámetro a caracterizar según los diferentes mecanismos de respuesta de las especies. Los ecólogos clasifican las especies según sean de estrategia oportunista o competitiva, mientras que Noble y Slatyer (Chandler *et al.* 1983) establecieron un modelo de predicción de la respuesta al fuego basado en una serie de atributos vitales que se integran en cuatro grupos: el método de persistencia durante o inmediatamente después de una perturbación, las condiciones de establecimiento después de una perturbación, la longevidad y la tasa de crecimiento (ver tabla 2). Esta clasificación de la respuesta al fuego de las diferentes alternativas a evaluar es de especial interés en el ámbito mediterráneo.

Criterios selvícolas: se evalúan la necesidad de tratamientos de regeneración y mejora, de podas para cada una de las especies propuestas, el número de intervenciones necesarias y el turno final. Por tanto, se valoraría el modelo selvícola aplicable para las diferentes

especies con la indicación de los tratamientos selvícolas recomendados para las mismas.

I. Atributo del método de persistencia durante o inmediatamente después de una perturbación

Especies que se basan en la propagación por semilla

- D Especies con propágulos de alta dispersión.
- S Especies con propágulos almacenados de larga duración, como los bancos de semillas.
- G Caso especial de S donde el banco de semillas germina o se pierde después de la perturbación.
- C Especies con propágulos almacenados de corta duración (piñas serótinas).

Especies que se basan en la propagación vegetativa

- V Especies que rebrotan después de la perturbación y que han de volver a pasar por un estado juvenil antes de alcanzar la madurez.
- U Especies que no quedan afectadas por la perturbación.
- W Caso especial de U donde los individuos adultos sobreviven a la perturbación y los del estado juvenil mueren.

Combinaciones estratégicas

Δ , Σ y r Equivalen a los casos D, S y G respectivamente cuando los individuos adultos sobreviven a la perturbación.

II. Atributos de las condiciones necesarias para el establecimiento después de una perturbación

- T Especies que se pueden establecer y crecer hasta la madurez inmediatamente después de la perturbación y durante un tiempo indefinido (tolerantes a la competencia).
- I Especies que sólo pueden establecerse después de una perturbación cuando no hay competencia.
- R Especies que no pueden establecerse después del fuego al requerir la cobertura de comunidades ya establecidas.

III. Longevidad

- P Capacidad para suministrar propágulos para sobrevivir a la perturbación.
- M Madurez o tiempo necesario para establecerse y producir propágulos.
- L Senescencia.
- E Pérdida de propágulos, extinción.

IV. Tasa de crecimiento

Tabla 2.- Atributos vitales de las plantas que permiten predecir su respuesta al fuego, propuestos por Noble y Slatyer (Chandler *et al.*, 1983)

Criterios sociales: engloba atributos como los de aceptación social de la especie o su utilidad social (Ruiz de la Torre, 2000b). En muchas ocasiones, el rechazo social de las repoblaciones forestales ha sido debido a la poca aceptación social de la especie utilizado o de los medios empleados en los trabajos de restauración. La elección de las especies (alóctonas o pinos) junto a los procedimientos de preparación del suelo son

las dos causas principales del rechazo, que en ocasiones han derivado a la provocación de incendios forestales sobre las zonas repobladas.

En este sentido, el Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR, 2013), hace referencia a la restauración de terrenos forestales como acción imprescindible para recuperar la funcionalidad de múltiples ecosistemas y la provisión de servicios ambientales. La restauración forestal contempla acciones de repoblación o mejora de la cubierta vegetal, actuaciones de mejora y conservación del suelo y tratamientos selvícolas en masas arboladas para mejorar su estabilidad y aumentar su nivel evolutivo, siendo sus objetivos generales la conservación del suelo y del agua, así como el incremento en la capacidad de respuesta de los ecosistemas restaurados a futuras perturbaciones, entre las que cabe destacar los incendios forestales, las plagas y los efectos derivados del cambio climático.

Se considerar, según este documento, zonas a restaurar:

- Los ecosistemas que no se encuentren en su óptimo de cobertura vegetal, ni en proceso de regeneración natural viable a corto/medio plazo sin intervención.
- Aquellos ecosistemas de los que se requiera la prestación de unos determinados servicios ambientales (conservación del suelo, reducción de la inundación y/o desertificación), que no proporcionan en la situación actual y no se encuentren en el proceso natural de generarlos.

-
- Aquellos que, por la perturbación o riesgo de perturbación a la que están sometidos, comprometan la futura prestación de servicios.

En este sentido, el PATFOR (2013) plantea una serie de recomendaciones generales para la restauración de los ecosistemas forestales:

- Mejorar la cobertura forestal, el incremento del nivel de madurez de la formación vegetal, la renaturalización de las antiguas repoblaciones, el aumento de la biodiversidad y la multifuncionalidad del ecosistema.
- Crear y/o mantener zonas arboladas con varios pisos, formar y conservar masas mixtas y promover un sotobosque rico en especies, siendo interesante la introducción de especies de alto nivel nutricional y/o que sirvan de refugio a la fauna.
- Proteger la zona de la causa de la degradación anterior y proceder a la regeneración y repoblación de superficies.
- Considerar en el diseño la frecuencia en la ocurrencia de perturbaciones en la zona con el fin de favorecer las masas mejor adaptadas y resistentes a las perturbaciones, como incendios, plagas y enfermedades.
- Tener en cuenta no sólo la recuperación de la vegetación, sino también la de su fauna asociada.
- Considerar la introducción, regeneración y conservación de especies arbustivas mediterráneas, por poseer éstas una elevada importancia desde el punto de vista ecológico en general y en

concreto por su valor como alimento y refugio de la fauna silvestre y del ganado o para la protección del suelo.

- Tener en cuenta la previsión de costes económicos para el óptimo mantenimiento posterior.

Asimismo, cuando la restauración forestal conlleva una repoblación, el PATFOR (2013) recomienda una serie de consideraciones técnicas para llevarla a cabo, de entre las que cabe destacar las siguientes:

- En zonas con limitaciones edafoclimáticas ($IBL < 4$ *ubc*, PGOF 2004) y fitoclimáticas (subtipos Mediterráneo infraarbóreo subdesértico subtropical y Mediterráneo infraarbóreo estépico, Allué Andrade 1990), favorecer en las mejores estaciones las áreas de vegetación evolucionada que sirvan como punto de partida para conseguir la recuperación de otras zonas con mayores dificultades.
- En aquellas zonas donde la pérdida de suelo ha sido muy fuerte y/o en ambientes donde el estrés hídrico es mayor (como en las zonas áridas o semiáridas), utilizar el matorral como especie nodriza en las repoblaciones. Los matorrales pueden proporcionar unas condiciones edáficas y microclimáticas que favorecen la supervivencia y el crecimiento de las plántulas.
- Empleo de zarzales, espinares (*Crataegus*, *Rubus*, *Rosa*, *Prunus*) para la creación de setos vivos. Usarlos en zonas para crear refugio y alimento, así como para proteger las especies arbóreas de mayor palatabilidad, como los fresnos (*Fraxinus angustifolia*), especialmente en zonas de mayor carga ganadera o cinegética.

-
- El uso de especies herbáceas y en especial de especies aromáticas puede servir para mejorar y enriquecer el suelo y para favorecer la restauración de terrenos degradados en zonas de clima árido.

En cuanto a la selección de especies, dispone el PATFOR (2013) que se debe realizar mediante técnicas multicriterio, teniendo en cuenta los posibles efectos sobre los diferentes servicios ambientales y la incidencia del cambio climático sobre el territorio, sin olvidar el propio objetivo de la repoblación. Una vez elegidos los criterios y caracterizadas las especies según los mismos, diversos autores proponen la evaluación y optimización de las especies según estos criterios mediante técnicas de decisión multicriterio (Pemán García *et al.*, 2006; PATFOR 2013), para la selección de las alternativas más apropiadas en cuanto cumplen con los objetivos de la repoblación forestal. Es la opción que se desarrolla en esta tesis doctoral.



Fig. 4.- Vegetación del PN (Fuente: CIDAM)

3.- CASO DE ESTUDIO

3.- Caso de estudio.

En nuestro caso, el área de estudio se localiza en el parque Natural Serra de Mariola, localizado entre las comarcas de La Vall d'Albaida, L'Alcoià y El Comtat (Comunitat Valenciana) (ver figura 5).



Fig. 5.- Parques Naturales de la Comunitat Valenciana. (Fuente: CMA)

El Parque Natural de La Serra de Mariola abarca el dominio de la sierra que le denomina como tal, la Sierra de Mariola, la cual abarca una superficie total de casi 17.000 hectáreas, afectando a los términos municipales de Agres, Alcoy, Alfafara, Banyeres de Mariola, Bocairent, Cocentaina y Muro de Alcoy. Constituye uno de los territorios valencianos en los que se concentran en mayor medida valores medioambientales, paisajísticos y socioculturales de especial relevancia. La normativa que afecta al Parque Natural es la siguiente:

PARQUE NATURAL

En base a la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana (LENPCV 1994), que establece la figura de Parque Natural como especialmente indicada para la protección de espacios naturales valiosos de forma compatible con el uso sostenible de los recursos naturales en los sectores agrícola, ganadero, forestal, extractivo y de servicios, así como para cumplir una importante función social en el estudio, la enseñanza y el disfrute ordenado de los valores ambientales y culturales.

Dado que asimismo se considera esta figura jurídica como la idónea para generar una estrategia de control de los impactos ambientales y para la regeneración de los valores naturales y culturales degradados, la Sierra de Mariola fue declarada Parque Natural el 8 de enero de 2002, régimen de protección específico de los importantes valores ambientales, paisajísticos y culturales que se producen en este espacio natural emblemático. El

Decreto 3/2002, de 8 de enero, del Gobierno Valenciano, de declaración del Parque Natural de la Serra de Mariola (PNSM 2007) establece:

- El objeto y la finalidad de la declaración del Parque Natural de la Serra de Mariola.
- El ámbito territorial.
- Los regímenes de protección y gestión.
- Los objetivos del Plan Rector de Uso y Gestión.
- La creación y composición de la Junta Rectora.
- Las funciones del Director-Conservador.

PORN

En 2001 se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Serra de Mariola (en adelante PORN) mediante Decreto 76/2001, de 2 de abril, del Gobierno Valenciano (PORN 2001), que regula la ordenación para el uso sostenible y para la conservación de los valores medioambientales, paisajísticos y culturales y cuya finalidad es:

- Definir y señalar el estado de conservación de los recursos naturales y ecosistemas.
- Determinar las limitaciones y el régimen de ordenación de los diversos usos y actividades admisibles en el espacio a proteger y en sus áreas de amortiguación de impactos.

-
- Promover la aplicación de medidas de conservación, restauración y mejora de los recursos naturales.
 - Formular criterios orientadores de las políticas sectoriales y ordenadores de las actividades económicas y sociales, públicas y privadas, para que sean compatibles con la conservación de los recursos naturales.

PRUG

El Decreto 79/2007, de 25 de mayo, del Consell, aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión (en adelante, PRUG) del Parque Natural de la Serra de Mariola (PRUG 2007), el cual tiene por objeto ordenar y regular las actividades que se desarrollan en el mismo, con el fin de conseguir un desarrollo racional y equilibrado de las mismas, compatible con los objetivos de protección del PORN, y en prevención de la posible generación de impactos sobre los ecosistemas de la Sierra de Mariola, con especial referencia a las actividades de investigación, uso público, conservación, protección y mejora de los valores ambientales y los aprovechamientos sostenibles de los recursos naturales que redunden en beneficio de las poblaciones implicadas.

INCENDIOS

La Resolución de 22 de mayo de 2006, del Conseller de Territori i Habitatge, por la que se aprueba el Plan de Prevención de Incendios Forestales del Parque Natural de la Serra de Mariola (PLANPREVIN 2006),

adapta las directrices generales de prevención de incendios forestales a las características específicas de la Sierra de Mariola, siendo premisa fundamental el hacer compatible la necesaria protección y defensa frente a los incendios con la conservación y preservación de los valores ambientales del parque.

DIRECTIVA DE HÁBITATS Y RED NATURA 2000

Con el fin de garantizar que las generaciones futuras reciban un medio natural de calidad igual o superior al actual, la Comisión Europea aprobó en 1992 la Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DOUE L206, de 22.07.1992), conocida como “Directiva de Hábitats”. Esta Directiva fue transpuesta a nuestro ordenamiento jurídico a través del Real Decreto 1997/1995 con el fin de conservar las especies más raras o amenazadas de la fauna y flora silvestres de la Unión Europea. Se denomina “hábitat” al lugar con condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal. Dado que la salvaguarda de las especies va unida al mantenimiento de los hábitats, se establece un listado de entornos naturales a conservar para crear una red comunitaria de espacios naturales protegidos denominada Red Natura 2000.

LUGAR DE INTERÉS COMUNITARIO

Los Estados Miembros de la Directiva Hábitats se comprometen a preservar los hábitats de interés comunitario que, estando reconocidos como Lugares de Interés Comunitario (LIC), forman parte de la Red Natura 2000. En el futuro los LIC pasan a denominarse ZEC (Zonas Especiales de Conservación). La Sierra de Mariola, junto con el Carrascal de la Font Roja, fue propuesta como LIC por Acuerdo del Gobierno Valenciano del 10 de julio de 2001 (LIC Serres de Mariola i Carrascal de la Font Roja). Con una superficie de 19.867 ha incluye los municipios de Agres, Alcoy, Alfafara, Banyeres de Mariola, Bocairent, Cocentaina, Muro de Alcoy, Ibi y Ontinyent.

ZONA DE ESPECIAL CONSERVACIÓN PARA LAS AVES

Las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) son espacios que forman parte de la Red Natura 2000, designados por los estados miembros de la UE con arreglo a las disposiciones de la Directiva de Aves Silvestres (Directiva del Consejo 79/409/CEE), integrándolas en la red europea. Con una superficie de 22.531 ha, la Sierra de Mariola y el Carrascal de la Font Roja es zona ZEPA desde el 9 de mayo de 2000.

MICRORRESERVA DE FLORA

Las microrreservas son parqueelas de pequeño tamaño y elevado valor botánico, destinadas al seguimiento y conservación a largo plazo de

especies vegetales y tipos de vegetación endémicos (exclusivos de un territorio), raros o amenazados de la Comunitat Valenciana. Estos espacios tienen un carácter permanente y una base legal (Decreto 218/1994 de 17 de octubre del Gobierno Valenciano, por el que se regula la figura de protección de especies silvestres denominada microrreserva vegetal, DOGV número 2379 de fecha 03.11.1994) que permite la protección estricta de la flora y el sustrato. Las microrreservas dan respuesta a las necesidades de conservación de nuestra flora endémica y amenazada ya que sólo una aproximación a pequeña escala permite gestionar la elevada dispersión territorial de la flora de interés y unas poblaciones limitadas a pequeños enclaves. Las microrreservas ofrecen una solución a la necesidad de controlar espacios de pequeña dimensión, con los mínimos trámites posibles y con una base legal sólida. En la Sierra de Mariola, se trata en todos los casos de parqueelas de terreno natural de menos de 20 ha de superficie que contienen una elevada concentración de plantas raras, endémicas, amenazadas o de elevado interés científico.

RESERVA DE FAUNA

En base al artículo 26 de la derogada Ley 4/89 de 27 de marzo y del Decreto 32/2004, de 27 de febrero, por el que se crea y regula el Catálogo Valenciano de Especies de Fauna Amenazadas y se establecen categorías y normas para su protección, y por el que se pueden declarar reservas de fauna silvestre a “aquellos espacios de relativamente pequeña extensión que, por contener poblaciones excepcionales de fauna silvestre, albergar temporalmente fases vitales críticas para su supervivencia o por

ser objeto de trabajos continuados de investigación, requieren un régimen de protección específico”, se declaró, en el año 2005, la única reserva de fauna con la que cuenta hasta la fecha el Parque Natural El Canyet de les Pedreres de Sant Cristòfol (Alcoy).

CUEVAS

Las cavidades subterráneas, y las formaciones cársticas en general, son unos enclaves de especial relevancia desde el punto de vista ambiental y paisajístico, y reúnen toda una serie de valores, peculiares y exclusivos, que hace necesaria su protección. La geodiversidad que acogen las cavidades, la fauna asociada, rara y desconocida y que depende exclusivamente de la existencia de estos enclaves, la presencia de agua y la función del ciclo hídrico son los principales valores que refuerzan esta protección. La naturaleza calcárea de la mayor parte de la Sierra de Mariola es la principal razón del protagonismo de los procesos cársticos como primer agente geomorfológico. Esto se traduce en una estructura muy compleja y en un gran número de cavidades (cuevas y simas). El Decreto 65/2006, de 12 de mayo, del Consell, desarrolla el régimen de protección de las cuevas y aprueba el Catálogo de Cuevas de la Comunidad Valenciana. Las cuevas del Parque Natural de la Serra de Mariola incluidas en dicho Catálogo son:

- Cova de la Sarsa (Bocairent)
- Cova de les Meravelles (Cocentaina)

Ambas cavidades destacan, en sentido general, por la importancia de su fauna troglobia.

BIENES DE INTERÉS CULTURAL Y BIENES DE RELEVANCIA LOCAL

Al amparo de la Ley 4/1998, de 11 de junio, de la Generalitat Valenciana, de Patrimonio Cultural Valenciano, y de la Ley 16/1985, de 25 de junio, de Patrimonio Histórico Español, y según la información disponible de la Conselleria de Cultura y Deporte, y del Ministerio de Cultura, en el Parque Natural de la Serra de Mariola se encuentran los siguientes Bienes de Interés Cultural (en adelante, BIC), mayoritariamente castillos y manifestaciones de arte rupestre.

Por otro lado, la Ley 4/98 introduce la figura de Bien de Relevancia Local (en adelante, BRL), teniendo consideración automática de BRL los inmuebles de la Sierra de Mariola pertenecientes a alguno de los siguientes grupos:

- Los Núcleos Históricos Tradicionales, así denominados conforme a la legislación urbanística.
- Los “pous o caves de neu” o neveras.
- Las chimeneas de tipo industrial construidas de ladrillo anteriores al año 1.940.

Además se presta especial atención a los yacimientos arqueológicos y paleontológicos, debiendo ser declarados como BRL e incluidos en los

catálogos de bienes, y con la posibilidad de ser declarados, los más relevantes, como BIC.

En Mariola, fruto del trabajo realizado desde el Parque Natural a modo de inventario, se conocen 7 torres o castillos, 13 ermitas, 46 depósitos de nieve y 101 yacimientos arqueológicos o paleontológicos, catalogados o susceptibles de ser considerados como BRL. Además, la existencia de antiguos molinos y tejares con chimeneas de tipo industrial, y de numerosos paneles cerámicos exteriores (considerando que se contabilizan más de 200 masías tradicionales), demuestra la riqueza y la complejidad de la sierra desde el punto de vista del patrimonio cultural inmueble.

PATRIMONIO ARBÓREO MONUMENTAL

En el Parque Natural de la Serra de Mariola existen, registrados hasta el momento, un total de 16 ejemplares declarados como árboles monumentales bajo la protección genérica de la Ley 4/2006, de 19 de mayo, de la Generalitat, de Patrimonio Arbóreo Monumental de la Comunitat Valenciana, por el cumplimiento de alguno de los parámetros establecidos en el artículo 4, sobre protección genérica.

El ámbito del PORN de la Serra de Mariola comprende parte de los términos municipales de Agres, Alcoy, Alfafara, Banyeres de Mariola, Bocairent, Cocentaina y Muro de Alcoy. Sus límites vienen determinados por las carreteras principales que comunican entre sí estas localidades, tal y como se muestra en la figura 6.

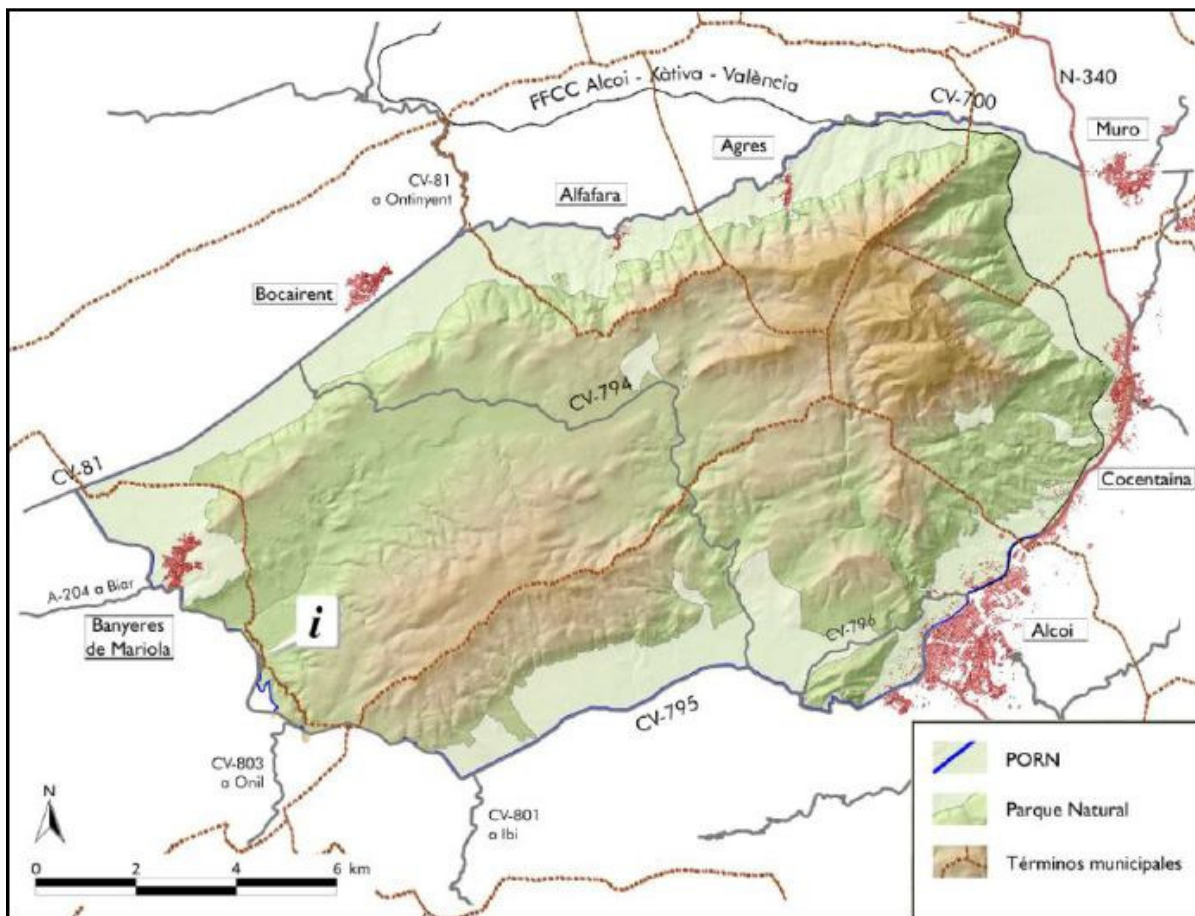


Fig. 6.- Mapa de los municipios y principales vías de comunicación del PN Serra Mariola. (Fuente: CMA)

El artículo 17 del PRUG, que trata sobre la protección de la vegetación, establece en su punto 9 que las repoblaciones, allí donde las características del suelo lo permitan, se llevarán a cabo con especies

vegetales que componen el arbolado de las formaciones más evolucionadas de las series climáticas. En lo referente a la protección del paisaje, el artículo 23 del PRUG se configura como complemento de los artículos 26 a 28 del PORN que regulan las normas a tener en cuenta en este sentido. Establece dicho artículo que se promoverá el mantenimiento o la formación de un mosaico heterogéneo de bosques, matorrales, cultivos y prados, evitando la excesiva fragmentación en unidades de pequeñas dimensiones. La gestión también promoverá, dice el mencionado artículo, los hábitats más habitualmente utilizados por el conejo y la perdiz (márgenes, zarzales, páramos, vegetación ruderal).

En cuanto al medio físico, son características de especial relevancia geológica en Mariola las grandes elevaciones, la agresividad del paisaje, la complejidad estructural y la importancia de los procesos cársticos. Se trata de un macizo muy compacto, de altura media por encima de los 1.000 metros, abrupto y de fuertes desniveles, especialmente en sus fachadas septentrional y oriental. Dos grandes cordales estructuran el sistema, de norte a sur: el más elevado, donde se sitúan las máximas altitudes (entre 1.000 y 1.300 metros) tiene su mayor altura, 1.389 metros, en el vértice geodésico de segundo orden de Montcabrer (ver figura 7), alzado en término de Cocentaina. De una longitud aproximada de 5 kilómetros, parte desde Alcoy el Comptador (1.232 m) y el Alt del Cerincal. Desde aquí despega en dirección noreste-suroeste, la abrupta vertiente septentrional que flanquea en toda su longitud la Valleta d'Agres, con alturas entre 1.000 y 1.100 m y con vértice geodésico de tercer orden en el Portín (1.086 m) en el término de Alfafara. Este activo relieve cede hacia el suroeste y

parte del flanco meridional, progresivamente, tomando contacto con la plataforma de Villena y los llanos de topografía escasamente accidentada de la cuenca alta del Vinalopó. Sobre estas estribaciones terminales se prolonga unos treinta kilómetros, con las denominaciones de sierras de la Fontanella, de Onil y de Biar, identificadas dentro del ámbito de la Sierra de Mariola.

La sierra se estructura sobre las cordilleras Béticas, en el denominado “Prebético externo”, caracterizado por un continuo de plegamientos con una orientación mayoritaria de suroeste a nordeste, correspondiendo generalmente a sierras permeables (de naturaleza caliza) y valles impermeables (tapizados de margas miocénicas, conocidas localmente como “tap”). La unidad geológica de Mariola corresponde a un anticlinal que, desde Biar, llega a Cocentaina, se interrumpe en la Foia del Comtat por una falla transversal y reaparece por las sierras de la Albureca, entre el Comtat y la Marina Alta. La bóveda sinclinal, sometida a empujes verticales e intensamente dislocada longitudinal y transversalmente, es responsable de una gran complejidad estructural y del modelado del paisaje orográfico. Sobre el eje Cocentaina-Muro, una falla longitudinal ha seccionado la cúpula sinclinal, dejando una fachada oriental de 1.000 metros de desnivel. En la cornisa de esta fractura se sitúan las mayores alturas de la sierra, entre ellas el Montcabrer, la máxima cota del sistema. Hacia la vertiente opuesta, a Poniente, la amplia bóveda suaviza su morfología con buzamiento sur, hasta tomar contacto con los llanos de Villena y el amplio valle del Vinalopó sobre una topografía escasamente accidentada. Una segunda falla, paralela a la anterior, cruza el anticlinal entre Agres y Alcoy,

cuya acción morfológica se muestra en una angosta garganta de 300 metros, por donde se ha encajado el barranc del Sinc, en su desembocadura sobre la depresión alcoyana. La falla transversal de Agres (NE-SO) define la morfología del valle y despeja una larga vertiente escarpada con bancos calizos puestos al descubierto en vertical por la fractura. Una última acción tectónica secciona el flanco meridional, por donde se encaja el curso del Barxell, cerrando las principales líneas de fracturas, entre las cuales se desarrolla una compleja red secundaria.

La sierra se encuentra limitada en el norte por el sinclinal de Bocairent y la Valleta d'Agres, por el este por la falla de orientación N-S de más de dos mil metros de salto entre Muro y Cocentaina y la hoya del Riu d'Alcoi cubierta por materiales cuaternarios; por el sur conecta con el sinclinal del valle del río Polop. Es en la parte sudoccidental donde los límites convencionales de la sierra no quedan apenas definidos, habiendo una continuidad hacia la vecina sierra de la Fontanella.

Desde el punto de vista estratigráfico (IGME 1975), el anticlinal de Mariola se corresponde con una larga estructura que dibuja un periclinal en Biar (Castalla) y se interrumpe bruscamente por una fractura N-S, de más de 2.000 metros de salto en Cocentaina-Muro de Alcoy. La característica más acusada del anticlinal es la densa fracturación que lo afecta. Esta red de fracturas responde a dos hechos: uno, el espesamiento del substrátum neocomiense, eminentemente plástico; otro, el cabalgamiento del flanco norte sobre el sinclinal de Villena-Bocairent. La amplia estructura presenta una clara bóveda hundida, colmatada de sedimentos tortonienses

discordantes sobre los términos mesozoicos o la caliza de algas del Mioceno Inferior. Esto es debido a que existe una estructuración previa hacia el final del Mesozoico, ya que el Mioceno basal se apoya discordante sobre términos diferentes del Cretácico, lo que exige una elevación de las estructuras. Esta depresión independiza claramente los flancos y la parte de la bóveda no hundida, ya que el abatimiento no es completamente axial.

Esta fase continúa con las transgresiones miocenas, lo que determina el progresivo encoframiento de los anticlinales por efecto del Trías extrusivo, que al producirse el hundimiento de la bóveda, emigra lateralmente hacia los flancos. Como final del proceso se produce una o varias fases de tectónica tangencial, que convierten las fallas normales de hundimiento de bóveda inversa, a la vez que se observa una vergencia N muy generalizada que frecuentemente convierte las flexuras septentrionales en pliegues-falla. Estos pliegues son de naturaleza caliza o dolomítica y muy diaclasiados como consecuencia de su violenta tectónica. El flanco septentrional está siempre en contacto tectónico con las formaciones terciarias del sinclinal de Villena-Bocairent. Entre este frente cabalgante y la zona hundida es posible apreciar una larga banda de estructura compleja, rota en numerosos compartimentos por fallas SO-NE. La fractura más importante delimita a su vez dos largas tiras estructurales: una externa, a nivel Cretácico Superior, y otra interna, donde aflora el Cretácico Inferior. La zona externa, caracterizada por las fallas inversas, largas y sinuosas, constituye el flanco norte de la estructura. La interna, que alcanza su culminación estructural con el núcleo extrusivo de la Peña Blanca, muestra la distensión de enlace con la zona axial hundida.

En el centro de la sierra, la bóveda anticlinal está hundida, dejando en su seno llanuras y valles rodeadas de elevaciones (la Font Freda, Sant Jaume) que van vertiendo las aguas a lo que hacia poniente será la cabecera del lecho del Vinalopó; es en la parte nororiental donde se encuentran los relieves más vertiginosos y las alturas más simbólicas, entre los 1000 y 1300 metros: Montcabrer, Alberri, Morro del Comptador o el Cenincal. La bóveda hundida está limitada al norte por una gran falla normal de 500 metros de salto y meridionalmente por una falla que juega en inversa. Esta fractura, representada en la cartografía como normal, presenta en ocasiones un plano subvertical y con buzamiento sur. La zona de bóveda no hundida presenta una fracturación intensa, reflejando así la disarmonía sobre los 400 metros de margas neocomienses. El flanco sur es típico, con verticalización rápida más acentuada aún en dirección este.

La mayor parte de la sierra está formada por roca caliza depositada durante el Cretácico (calcarenitas del Berriasiense), cuando la zona coincidía con el borde de una cuenca sedimentaria marina; así se encuentran importantes yacimientos paleontológicos como el de la Querola (Cocentaina), con ammonites piritosos o calcáreos.

El proceso de dolomitación del Cretácico en la Sierra de Mariola se caracteriza por su sentido ascendente en dirección N-S. En la bóveda es posible medir unos 200 a 250 metros de dolomías que abarcan desde el Albiense Superior al Campaniense. En el área del Capullo del Águila, flanco norte de Mariola, la dolomitización alcanza hasta los límites

Santoniense-Campaniense. Aparece en pequeños afloramientos incompletos y tectonizados con un espesor que rebasa los 60 metros. Se trata de una caliza finamente cristalina o micro cristalina, ligeramente arcillosa, de color beige muy claro y dispuesta en gruesos bancos regulares con pátina clara. Hacia la parte alta del tramo aparecen ya algunos niveles nodulosos e intercalaciones margosas. La roca, rica en *Stomiosphaera*, *Radiolarios*, *Globotruncanas* y *Pithonellas*, así como en prismas de *Inoceramidos*, es siempre más o menos dolomítica y pasa lateralmente a dolomías cristalinas. El Campaniense Superior – Maastrichtiense constituye el 90% de los afloramientos identificados como senonienses sobre la Sierra de Mariola, existiendo tanto sobre el flanco norte como en el comportamiento axial hundido y en la caída meridional, lugar este último que permite un levantamiento estratigráfico más preciso. Sus 100 metros de espesor están constituidos por una sucesión de calizas micro cristalinas arcillosas dispuestas en estratificación fina, ondulada y a veces hojosa. Son frecuentes interbancos de margas amarillentas. La dolomitización sigue estando presente tanto en tramos enteros como en la aparición de romboedros aislados en las pastas biomicríticas. La macrofauna es abundante, aunque poco variada, compuesta por: *Boehmiceramus bantú*, *Selenoceramus ibericus*, *S. europaeus* y *Echinocorys vulgaris*. La microfauna es muy escasa o mal conservada en los interbancos margosos. Existen depósitos rojos que llegan a tener un espesor máximo de 10 metros y que están coronados por una barra calcarenítica gruesa. Estos depósitos (C₂₆ en la figura 8) evidencian que la regresión final (“Garumniense”) alcanza al dominio paleogeográfico que representa Sierra Mariola, que llega más tardíamente y que las isotópicas

de Mariola son las últimas en dirección sur, donde existen depósitos en facies garumniense.



Fig. 7.- Pico del Montcabrer (Fuente: CIDAM)

Es posteriormente, durante el Mioceno Superior, cuando emergen definitivamente estos materiales como consecuencia del empuje vertical de los materiales basales más antiguos y más plásticos. Estos materiales corresponden a arcillas y yesos del Triásico, el conocido Keuper, que aflora donde la acción orogénica perforó la capa calcárea o donde los posteriores procesos cársticos lo han dejado al descubierto (el Teular del LLonganissero o Sant Cristòfol de Cocentaina). Pero son precisamente estos últimos procesos, relacionados con la disolución de la roca caliza por el agua, los que han determinado, con más ponderación, la morfología actual de la sierra, encontrando por toda la sierra buenos ejemplos de formaciones cársticas tanto externas como internas, algunas de ellas muy emblemáticas como el Barranc del Cint y la Cova de la Sarsa.

Los depósitos cuaternarios alcanzan un espesor superior a los 40 metros en la bóveda hundida de Sierra Mariola, donde el Cuaternario antiguo de Mariola (Q_{cg}) rellena la depresión del Barranco Mayor y de La Menora. Está constituido por una alternancia de conglomerados calizos rodados y bréchicos, empastados por un cemento en ocasiones calcáreo, en ocasiones arcilloso y arcillas con cantos de color salmón, gris y ocre. Presenta siempre buzamientos convergentes hacia el centro de la depresión, llegando en ocasiones a los 30° (ver figuras 8 y 9).

Según el Mapa Geocientífico (INGEMISA 1987 a y b), la Sierra de Mariola se sitúa sobre el Ambiente “Sierras y Valles Prebéticos”, subambiente “Sector Septentrional”. El subambiente “septentrional” difiere del “meridional” por presentar un ombroclima subhúmedo, en contrapartida con el ombroclima seco del meridional. Se trata de una alternancia de sierras y valles sobre materiales carbonatados, de dirección NE-SO. Los materiales aflorantes son: mesozoicos, calizas y dolomías cretácicas (Jurásico muy localizado); Neógeno, margas blancas y azules (“tap”); paleógeno detrítico-carbonatado; localmente afloran arcillas y margas yesíferas triásicas; el cuaternario detrítico aflora en los valles. En el marco anterior y según el mencionado Mapa Geocientífico, se pueden distinguir las siguientes Unidades Geomorfológicas:

- Relieves carbonatados moderadamente karstificados: son áreas montañosas constituidas predominantemente por rocas carbonatadas donde la morfología cárstica es, en general, poco

acusada. En esta unidad se encuentra representada prácticamente toda la Sierra de Mariola.

- Relieves suaves de fondo de valle: suave modelado que se origina sobre las margas terciarias de los valles prebéticos (“tap”) en las que encaja la red fluvial cuaternaria.
- Aluvial: se agrupan en este sistema los diferentes niveles de terrazas cuaternarias y a los sedimentos de la llanura de inundación y canal de estiaje de los ríos.

La serie de materiales aflorantes abarca desde el Cretácico superior al cuaternario, con algunas lagunas estratigráficas. La serie litoestratigráfica aflorante es la siguiente:

- Cretácico Superior:
 - Senoniense: en las alineaciones más meridionales de la sierra de Mariola encontramos un conjunto dolomítico.
 - Campaniense superior-Maastrichtiense: está constituido por calizas micríticas arcillosas, finamente estratificadas con interbancos margosos amarillentos y episodios de calizas nodulares. La macrofauna se compone casi exclusivamente de Inoceramus. Encontramos en torno al barranco del Salt una potente serie con los niveles más orientales representados por biomicritas ligeramente dolomitizadas; hacia el oeste, la serie sube progresivamente hasta el Ilerdiense con alveolinas.

-
- Terciario Mioceno: constituido por calizas detríticas y micro conglomerados, cuarzos y jacintos.
 - Burdigaliense: el “tap 1” constituye una serie monótona de margas blancas poco silitosas cuya potencia es probablemente superior a los 300 m.
 - Langhiense: el “tap” Langhiense se encuentra en el flanco sur de Mariola.
 - Serravalliense-Tortonense: se trata de potentes conjuntos margosos que colmatan las áreas sinclinales. Este paquete margoso es de características idénticas a las de “Tap 1”, aunque más compactadas y blancas.
 - Cuaternario Pleistoceno: está representado por las terrazas de río Serpis, que se extienden al oeste en un área muy extensa con más de 100 m de desnivel y suave declive desde el núcleo de Mariola hacia Levante. Se reconocen al menos dos terrazas, pero no es posible separarlas puesto que existe un aporte de sedimentos desde las zonas elevadas que enmascaran la terraza más alta. Encontramos también caliches y costras calcáreas en los flancos sur de Mariola; depósitos típicos que generan un resalte morfológico, formando una superficie constante con descenso lento hacia el centro del valle. Esta superficie, plana e inclinada suavemente, está cortada por las cárcavas actuales.

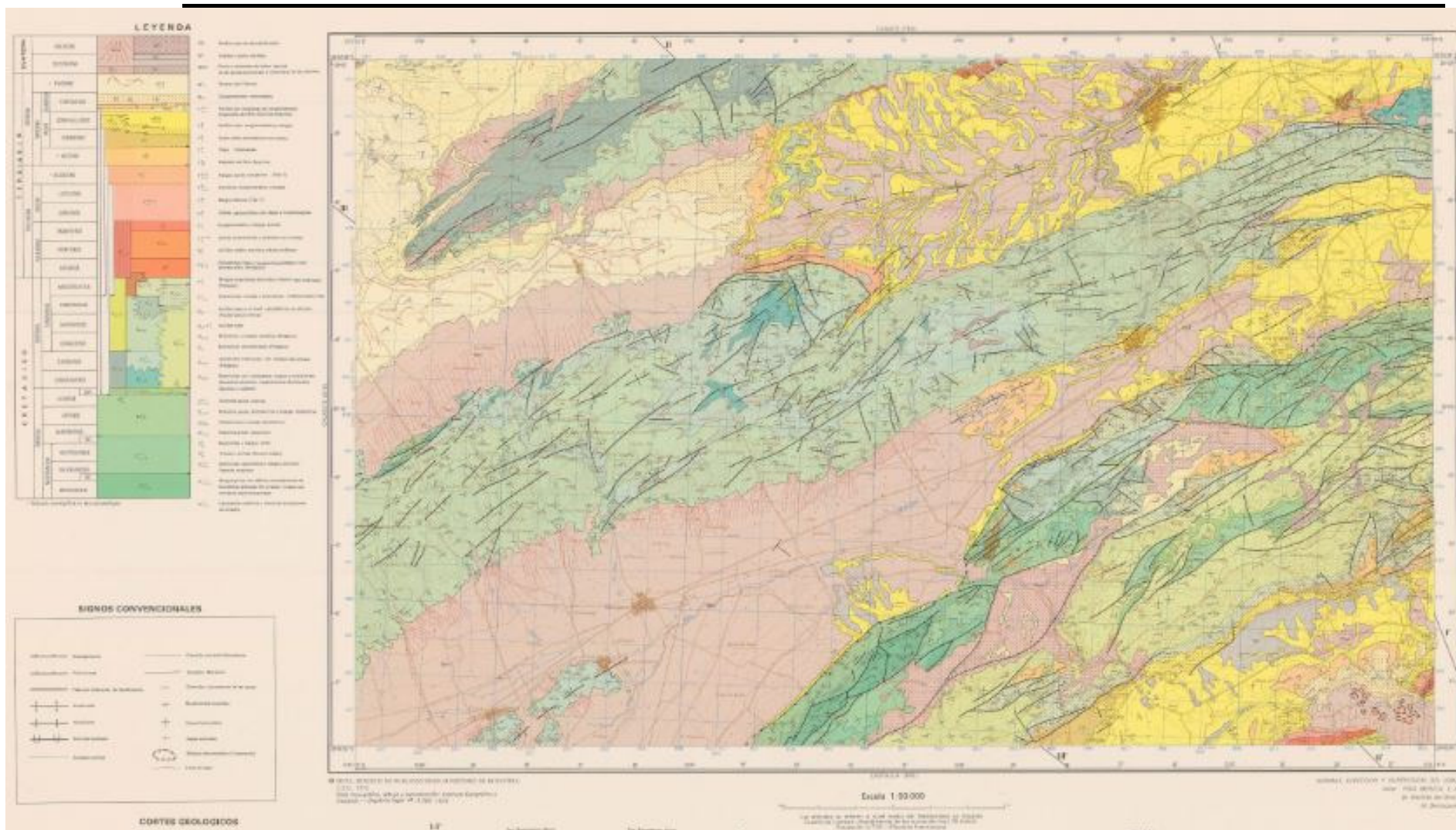


Fig. 8.- Mapa Geológico de España (E 1:50.000) Hoja Onteniente
 Tesis Doctoral de Nuria Gonzlález Utrillas
 UPV. Departamento de Física Aplicada



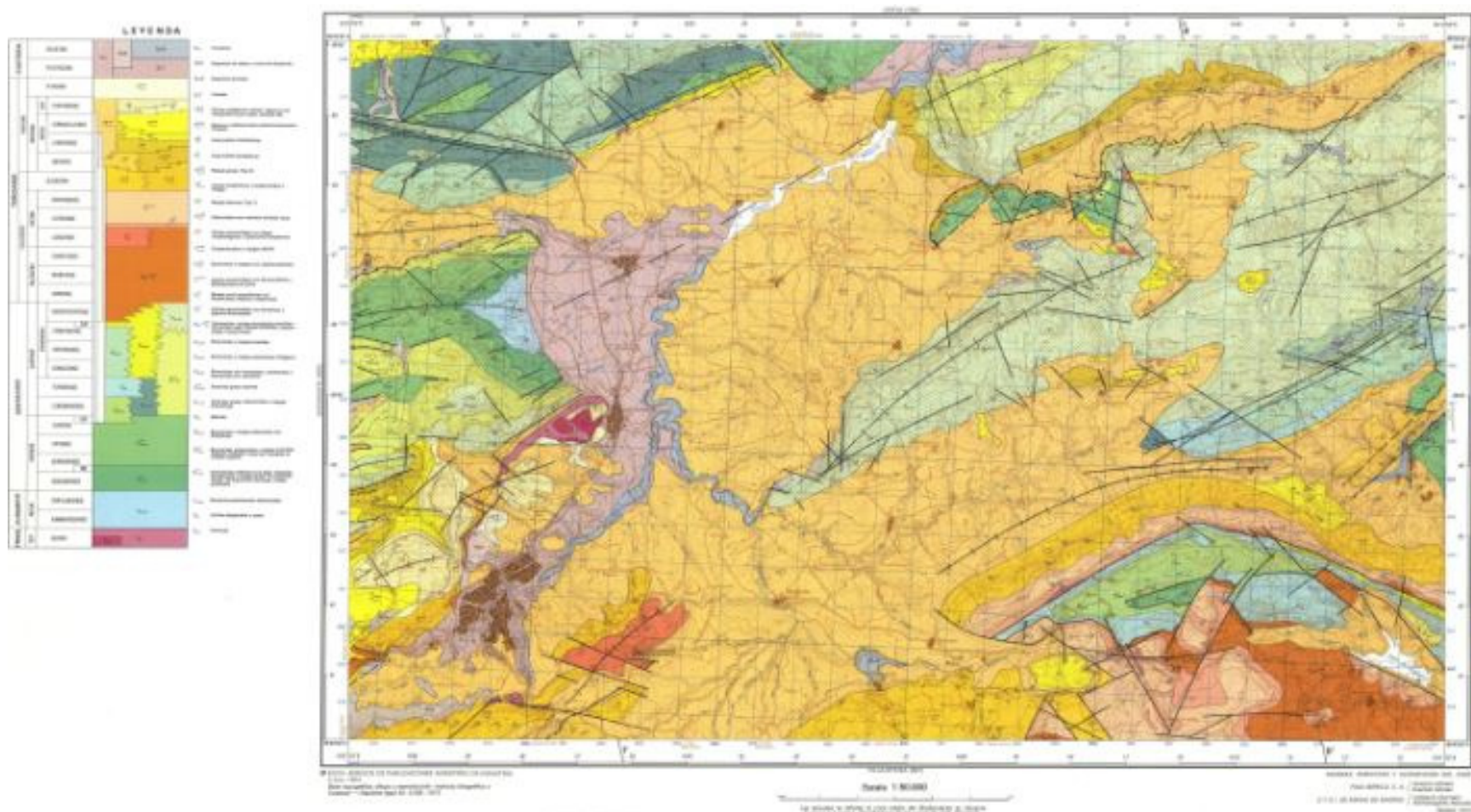


Fig. 9.- Mapa Geológico de España (E 1:50.000) Hoja Alcoy

Por último, en el área de estudio se ha descrito un lugar de interés geológico inventariado como lugar de interés singular en el Mapa Geocientífico (INGEMISA 1987 a y b). Se trata de una zona de alto valor conservacionista y científico, que se corresponde con el yacimiento fosilífero de los lignitos del Puntal de la Mina, situado al noreste del núcleo urbano de Alcoy y al sur de la sierra de Mariola; se trata de un yacimiento de vertebrados del Plioceno inferior, formado en áreas lacustres cerradas; entre los materiales recuperados se encuentran restos de antepasados de los actuales osos (*Agriotherium*), elefantes (*Anancus* o *Mastodon*), rinocerontes (*Dicerorhinus*), toros (*Parabos*) y caballos (*Hiparion*), lo que ha permitido estudiar la fauna de mamíferos que vivía hace 3 millones de años.

En lo referente a la caracterización de suelos, las condiciones geológicas, climáticas y fisiológicas del área de estudio condicionan las características existentes de los mismos, desarrollándose suelos pertenecientes a los órdenes Entisoles, Aridisoles e Inceptisoles.

En cuanto a hidrografía, la Sierra de Mariola da origen a la más importante red hidrográfica alicantina, debido a un buen régimen comparativo de precipitaciones y a una geoestructura carstificada que alimenta un embolsamiento de agua de primera magnitud. Ya Cavanilles resaltaba en sus Observaciones esta generosa cualidad de la sierra: “Es Mariola uno de los principales montes del reyno, si solo atendemos á su altura y sus vegetales: pero el primero y sin igual si consideramos las riquezas que proporciona á los pueblos arrojando hácia todas partes ríos ó copiosas

fuentes...”. Gracias a la litología predominantemente calcárea de las elevaciones, la sierra de Mariola se constituye como una auténtica reserva de agua en sus acuíferos subterráneos, con anterioridad bien surtidos cuantitativa y cualitativamente, en los que se acumulaba la precipitación excedente de algunos años, necesaria en años deficitarios (ver figura 11). Hidrogeológicamente, cobran importancia operativa los acuíferos contenidos en formaciones geológicas jurásicas, cretácicas, miocenas y pliocuaternarias, inscritas todas ellas en la unidad hidrogeológica de la *Sierra de Mariola* (UHG 08.40). Reconocidos ya por Cavanilles, dan lugar a innumerables fuentes, manantiales y surgencias que salpican toda la superficie de la sierra. Tres cuencas hidrográficas se originan en este importante núcleo hidrogeológico: la del Barxell-Serpis (con importantes corrientes secundarias nacidas también en la sierra, como el río de Agres), la del río Clariano, afluente del Albaida y del Júcar y la del Vinalopó (ver figura 22). La evolución de los acuíferos incluidos en dicha unidad hidrogeológica ha sido desfavorable en los últimos años, con importantes, acusados y constantes descensos piezométricos.

La Valleta d’Agres constituye un corredor entre las sierras de Agullent – Cova Alta y la vertiente septentrional de Mariola. El surco fluvial del valle, receptor del drenaje de un sector de la sierra donde más intensas son las lluvias, genera dos corrientes de curso opuesto sobre el mismo eje, que vierten sus caudales a cuencas diferentes. La divisoria de aguas se sitúa aproximadamente en el centro del valle, a la altura de la estación de Agres. Hacia el este corre el riu d’Agres, tributario del Serpis, tras un recorrido de 12 km, curso alimentado por manantiales en su mismo lecho y por cortos

barrancos de altas cabeceras sobre la corona de la sierra. A Poniente, el barranc del Pou Trencat se le integra, junto a un abanico de barrancos del término de Bocairent, dando origen al río Clariano. Captadas las aguas por la rotura del sinclinal de Agullent, se encajan en un angosto desfiladero (l'Estret), descendiendo por el serpenteante curso, rumbo norte hacia Ontinyent. Poco antes de llegar a esta ciudad, recibe el copioso aporte del Pou Clar.

Por otro lado, desde Bocairent, se tiende hacia el SO un dilatado valle que se abre progresivamente hasta conectar con los llanos de la plataforma de Villena. El río Vinalopó nace a 1.000 metros de altura en el término de Bocairent. Rumbo SO se desliza sobre un plano suavemente inclinado, llegando hasta las proximidades de Villena. Desde el Vinalopó hacia el este tiene lugar una cierta indefinición hidrográfica que vuelve a perfilarse en el sector meridional por el cauce del riu Barxell. El río nace a 1.000 metros de altura, como barranc de Bocairent y en el mismo término. Poco antes de llegar a Alcoy y después de recibido el aporte del riu Palop, se desploma desde una plataforma caliza fallada, en una cascada (El Salt) de unos 80 metros de caída. Dentro ya del término municipal de Alcoy, junto a los afluentes del Molinar y del barranc del Sinc, da origen al riu d'Alcoi, popularizado como Serpis. Rumbo noreste, orillando Cocentaina, limita hidrográficamente el sector oriental de Mariola. Esta es la cuenca de mayor entidad comarcal, como eje fluvial del amplio valle o depresión del Comtat, siendo receptor de la mayor parte del aporte torrencial de la Sierra de Mariola.

La Sierra de Mariola suministra los mayores caudales fluviales de la totalidad de la orografía alicantina. La pluviometría abundante es un factor de primera magnitud como generador de esta riqueza de manantiales. La geoestructura aporta la morfología adecuada para optimizar los caminos del agua. La circulación de las aguas meteóricas en las montañas calizas, cárstica, comporta tres fases cíclicas: las formas de absorción, por donde las aguas penetran en el interior de los macizos, simas, depresiones, grietas, campos de bloques; su tránsito subterráneo, las cavernas, redes de cauces hipogeos, las formas de circulación; y, por último, cuando estos embolsamientos y corrientes se ponen en contacto con el exterior por la acción de fallas en las llamadas formas de emisión. Varios ríos se forman de los numerosos manantiales que alumbran por todo el perímetro de la sierra; la activa tectónica, con planos entrecruzados de fracturas y las grandes fallas, ha desarrollado una compleja red de diaclasas. La dependencia de las corrientes de agua a este entramado de fisuras es decisiva en el modelado del paisaje cárstico.

El clima de la Sierra de Mariola es mediterráneo templado (clasificación climática de Köppen) subhúmedo seco y mesotérmico (clasificación climática de Thornthwaite), aunque con una variedad de microclimas bastante elevada y grandes diferencias según la orientación y la altitud. Los datos de las tablas 3 y 4 proceden de las estaciones meteorológicas próximas en las localidades de Agres, Banyeres, Bocairent y Alcoy; no obstante, la exposición de dichas estaciones es completamente desigual, por lo que corresponden a tipologías distintas (Gualda Gómez 1988). Reflejan datos meteorológicos medios de los últimos 50 años.

Datos de Pm (precipitación media, mm) y Dm (días de precipitación)													
mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	año
Alcoy:		latitud 38°42'N			longitud 0°28'W			altitud 562 m					
Pm	43,8	35,9	45,3	42,7	49,6	29,4	11,7	13,4	47,1	70,7	49,1	55,9	494,8
Dm	5,0	4,9	4,9	6,9	6,3	3,9	1,5	2,4	3,9	5,2	4,6	5,7	55,2
Tormentas = 4.0			Granizadas = 1.0			Nevadas = 1.1							
Agres:		latitud 38°47'N			longitud 0°31'W			altitud 722 m					
Pm	78,9	43,2	57,2	70,1	54,4	32,6	12,8	11,8	51,8	103,3	66,2	76,8	659,2
Dm	4,7	5,3	4,9	6,8	4,4	4,9	1,1	2,4	4,4	5,9	5,4	4,2	54,6
Tormentas = 15.0			Granizadas = 1.0			Nevadas = 2.0							
Banyeres:		latitud 38°43'N			longitud 0°39'W			altitud 816 m					
Pm	40,8	29,2	41,4	46,3	48,5	31,4	11,6	14,5	48,9	61,9	47,3	44,5	466,2
Dm	3,6	3,0	3,3	4,8	4,5	3,0	1,0	1,7	2,7	3,9	3,5	3,6	38,7
Tormentas = 7.2			Granizadas = 0.3			Nevadas = 1.3							
Bocairent:		latitud 38°46'N			longitud 0°36'W			altitud 641 m					
Pm	54,8	42,0	61,5	56,9	54,3	35,6	13,4	13,9	55,9	90,9	70,3	66,4	615,9
Dm	6,7	6,3	6,0	7,8	7,1	4,6	2,0	2,9	4,8	6,6	6,8	6,8	68,4
Tormentas = 16.6			Granizadas = 2.3			Nevadas = 2.7							

Tabla 3.- Datos de precipitaciones

Datos de T (temperatura media, °C), TM (media de las máximas, °C), Tm (media de las mínimas, °C), Ma (máxima absoluta, °C), ma (mínima absoluta, °C)													
mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	año
Alcoy:	latitud 38°42'N		longitud 0°28'W			altitud 562 m							
T	7,5	8,2	9,9	11,9	15,5	19,7	23,5	23,6	20,4	15,3	10,8	7,7	14,5
TM	12,2	13,1	15,5	17,4	21,6	26,2	30,7	30,3	26,7	20,7	15,6	12,1	20,2
Tm	2,8	3,3	4,4	6,3	9,5	13,2	16,3	16,8	14,1	10,0	6,0	3,3	8,8
Ma	25,0	25,5	30,0	30,5	33,0	38,0	43,0	41,5	35,0	32,0	30,0	25,0	-
ma	-11,0	-9,0	-5,0	-3,0	2,0	6,0	5,0	9,0	4,0	-1,0	-5,0	-8,5	-
Bocairent:	latitud 38°46'N		longitud 0°36'W			altitud 641 m							
T	7,7	8,4	10,3	12,1	15,6	19,8	23,4	23,4	20,7	15,7	11,1	8,1	14,7
TM	12,3	13,3	15,7	17,7	21,6	26,1	30,1	29,6	26,7	20,7	15,7	12,5	20,2
Tm	3,0	3,5	4,8	6,6	9,7	13,5	16,8	17,1	14,7	10,6	6,6	3,7	9,2
Ma	22,9	24,1	28,6	29,5	31,0	38,1	40,8	39,1	37,5	31,0	29,2	23,2	-
ma	-9,0	-7,9	-3,5	-2,1	2,0	8,0	10,0	10,6	5,8	3,2	-3,0	-4,1	-

Tabla 4.- Datos de temperaturas

La diversidad del relieve introduce variantes que alteran notablemente la homogeneidad climática, como son la altura, la orientación de las sierras frente a los vientos húmedos dominantes y la progresiva continentalización tierra adentro que aleja el efecto termorregulador por encima de la media en la Comunitat Valenciana, por su favorable disposición frente al Llevant, habitual portador de las lluvias, con máximos comarcales en su vertiente septentrional en la Valleta d'Agres y en el Carrascar de la Font Roja. El gradiente de altitud como factor sobre el escalonamiento térmico produce las nevadas, entre tres y cuatro anuales. Su puntual aparición e intensidad fue el soporte del antaño próspero comercio de la nieve. Las precipitaciones más importantes se dan en las vertientes norte y este, sobretodo en otoño, cuando reciben directamente los vientos húmedos de gregal y levante; el suroeste queda fuera de esta influencia, debido a la mayor continentalidad. Se dan también sequías, gotas frías y otros acontecimientos de carácter periódico. La nieve suele presentarse en invierno y, excepcionalmente, en primavera. Las zonas altas de la sierra capturan nieblas y rocíos, precipitaciones nada despreciables, especialmente para la vegetación. Dicho carácter de receptor de humedad le permite tener una mayor presencia de áreas de vegetación más densas y que se constituyen como auténticas reservas ambientales del tipo de bosque mediterráneo.

En cuanto a la vegetación, la Sierra de Mariola constituye un punto de mira de botánicos de todo el mundo por la singularidad y diversidad florística. Más de 1200 especies de plantas superiores se han catalogado en Mariola, con muchos endemismos iberolevantinios y setabenses. Adquieren

especial relevancia las plantas aromáticas y medicinales, utilizadas desde antiguo en la elaboración de bebidas, como condimento culinario, remedio de afecciones respiratorias y digestivas o en la elaboración de perfumes. En este sentido cabe citar la salvia de Mariola, el romero, el tomillo, el rabo de gato, la manzanilla amarga (ver figura 10), el apreciado y escaso fresnillo o “timó real”, la pimentera o “pebrella”, el espliego, la santónica, el hipérico y el té de roca.



Fig. 10.- Manzanilla amarga (*Santolina chamaecyparissus* L.subsp.*squarrosa* (DC.) Nyman. (Fuente: UIB)

Existen declaradas siete microrreservas vegetales. De hecho, el LIC Serres de Mariola i Carrascar de la Font Roja está incluido en la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea aprobada por la Decisión de la Comisión, de 19 de julio de 2006, por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/43/CEE (DIRECTIVA HÁBITATS 1992), del Consejo, dicha lista (LIC 2006).

De acuerdo con la descripción del ilustre botánico José Antonio Cavanilles: “se ven a cada paso fuentes, recomendables todas por la excelencia y

copia de sus aguas [...] dilatadas alfombras de salvia, espliego, axedrea y tomillo, en las cuales se ven texos, ramnos, cornillos y onónides [...] la cumbre terminada por una llanura en cuesta hácia poniente sembrada de peñas y vegetales, siendo los más comunes el erizo y el geranio saxátil. En las quebradas contiguas que miran al norte vi la draba alpina, la iasione hojosa, la potentilla blanca, la palomilla de nueve hojas, la escabiosa afelpada, la silene saxífraga, la arenaria con hojas de enebro, el erino alpino, y otras plantas.” Y continúa con la descripción desde lo alto del Montcabrer (ver figura 20): “No hay árbol alguno en aquella altura, y son bastante raros los que crecen en las primeras cuestas: los texos, mostellares y arces se ven á bastante distancia unos de otros: síguense hácia abaxo romeros, ramnos y mucha xara, especialmente la que tiene hojas de romero. [...] A medida que se va baxando se aumenta la maleza y el número de plantas, como buplevros, siderítides, teucrios, xaras y multitud de gramas: crece por allí el alhelí pirenaico, la carlina lanuda, la esteelina, la catanaque azul, el senécio vara de oro, la ínula con hojas de sauce, y otras plantas.”



Fig. 11.- Font de la Mallaeta. (Fuente: CIDAM)

Con respecto a la parte más meridional de la sierra, describe: “Menos ingratos son los montes meridionales hácia el término de Alcoy, donde se hallan fuentes, y en partes tierra fértil; pero obstan al cultivo la excesiva altura y las continuas quebradas, creciendo solamente como para adorno variedad de arbustos y yerbas. Es muy común el tomillo llamado *pebrella*, y la xara con hojas de romero, que el vulgo llama *matagáll*; también lo son la axedrea de monte y el hipérico parecido al brezo, el vecetósigo, el llanten blanco, muchos teucrios, xaras y siderítides. De estas hallé dos especies nuevas que publicaré en mi cuarto tomo de plantas.” Da constancia, de este modo, de la abundancia de especies vegetales en la Sierra de Mariola.

La vegetación potencial se ha caracterizado a partir de los mapas de vegetación a escala 1:400.000 de Rivas Martínez (1987). Se encuadra dentro de la región mediterránea, en la provincia Catalana-Valenciano-Provenzal, y dentro de ella en el sector Setabense, subsector Alcoyano-Diánico. Desde el punto de vista bioclimático se localiza en el piso mesomediterráneo, aunque en las cimas de las sierras encontramos el supramediterráneo, de ombroclima seco-subhúmedo. La vegetación potencial de un área que se relaciona con las características climáticas de la misma se denomina vegetación climática. Según las series de vegetación de Rivas-Martínez (1987), la vegetación potencial en el ámbito del Parque Natural es la mesomediterránea manchega-aragonesa basófila de la encina. Los bioindicadores y etapas de regresión de la serie anterior, según Rivas Martínez, se muestran en la tabla 5.

Nombre de la serie	Castellano-aragonesa de la encina	Castellano-maestrazgo-manchega de la encina
Piso bioclimático	<i>Mesomediterráneo</i>	<i>Supramediterráneo</i>
Nombre fitosociológico	<i>Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae</i>	<i>Junipero thuriferar-Querceto rotundifoliae</i>
I. Bosque	<i>Quercus rotundifolia Bupleurum rigidum Teucrium pinnatifidum Thalictrum tuberosum</i>	<i>Quercus rotundifolia Juniperus thurifera Juniperus hemisphaerica Rhamnus infectoria</i>
II. Matorral denso	<i>Quercus coccifera Rhamnus lycioides Jasminum fruticans Retama sphaerocarpa</i>	<i>Rosa agrestes Rosa micrantha Rosa cariotii Crataegus monogyna</i>
III. Matorral degradado	<i>Genista scorpius Teucrium capitatum Lavandula latifolia Helianthemum rubellum</i>	<i>Genista pumila Linux appressum Fumana procumbens Globularia vulgaris</i>
IV. Pastizales	<i>Stipa tenacissima Brachypodium ramosum Brachypodium distachyon</i>	<i>Festuca hystrix Dactylis hispánica Koeleria vallesiana</i>

Tabla 5.- Series de vegetación de Rivas-Martínez

En el ámbito del Parque Natural se pueden encontrar buenos ejemplos de la vegetación potencial climática, protagonizada en estas tierras por el carrascal e incluso por el bosque mixto mediterráneo en las zonas umbrías e inaccesibles. La carrasca, como especie clave, y caducifolios como el fresno, el arce y también el quejigo, aparecen acompañados por un rico estrato arbustivo compuesto por durillos, ruscos, madreselvas, aladiernos y otras arbustivas y enredaderas. La siguiente etapa de degradación está

caracterizada por coscojares y torviscos, enebros, espinos negros y espinares en las zonas más húmedas y sombreadas compuestos de zarzas, endrinos, espinos *albares* y rosales silvestres (ver figura 12).



Fig. 12.- Coscojar formando garriga asociada al pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller) y a la estepa blanca (*Cistus albidus* L.). (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)



Fig. 13.- Maquia de carrasca (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) y pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller). (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

Sin embargo, la mayor parte de la superficie de la sierra está cubierta por un denso pinar de pino carrasco mezclado con aliagas, romeros, jaras y muchas de las plantas aromáticas y medicinales ya citadas (ver figura 13). También hay buenos ejemplos de vegetación edáfica como los bosques de ribera en la cabecera del río Vinalopó.

Uno de los ambientes del Parque que destaca especialmente es la microrreserva de la Teixera d'Agres, que ha sido considerada como el bosque de tejos más meridional de Europa y que, aunque con una

población muy reducida, aún conserva espectaculares ejemplares de este singular árbol. También hay que hacer especial mención a las comunidades vegetales asociadas a las numerosas fuentes y manantiales naturales de Mariola (ver figura 14) como, por ejemplo, el caso de la espectacular tosca de la Font del Molí Mató, así como rupícola, con importantes endemismos, y culminal, con el pico del Montcabrer como protagonista y una interesante componente relíctica.



Fig. 14.- Río Vinalopó en el Molí l'ombria. (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

Los carrascales son formaciones con un estrato arbóreo denso donde predomina la carrasca (*Quercus ilex* subs. *ballota*) (ver figuras 15 y 16), pero ocasionalmente pueden aparecer también especies como el fresno (*Fraxinus ornus*) o el arce (*Acer opalus* subsp. *granatense*). El estrato arbustivo es rico en grandes matorrales y lianas, como la madreselva (*Lonicera etrusca*), la rubia (*Rubia peregrina*), el barbadijo (*Viburnum*

tinus), liliáceas (*Smilax aspera*), el rusco (*Ruscus aculeatus*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*) y por último un estrato herbáceo, en el que aparecen típicamente diversas hierbas como la violeta (*Viola alba*) o el camedrio (*Teucrium chamaedrys*).



Fig. 15.- Carrascas (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) arbustivas.
(Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

Muchos más escasos que las carrascas y limitado a algunos parajes especialmente favorables (en las zonas más altas y frescas y también bordeando barracos) cabe mencionar los bosques mixtos, dominados por especies como el quejigo (*Quercus faginea*) (ver figura 17) o el fresno (*Fraxinus ornus*), junto a los cuales aparecen otros árboles, como el arce (*Acer opalus* subsp. *granatense*). Los bosquetes se encuentran mucho más extendidos en la sierra, especialmente la maquia de coscoja (*Quercus coccifera*) o, si las condiciones son más frías, los espinares (*Crataegus monogyna*) y zarzales (*Rubus ulmifolius*).



Fig. 16.- Carrasca (*Quercus ilex* L. subsp.*ballota* (Desf.) Samp.). (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

Fig. 17.- Quejigo (*Quercus faginea* Lam.subsp.*faginea*). (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

No obstante, hoy en día la cobertura vegetal en el ámbito del Parque Natural se encuentra muy deteriorada. Debido a los incendios acontecidos (ver figura 18), las malezas representan la formación vegetal más extensa de la sierra, bien en estado puro, bien acompañado por un estrato arbóreo de pinos. Entre las especies más características de estos matorrales podemos numerar el brezo (*Erica multiflora*), la piperella (*Thymus piperella*), el tomillo (*Thymus vulgaris*), las aliagas (*Ulex parviflorus*, *Genista scorpius*), las jaras (*Cistus* sp.). También merece mención la salvia, limitada a las zonas más altas y frías de la sierra, donde aparecen, junto a la endémica salvia de Mariola (*Salvia blancoana* subsp. *mariolensis*), otras especies características como el tomillo real (*Satureja*

gracilis) o el espigón (*Lavandula latifolia*). El pino carrasco (*Pinus halepensis*) es sin duda la especie de conífera más repoblada en la sierra en todos sus niveles.

Otros tipos de vegetación, como son las características de roquedos, se encuentran también bien representadas en la sierra. Cabe destacar las formaciones que aparecen sobre los farallones superiores de la sierra, denominadas tomateras del diablo (*Potentilla caulescens*) y al cual acompaña una serie de especies de gran interés: *Jasione foliosa*, *Silene saxifraga*, *Erinus alpinus*, *Linaria cavanillesii*, *Asplenium rutamuraria*, *Hieracium aragonense*, *H. loscosianum*, *Draba hispanica*. A menos altitud y en zonas soleadas, encontramos *Teucrium thymifolium* y el té de roca (*Jasione flutinoso*). Por último, en las áreas permanentemente húmedas, como en las fuentes y manantiales, es el culantrillo de pozo (*Adiantum capillus-veneris*) la especie predominante, acompañada por numerosas especies de briófitas.



Fig. 18.- Coscoja (*Quercus coccifera* L.) y agrupación de carrascas (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) rebrotando tras incendio. (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

En el barranco de Barxell, la presencia contigua de agua condiciona la existencia de una vegetación riparia bien constituida, representada por especies del género *Salix* o la sarga (*S. eleagnos*), a los cuales acompañan un pequeño número de hierbas exigentes de humedad y sombra, como *Carex pendula* y *Equisetum telmateia*.

En cuanto a los bosques de la ribera, están dominados por olmos (*Ulmus campestris*), al que acompañan hierbas que soportan bien la sombra. Estos bosques, que antiguamente abarcarían una extensión considerable a los valles de los ríos, han desaparecido en gran medida por la presión humana, ya que su situación corresponden a las tierras más aptas para el cultivo de regadío.

Los barrancos están dominados por otro tipo de bosque (ver figura 19), donde predomina la adelfa (*Nerium oleander*), acompañada frecuentemente de zarzales (*Rubus ulmifolius*), la cola de caballo (*Equisetum ramosissimum*) y en ramblas más húmedas y sobre sustratos arcillosos o margosos suele abundar el roldón (*Coriaria myrtifolia*).



Fig. 19.- Barranco del Cint. (Fuente: CIDAM)

La gran variedad de ecosistemas vegetales se traduce también en una importante diversidad faunística. Es así como insectos y otros artrópodos, anfibios, reptiles, aves, rapaces diurnas, rapaces nocturnas, mamíferos y otras especies colonizan bosques, prados, acantilados, cuevas, ríos, balsas, áreas cultivadas e incluso núcleos urbanos. Así, en Mariola podemos encontrar anfibios como la rana común o el sapo común entre otros, reptiles como la lagartija ibérica, la lagartija colilarga y la lagartija cenicienta, alimentándose de insectos y otros invertebrados, el lagarto ocelado, la culebra viperina, la culebra de escalera, la culebra bastarda, la de herradura, la víbora hocicuda, que se alimentan de los anteriores, de micromamíferos y de pequeños pájaros. Entre estos últimos hay granívoros como el pizón, la perdiz o el verdecillo, insectívoros como el petirrojo, el carbonero común y otros páridos, córvidos, el pito real.



Fig. 20.- Pico Montcabrer. (Fuente: CIDAM)

También se encuentran bien representadas las rapaces, tanto diurnas como nocturnas, como el águila real, el águila culebrera, el ratonero, el halcón peregrino, el azor, el gavián y el cernícalo común; entre las nocturnas se encuentran el búho real, el cárabo, el mochuelo, la lechuza y el autillo. Cabe destacar la colonia de buitre leonado, actualmente en expansión por un proyecto de reintroducción que además ha favorecido la presencia de otras especies como el milano real. Entre los mamíferos cabe destacar el conejo, alimento básico de carnívoros como el gato salvaje, la garduña, la comadreja, la gineta, el difícilmente localizable tejón y el abundante zorro. La fauna existente en el área es la asociada a los biotopos a continuación identificados:

- Fauna asociada a zonas forestales y de matorral: es el biotopo más representado en la sierra; la diversidad de vegetación propicia también una gran representación de la fauna, con numerosas especies. Entre los reptiles destacan la lagartija de cola larga (*Psammodromus algirus*), el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), la serpiente blanca (*Elaphe scalaris*), la culebra lisa europea (*Coronella girondica*) o la serpiente de herradura (*Coluber hippocrepis*). La ornitofauna es muy extensa, las especies asociadas a áreas forestales son el tordo (*Turdus viscivorus*), la paloma torcaz (*Columba palumbus*), el arrendajo (*Garrulus glandarius*), el carbonero garrapinos (*Parus ater*), el carbonero común (*Parus major*), el herrerillo capuchino (*Parus cristatus*) o el pinzón común (*Fringilla coelebs*) y entre las rapaces propias de estos medios, encontramos el águila culebrera (*Circaetus gallicus*),

el águila calzada (*Hieraetus pennatus*), el gavilán (*Accipiter nissus*) y el cárabo común (*Strix aluco*). Entre los mamíferos están presentes el gato salvaje (*Felis sylvestris*), la garduña (*Martes foina*), la gineta (*Genetta genetta*), el tejo (*Meles meles*), la comadreja (*Mustela nivalis*) y el zorro (*Vulpes vulpes*).

- Fauna asociada a cursos de agua: la herpetofauna está representada por la tortuga de agua (*Emys orbicularis*), la serpiente de agua (*Natrix maura*) y la rana común (*Rana perezi*). Entre las aves encontramos el abejaruco (*Merops apiaster*), la oropéndola (*Oriolus oriolus*), el chochín (*Troglodytes troglodytes*) y el martín pescador común (*Alcedo attis*). Los mamíferos presentes son la rata de agua (*Arvicola sapidus*) y el turón (*Mustela putorius*).

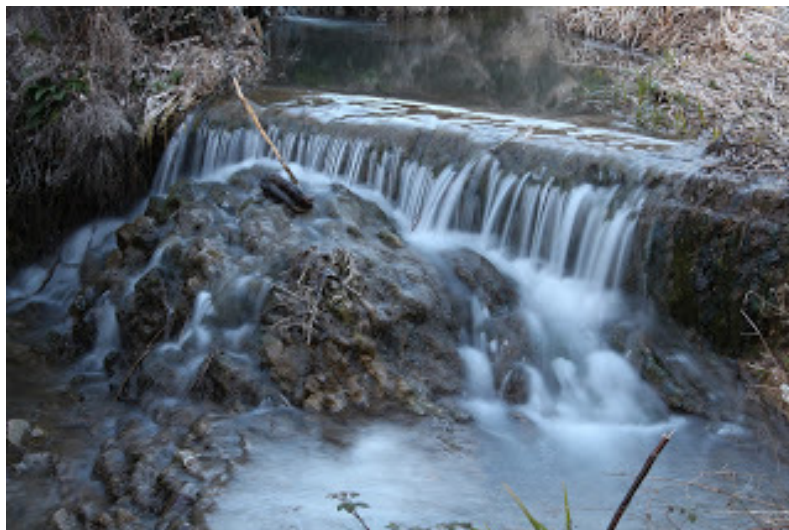


Fig. 21.- Río Vinalopó. (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

-
- Fauna asociada a roquedos: presente en las zonas donde existen afloramientos rocosos, como el barranco del Cint o El Salt. En la reserva de fauna del “Canyet de les Penyes de Sant Cristòfol” se está introduciendo el buitre leonado (*Gyps fulvus*). También los roquedos cobijan especies que requieren condiciones de inaccesibilidad para su reproducción, como las aves rapaces. Destaca la presencia del águila real (*Aquila chrysaetos*), águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*) o el búho real (*Bubo bubo*). En las cavidades que forman las rocas se encuentra fauna cavernícola y troglobia, mamíferos del grupo de los quirópteros como el murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*), el murciélago común (*Pipistrellus pipistrellus*), el murciélago ratonero patudo (*Myotis capaccinii*) y el murciélago mediano de herradura (*Rhinolophus mehelyi*).

El paisaje forestal de la sierra es el resultado del paso ancestral de carboneros, leñadores, productores de cal o pastores, que ha derivado en el extenso matorral mediterráneo y en los pinares de repoblación actuales, a veces degradados por graves incendios, como los acontecidos el 7 de julio de 1994 en la parte de poniente del parque (el de mayor extensión hasta la fecha); el 4 de septiembre de 2010 en Alfafara, el 12 de julio de 2012 en Mas de la Cova (ver figura 22), el 12 de agosto de 2014 en Buixcarró y Soterrani.



Fig. 22.- Imágenes de las consecuencias del incendio de 2012. (Fuente: CMA)

La superficie total del PORN de la Serra de Mariola es de 16.926 ha. Teniendo en cuenta los usos y la calidad ambiental del territorio en el momento de su declaración como Parque Natural, así como el modelo de normativa aplicado, el ámbito del PORN aparece dividido en una serie de unidades y subunidades de zonificación. La descripción de cada una de estas unidades de zonificación, recogida en los artículos 9 y 10 del PORN, es la siguiente:

- Dentro de la unidad de zonificación denominada Parque Natural de la Serra de Mariola se distinguen 3 subunidades (ver figuras 25 y 26):
 - Áreas de Protección Integral: abarcan las zonas de máximo valor natural de la sierra, para las que se establece una mayor restricción de usos.

-
- **Áreas de Protección Ecológica:** están constituidas por terrenos forestales no incluidos en la anterior subunidad. El principal criterio de gestión es la restauración de la cubierta vegetal en las zonas degradadas.
 - **Áreas de Protección Paisajística:** se trata principalmente de campos de cultivo enclavados dentro de las Áreas de Protección Ecológica. El principal criterio de gestión es el mantenimiento de la actividad agrícola tradicional (ver figura 23).



Fig. 23.- Pico de Mariola (Fuente: CIDAM)

- Dentro de la unidad de zonificación denominada **Áreas de Amortiguación**, que incluyen los campos de cultivo periféricos de la sierra a los que se han añadido los terrenos dedicados a aprovechamientos extractivos, recreativos y urbanísticos, y cuya función es la de absorber los usos más impactantes para evitar que

se realicen en otras zonas más sensibles y de mayor valor natural, se distinguen 5 subunidades:

- Áreas Forestales (ver figura 24): constituyen los corredores forestales de contacto de la Sierra de Mariola con los espacios naturales circundantes. Incluyen los tramos de todas las vías pecuarias (ver figuras 27 y 39) que atraviesan Áreas Agrícolas y Áreas de Actividades Extractivas, tramos que se incorporarán a la cartografía de zonificación del PORN a medida que vayan deslindándose.



Fig. 24.- Cova Serrella (Fuente: Senderismo y vegetación. blogspot.com)

- Áreas Agrícolas: son los campos de cultivo de las Áreas de Amortiguación.

- Áreas de Actividades Extractivas: incluyen las canteras y explotaciones anejas en funcionamiento en el momento de aprobación del PORN.
- Áreas Recreativas: abarca los terrenos en los que es autorizable la construcción de edificios e instalaciones destinadas al uso recreativo o educativo.
- Áreas Urbanas: incluye los suelos urbanos y urbanizables establecidos por los planeamientos urbanísticos municipales vigentes en el momento de aprobación del PORN. En estas áreas se permiten los usos y aprovechamientos previstos por dichos planeamientos urbanísticos.

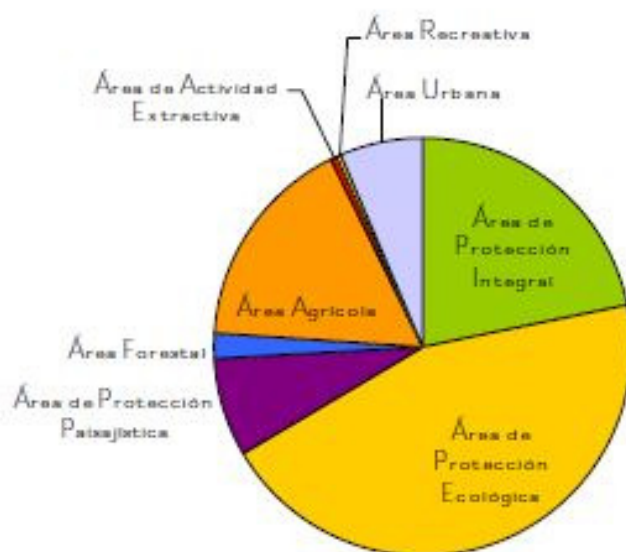


Fig. 25.- Distribución en porcentaje de superficie de las distintas unidades de zonificación. (Fuente: CMA)

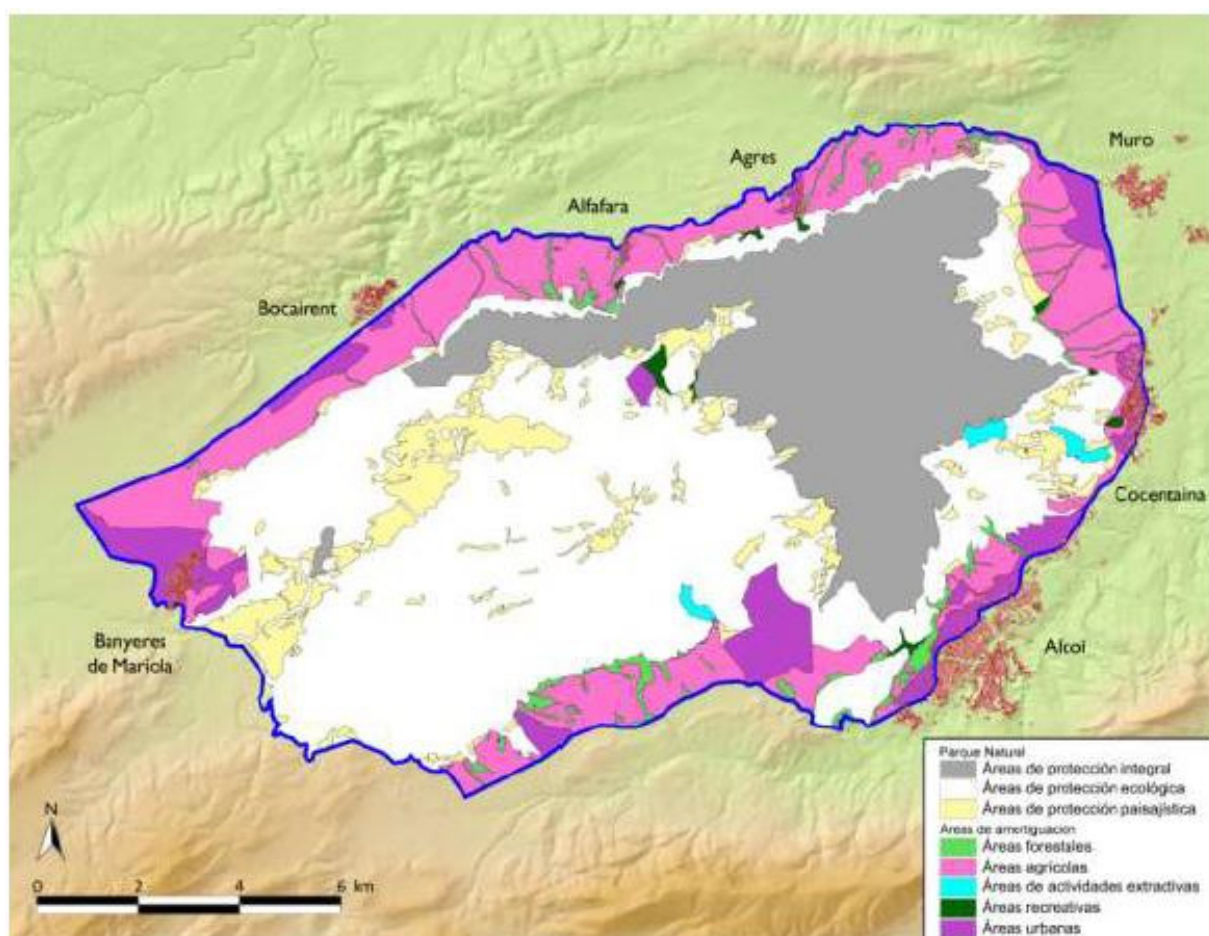


Fig. 26.- Zonificación del PORN. (Fuente: CMA)

Los criterios de gestión y los objetivos que se persigue en el PORN del Parque Natural de la Serra de Mariola, donde convergen destacados valores ecológicos, paisajísticos, etnológicos y patrimoniales, en un marco natural de montaña fuertemente antropizado, no pueden ir desligados a la realidad socio-cultural que los modela. Por tanto, en la búsqueda de un modelo sostenible de desarrollo y conservación del medio se han fijado objetivos generales en torno a tres grandes líneas (conservación, desarrollo socio-económico y gestión del uso público), entre los que destacan, relativos a la vegetación del Parque Natural, los siguientes:

-
- Potenciar la conservación de especies de flora y fauna, hábitats y paisajes.
 - Poner en valor los recursos naturales, paisajísticos y etnológicos del Parque Natural.
 - Potenciar la dinamización y desarrollo sostenible de los municipios del ámbito socioeconómico del Parque.
 - Elaborar, apoyar y colaborar en cuantos Planes, Programas y Proyectos, así como trabajos de investigación, conservación y mejora de los hábitats y ecosistemas se lleven a cabo.
 - Potenciar la información, educación ambiental y la concienciación de residentes y visitantes con respecto a este espacio natural protegido.



Fig. 27.- Vía pecuaria en Banyeres de Mariola. (Fuente: CIDAM)

De igual modo, el PRUG de la Serra de Mariola establece, en su artículo 2, los criterios específicos de gestión del Parque Natural de acuerdo con siguientes objetivos:

- Proteger y conservar el patrimonio natural, con especial atención a los ecosistemas, especies y recursos naturales más notables.
- Regularizar la afluencia de visitantes y fomentar actitudes que favorezcan la conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales y culturales del Parque (ver figura 28).
- Restauración e integración paisajística de las zonas con una cobertura vegetal insuficiente, como consecuencia de usos no compatibles con la preservación de las mismas (actividades extractivas, movimientos de tierras), con el fin de garantizar la conservación de los suelos y regenerar los ecosistemas propios de la zona.



Fig. 28.- Cava Arquejada. (Fuente: CIDAM)

El artículo 41 del PORN establece la obligatoriedad por parte de la Conselleria de Medio Ambiente de redacción de un Plan Forestal de la Serra de Mariola que delimite áreas de actuación constituidas por superficies forestales homogéneas susceptibles de una gestión común. Para cada una de estas áreas se establecerán las determinaciones precisas para potenciar su conservación y para la protección contra incendios. En base a esto se redactó el Plan de Ordenación Integral (en adelante, POI) del Parque Natural de la Serra de Mariola, de acuerdo con las Directrices de la política sectorial forestal establecidas en el Anexo V del PORN y que se desarrollan a continuación:

- I. Fomento de la conversión del matorral a bosque maduro.
- II. Protección y ampliación de la cubierta vegetal en el mayor número de estratos posible para mejorar la conservación de los suelos.
- III. Diversificación del paisaje rural mediante la conservación y recuperación de enclaves forestales en zonas agrícolas.
- IV. Inclusión de líneas de subvención bien dotadas para la realización de trabajos de conservación y mejora.
- V. Fomento de prácticas que permitan la sustitución de la quema de residuos agrarios y forestales por otros sistemas alternativos de eliminación: establecimiento de líneas de subvención, actividades de formación y difusión.
- VI. Los instrumentos de planificación o gestión forestal previstos, tanto en estas normas como en la legislación sectorial, deberán incorporar entre sus criterios básicos la consideración del territorio desde una perspectiva global frente a los posibles efectos de

grandes incendios, de modo que se consigan estructuras con un alto grado de autodefensa frente a estos últimos.



**Fig. 29.- Bosquete de pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller).
(Fuente: CIDAM)**

Son objetivos generales del POI:

- Proponer una selvicultura novedosa para las masas forestales presentes en el Parque Natural que sea conservacionista, de objetivo ambiental, uso social e incluya un sólido estudio del medio.
- Favorecer y fomentar los ecosistemas de más alto valor ecológico, dando una especial importancia a la biodiversidad y la multifuncionalidad de los bosques.

-
- Conservar y hacer más sostenibles los recursos naturales existentes: suelo, agua, flora, fauna, cultivos, ecosistemas y paisajes.

Y son objetivos específicos del POI:

1. Objetivos de gestión del medio:

- Búsqueda de estructuras con alto grado de defensa frente a los incendios forestales.
- Evolución del bosque hacia formaciones más estables y maduras, con capacidad de regeneración.
- Programa de fomento de la fauna.
- Sustitución del criterio económico de las actuaciones por criterios ecológicos para el incremento de la biodiversidad.
- Motivación y ayuda para la gestión de las fincas privadas.
- Mejora y diversificación del paisaje rural. Paisaje en mosaico.
- Contribución a la regulación de los ciclos del carbono.



Fig. 30.- Sierra de Mariola desde Alfafara. (Fuente: CIDAM)

2. Objetivos de gestión del espacio:

- Coherencia, coordinación y buenas prácticas en la gestión pública.
- Asistencia técnica y marco estable para el propietario.
- Mejor posicionamiento para la financiación adicional (ayudas y patrocinio).
- Refuerzo de la visión global del territorio “Sierra de Mariola” frente a las divisiones administrativas.
- Puesta en valor de la multifuncionalidad de las masas (ecológica, económica y social).

Con la finalidad de dar cumplimiento al POI y resto de exigencias legales, a la vez que conseguir una gestión integral del territorio capaz de garantizar su conservación y la obtención del máximo de utilidades, se ha intervenido en terrenos de naturaleza privada cuya urgencia de intervención y priorización de rodales en relación a los objetivos de la Ordenación y siembre bajo los principios de rendimiento sostenido, máximo de utilidades y persistencia y estabilidad de las masas (ver figura 29).

Por este motivo, el Equipo Técnico encargado del Plan de Ordenación estableció una serie de criterios con el fin de ajustar a la disponibilidad económica las actuaciones del calendario establecido en el POI, con el fin de tener objetivos claros para la selección de rodales, siendo los criterios los siguientes:

-
1. Rodales que se encuentren en los montes públicos y finca patrimonial del “Mas de Galbis”, finca agroforestal propiedad de la Generalitat Valenciana.
 2. Rodales cercanos a las áreas urbanas y áreas recreativas gestionadas por la Generalitat y determinadas en el PORN y PRUG.
 3. Se priorizan rodales de un solo propietario frente a rodales de varios propietarios.
 4. Se prioriza para los propietarios privados el orden de tramos, según el Plan de Ordenación (T1, T2, T3...)
 5. Se seleccionarán los rodales que queden contiguos a rodales ejecutados (de esta forma se dará lugar a amplias zonas tratadas frente a zonas dispersas).
 6. Rodales que estén cercanos a carreteras estratégicas y vías de escape.
 7. No se realizarán actuaciones en rodales que estén dentro de las zonas urbanas determinadas en el PRUG.
 8. Rodales con actuaciones selvícolas de calabocero para mejorar el desarrollo de las masas de pinar, con la intención de fomentar el crecimiento de los mejores pies con el fin de conseguir masas más multifuncionales, diversas y resistentes al fuego.

En consecuencia con estos objetivos, la repoblación forestal que se plantea en el caso de estudio, en el marco de la restauración de zonas con una cobertura vegetal insuficiente, ha de tener una clara finalidad de conservación de la biodiversidad del Parque Natural (ver figura 30). Cabe

destacar aquí que el carácter pionero del POI del Parque Natural de la Serra de Mariola en lo que a la ordenación de montes e intervenciones propuestas se refiere se refleja en que las mismas no se basan en actuaciones forestales tradicionales, en las que podría primar el aspecto económico, sino que persiguen la consecución de criterios de conservación y mejora de la biodiversidad. En este sentido, la gestión del POI es evaluable de forma independiente y mediante indicadores bajo criterios de SFM (ver figura 31).



Fig. 31.- Regeneración natural. (Fuente: CIDAM)

Como respuesta a la toma en consideración de estos otros criterios de conservación y mejora de la biodiversidad, la Brigada de Conservación de la Biodiversidad del Parque Natural ha llevado a cabo diversas actuaciones, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Proyecto paisaje, biodiversidad y gestión cinegética sostenible en el Parque Natural de la Serra de Mariola, mediante análisis con tecnología GIS, GPS y fototrampeo, con el objetivo de poner de

manifiesto la importancia de la conservación de espacios agroforestales tradicionales, combinando explotación de manera compatible con nuevas economías más rentables, y la conservación de las poblaciones de fauna vertebrada con elevado interés ecológico y también cinegético.

- Estudio y conservación de las poblaciones de roble valenciano o quejigo (*Quercus faginea*) en colaboración con el CIEF, con la finalidad de conservar las poblaciones de galer (nombre local del quejigo), mejorar su distribución y corregir los impactos a los que puedan estar sometidas.
- Deslinde del M.U.P. Ombria de Mariola (AL-1003) y del M.U.P. Tossal Redó (AL-1006), con el objetivo de delimitar y conocer los límites exactos de los mismos en previsión de futuras actuaciones, ya que los montes catalogados constituyen una de las figuras de máxima protección de los espacios forestales a través de una gestión activa y son considerados un patrimonio público de elevado valor, por las funciones ecológicas y sociales que desempeñan.
- Seguimiento y conservación del patrimonio arbóreo monumental y singular, mediante inventario.
- Actuaciones de control de flora exótica invasora, esto es, aquellas especies introducidas fuera de su área de distribución natural y que han logrado adaptarse, reproducirse, dispersarse y crear perturbaciones en los ecosistemas afectados, alterando la biodiversidad por competición con las especies autóctonas en ausencia de limitaciones impuestas por el medio o por un

depredador. Se consideran especies invasoras en la sierra: *Ailanthus altissima* y *Robinia pseudoacacia*.

- Conservación de fauna, así como actuaciones de control de fauna exótica y recuperación de fauna salvaje, gestión de ungulados silvestres y regulación de la caza mayor.
- Proyecto LIFE de restauración de hábitats prioritarios para los anfibios.
- Proyecto FERA: Proyecto de conservación de la flora endémica, rara o amenazada.
- Implantación del estándar de calidad en la gestión para la conservación de los espacios naturales protegidos de Europarque-España, habiendo sido elegido como parque piloto para llevar a cabo la asistencia técnica para la implantación del estándar de conservación.
- Detección y eliminación de impactos que puedan afectar a la calidad ambiental del Parque Natural y registro en el Banco de Datos de Biodiversidad de la Comunitat Valenciana.
- Diseño y desarrollo del Sistema de Información Geográfica (GIS) del Parque Natural como instrumento de detección capaz de detectar cambios y diagnosticar efectos.
- Conservación de hábitats, como los tratamientos selvícolas efectuados en las masas forestales afectadas por daños climatológicos, por plagas, o la restauración de hábitats prioritarios como microrreservas de flora, mediante clareos de matorral para favorecer el crecimiento de flora con requerimientos elevados de insolación o la plantación de especies autóctonas de origen

controlado, con objeto de crear nuevas poblaciones o de reforzar las existentes.

- Banco clonal de tejos y huerto semillero de quejigo de la finca agroforestal propiedad de la Generalitat Valenciana “Mas de Galbis”.
- Proyecto de repoblación bajo cubierta, reproducción y plantación de especies forestales procedentes del Banc de Llavors del Centro para la Investigación y Experimentación Forestal (CIEF), llevándose a cabo en 2010 plantaciones de *Taxus baccata* (ver figura 32), *Quercus faginea* y *Sorbus aria*.



Fig. 32.- Hojas y baya de tejo (*Taxus baccata* L.) (Fuente: blogspot.com)

De entre las acciones que contempla el POI en lo referente al gestión del hábitat para la mejora de la vegetación, se encuentran las siguientes:

- Fomento del carrascal y de especies caducifolias frente al pinar, mediante selección, con el fin de formar masas más diversas y desarrolladas.

-
- Repoblación para la diversificación y producción de fruto, en enclaves seleccionados con especies productoras de fruto, o ausentes por uso agrícola o incendios.

El rodal a repoblar en el caso de estudio (ver figura 37) se encuentra dentro de la finca denominada Masía Casa Galbis (ver figura 34) en el término municipal de Bocairent, que una vez llevado a cabo el procedimiento de deslinde y compraventa por la Generalitat ha pasado a formar parte del Catálogo de Montes de Dominio Público y Utilidad Pública de la Provincia de Valencia como monte número 188 denominado Mas de Galbis (ver figuras 35 y 36), en virtud del Decreto 69/2012, de 11 de mayo, del Consell, y publicado en el DOCV 6773 de 14 de mayo de 2012. En esta zona hubo una civilización íbera como lo indica el descubrimiento en 1895 de una escultura zoomorfa en la Lloma de Galbis, el León ibérico o León de Bocairent (ver figura 33), que se encuentra actualmente en el museo San Pío V de Valencia por donación de Vicente Calabuig.



Fig. 33.- León de Bocairent (Museo San Pío V Valencia)

De acuerdo con la zonificación del PORN, el ámbito de actuación de la repoblación se encuentra catalogado como Área de protección ecológica. De acuerdo con el PRUG, es zona con uso moderado; constituyen esta categoría aquellos espacios de marcada singularidad paisajística y ecológica con una función ambiental complementaria de destacada importancia. Incluye las áreas en las que se desarrollan carrascales claros de solana, matorrales y pinares. Son usos permitidos dentro de este espacio, con carácter general, todas aquellas actividades o actuaciones tendentes a la recuperación, regeneración o restauración de los ecosistemas más representativos (bosque mixto mediterráneo, carrascal con fresno y carrascal), incluyendo la repoblación con especies autóctonas características de este medio, los aprovechamientos productivos tradicionales y un uso público sostenible como algunas actividades de estancia, actividades educativas, deportivas y recreativas de bajo impacto.

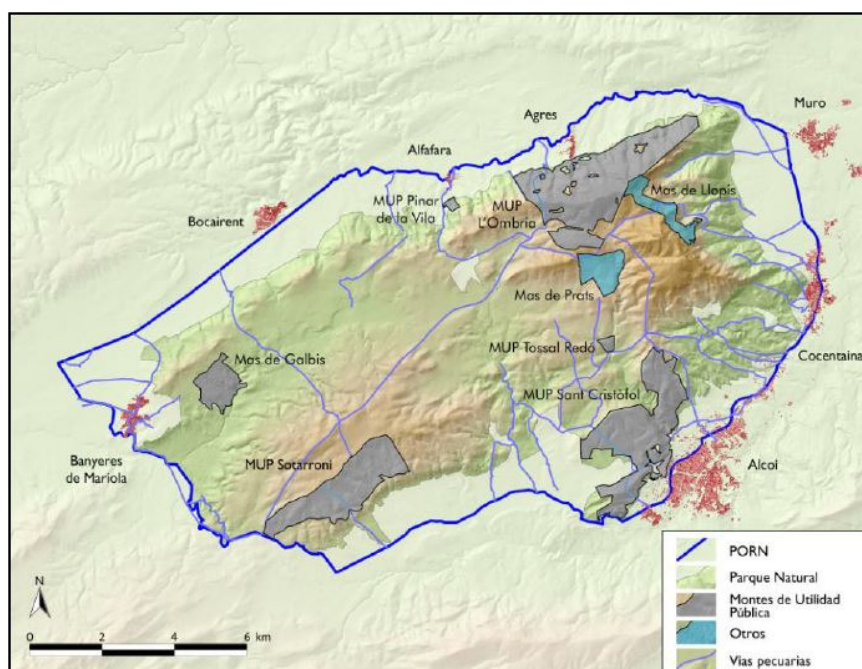


Fig. 34.- Límite del PORN y titularidad de los terrenos. (Fuente: CMA)

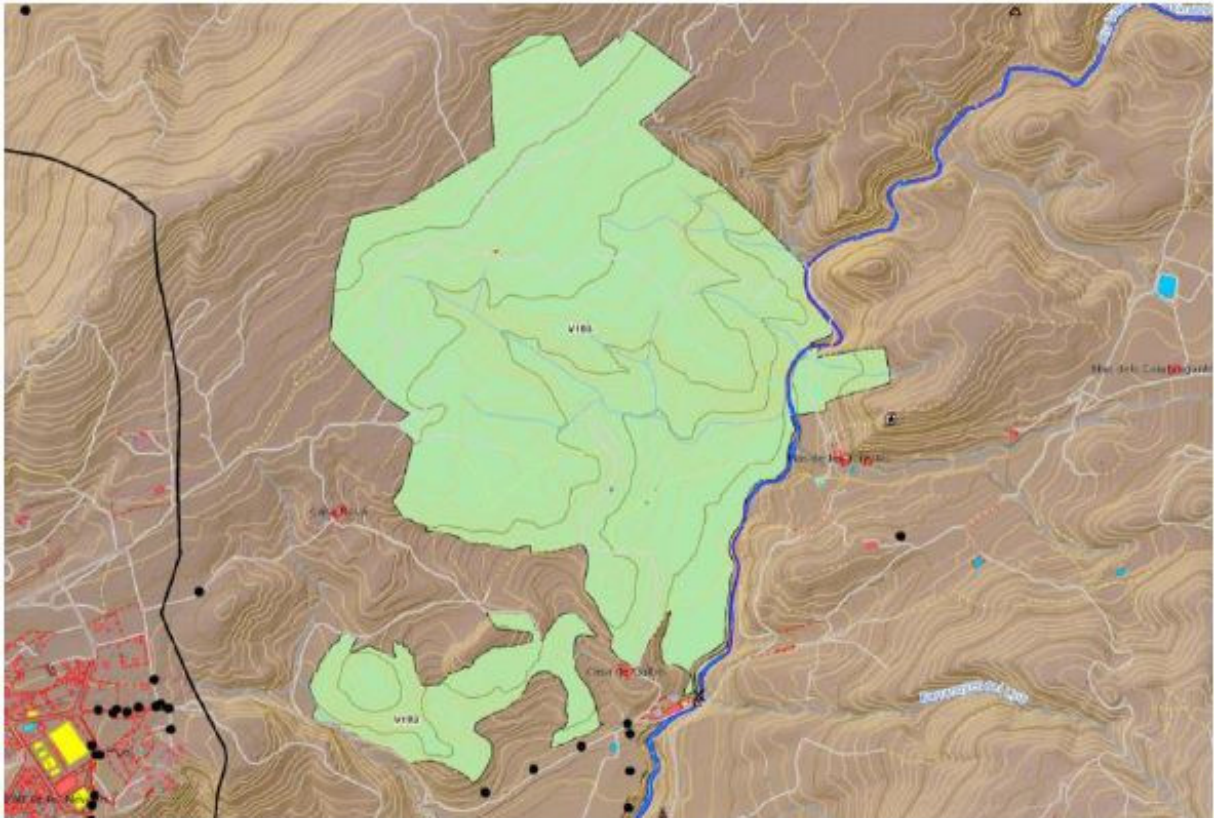


Fig. 35.- Deslinde del MUP “Mas de Galbis”. (Fuente: CMA)

Como objetivo principal de la repoblación aparece, como ya se ha dicho anteriormente, la conservación de la biodiversidad. Como objetivos secundarios:

- Diversificar la masa forestal inicial, conformada básicamente por un manto de pino carrasco, con la repoblación de especies más adaptadas a la zona tales como encinas, fresnos o quejigos.
- Aumentar la belleza paisajística de un paraje altamente frecuentado, creando un mosaico de colores y ejemplares en mejor estado.

-
- Fomentar las especies productoras de frutos para atraer fauna hasta la zona que los ingiera y disperse las semillas.
 - Conservar y hacer más sostenibles los recursos naturales presentes en la finca, particularmente suelos, agua, flora y fauna, cultivos, ecosistemas y paisajes y especialmente los bosques de frondosas y defenderlos activa y pasivamente del fuego.
 - Gestionar el monte, de forma que se maximicen los valores ambientales que en ella se pueden alcanzar, con el fin de incrementar tanto el valor ecológico como social de la finca y de forma que se posicione como referente y ejemplo de la óptima gestión medioambiental entre las fincas de la comarca.

Por tanto, la repoblación no va enfocada únicamente a un sólo objetivo, sino que ha de desempeñar distintas funciones, de acuerdo con la directrices del Plan de Acción Territorial-Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR, 2013), que señala que los ecosistemas forestales no son sólo un conjunto de comunidades biológicamente integradas, sino que desempeñan múltiples funciones que proporcionan bienes y servicios de importancia ecológica, social y económica, cruciales para la sostenibilidad de nuestra sociedad.



Fig. 36.- Mas de Galbis. (Fuente: CMA)

Estas funciones de los montes no son excluyentes, y proveen de forma simultánea tanto bienes directos, que generan rentas a sus propietarios, como bienes indirectos o externalidades, que disfruta el conjunto de la sociedad. Estos son, por ejemplo, la recarga de acuíferos, la mitigación del cambio climático, el paisaje o la biodiversidad, entre otros, los bienes que demanda la población sobre los ecosistemas forestales y a los que tiene que dar satisfacción la repoblación forestal.

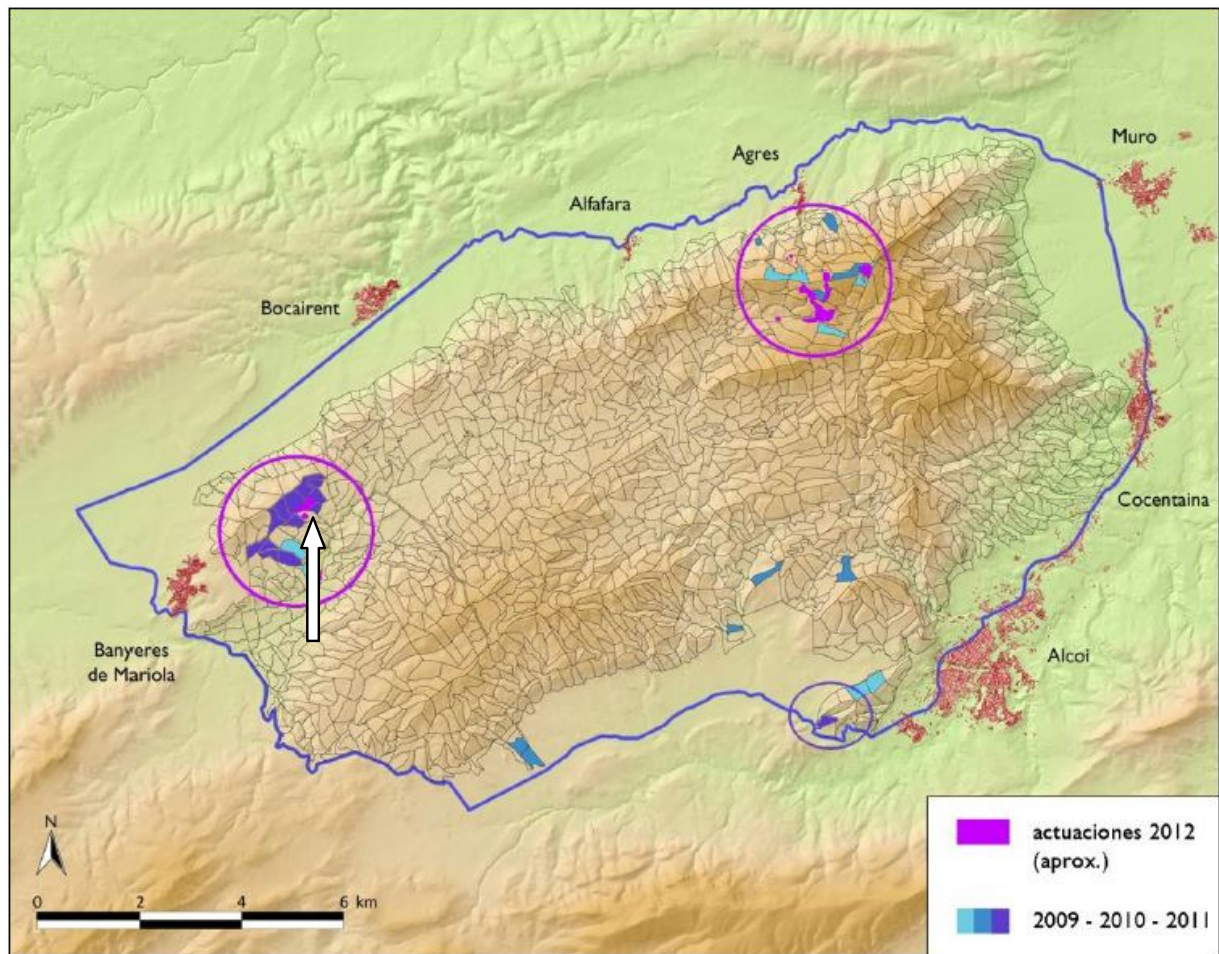


Fig. 37.- Rodal de actuación para la repoblación del caso de estudio. En color violeta, en el límite noroccidental del Parque, englobada como actuación 2012. (Fuente: CMA)

Desde la celebración, en el año 1992, de la Cumbre de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, los conceptos de multifuncionalidad y gestión forestal sostenible quedan unidos y entroncados. A partir de entonces las políticas internacionales, nacionales y regionales hacen hincapié en la búsqueda de una gestión forestal basada en una silvicultura multifuncional que contribuya al desarrollo sostenible.

Se hace necesario la identificación, cuantificación y caracterización de estas externalidades para la creación de mecanismos compensatorios ya que, al no tener un valor de mercado, queda sesgada la gestión forestal sostenible. En este sentido, el Plan de Acción Forestal de la UE (PAFCOM, 2006) enfatiza la necesidad de una correcta cuantificación y valoración de los mismos. Los servicios ambientales, esto es, los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente de los ecosistemas, incluyen tanto los que tienen valor de mercado como los que no lo tienen.

De acuerdo con el PATFOR (2013), existen cuatro categorías de servicios ambientales:

1. Servicios Ambientales de Producción: son los productos, tanto maderables como no maderables, que se obtienen de los ecosistemas forestales (ver figura 38).



Fig. 38.- Robellones (*Lactarius deliciosus* (L.ex.Fr.) S.F. Gray). (Fuente: cazadoresdebolets.wordpress.com)

-
2. Servicios Ambientales de Regulación: son los beneficios obtenidos como consecuencia de la regulación de determinados procesos naturales. Se consideran externalidades o bienes públicos, por lo que no tienen valor de mercado:
- a. Regulación del clima: se producen beneficios al controlar el flujo de precipitaciones, los procesos de desertificación o la mitigación del cambio climático mediante la captura y secuestro del carbono atmosférico.
 - b. Regulación hidrológica: tiene beneficios directos en el control de la erosión, disminución y laminación de avenidas e inundaciones, la recarga de acuíferos o el suministro y depuración del agua.
 - c. Regulación de incendios: consiste en la capacidad de los ecosistemas para mantener una frecuencia, intensidad y consecuencias de los incendios por debajo de unos umbrales ecológicamente sostenibles y socialmente aceptables.



Fig. 39.- Paso vía pecuaria en Banyeres de Mariola. (Fuente: CIDAM)

-
3. Servicios Ambientales Culturales: son los beneficios inmateriales que se obtienen a través del desarrollo cognitivo, la reflexión, el recreo y las experiencias estéticas (ver figuras 40 y 41). Incluyen también beneficios tangibles como el ecoturismo, el uso recreativo del monte, la caza o la pesca.
 4. Servicios de Soporte: los constituyen los procesos ecológicos necesarios para la producción del resto de servicios, como la formación del suelo, el ciclo de nutrientes, la fotosíntesis, la producción de oxígeno o la producción primaria neta.



Fig. 40.- Sierra de Mariola nevada. (Fuente: CIDAM)

Este cambio de paradigma en cuanto al principal interés de la sociedad sobre sus ecosistemas forestales es más evidente en el ámbito mediterráneo, donde las rentabilidades asociadas a los usos extractivos son bastante bajas y, sin embargo, el efecto de las masas forestales como elemento mitigador de algunos riesgos del cambio climático para las poblaciones, como la erosión o las inundaciones, es fácilmente observable.

Como consecuencia de todo este análisis, la decisión de las especies a elegir en el proyecto de repoblación tiene consecuencias en multiplicidad

de aspectos ambientales, por lo que nos enfrentamos a un problema complejo de toma de decisiones que necesita de la aplicación de un método que facilite y objetivice el proceso de decisión. Son muchos los criterios a considerar y las intrincaciones entre los mismos son complejas de analizar a simple vista. Resulta necesaria la cuantificación de la importancia de cada uno de estos servicios ambientales que debe cumplir el ecosistema forestal y la caracterización de las posibles especies forestales a repoblar en cuanto al grado de satisfacción de las expectativas medioambientales para cada uno de los servicios ambientales considerados.

El propio PATFOR (2013) dispone, en el apartado 13.6.3 de Recomendaciones técnicas para las repoblaciones forestales, que la elección de especies se debe realizar mediante técnicas multicriterio, teniendo en cuenta los posibles efectos sobre los diferentes servicios ambientales (la contribución a la biodiversidad, la mejora del paisaje, la conservación del suelo, la mejora cinegética, la atracción turística) y la incidencia del cambio climático sobre el territorio, sin olvidar el propio objetivo de la repoblación.

De igual modo, Pemán García *et al.* (2006) recomiendan en su artículo “Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre” que, una vez elegidos los criterios y realizada la caracterización de las especies según los mismo, se proceda a realizar la evaluación propiamente dicha de las especies, para lo que las técnicas de decisión multicriterio son una válida herramienta para realizar la

optimización. En las páginas siguientes proponemos la aplicación de técnicas multicriterio para la resolución del este intrincado juego de toma de decisión.



Fig. 41.- Sierra de Mariola. (Fuente: senderismoyveg.blogspot.com)

4.- METODOLOGÍA APLICADA

4.- Metodología aplicada

4.1.- Método Delphi

Las especies idóneas para la repoblación forestal en nuestra área de estudio se determinan mediante el método Delphi. El método Delphi es una técnica de investigación social que tiene por objeto la obtención de una opinión grupal fidedigna a partir de un grupo de expertos. Es un método de estructuración de la comunicación entre un grupo de personas que pueden aportar contribuciones valiosas para la resolución de un problema complejo. El método Delphi fue concebido a finales de los años cuarenta con fines militares en el seno del Centro de Investigación estadounidense The Rand Corporation por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon y desarrollado en la década de los sesenta en los ámbitos académicos y empresariales (Dalkey and Helmer 1963). Ha sido empleado principalmente como técnica de previsión y consenso en situaciones de incertidumbre, en las que no es posible acudir a otras técnicas basadas en información objetiva.

Se ha definido como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo (Landeta 1999). Sus características básicas son el mantenimiento del anonimato de los participantes, la retroalimentación o “feedback” controlado y la respuesta estadística de grupo. Todo ello configura un proceso sistemático e iterativo encaminado hacia la obtención de las opiniones, y si es posible del consenso, de un grupo de expertos. Las influencias negativas de los

miembros dominantes del grupo se evitan gracias al anonimato de sus participantes. El “feedback” controlado permite la transmisión de información libre de ruido de fondo o “background” entre los expertos a lo largo de las iteraciones que se dan en el proceso y, por último, la respuesta estadística de grupo garantiza que todas las opiniones individuales sean tomadas en consideración en el resultado final del grupo.

Se basa, pues, en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos a los que se les pregunta en sucesivas rondas su opinión sobre cuestiones relacionadas con el objetivo del estudio, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas normalmente, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Constituye uno de los métodos de mejora de la toma de decisiones más ampliamente utilizado en las más diversas aplicaciones (Garson 2013; Meddour-Sahar *et al.*, 2013).

A continuación se analizan sus principales características:

- Es un proceso iterativo. Los expertos que toman parte en el proceso deben emitir su opinión en más de una ocasión. A través de sucesivas rondas las estimaciones de los participantes suelen tender a convergir, finalizando el proceso en el momento en el que las opiniones se estabilizan. Esta forma de proceder ofrece al experto la posibilidad de reflexionar y, en su caso, reconsiderar su

postura, debido a la aparición de nuevos planteamientos propios o ajenos.

- Anonimato. Implica que ningún miembro del grupo debe conocer las respuestas particulares que corresponden a cada uno de los otros participantes. En un sentido más estricto puede implicar incluso, según las características de la aplicación concreta, que ni siquiera sepan quiénes son los otros expertos componentes del grupo. Esta característica tiene como fin reducir el efecto pernicioso que ejercen para la comunicación efectiva algunos elementos dominantes del grupo. Se busca eliminar algunas de las causas que impulsan la inhibición de los participantes. Para evitar la confrontación directa y guardar el anonimato se recurre principalmente a cuestionarios escritos, aunque también es factible la utilización de comunicación a través de medios electrónicos. En cualquier caso, el control de la comunicación estará siempre en manos del grupo coordinador y no hay nunca interacción directa entre los expertos participantes.
- Retroalimentación o “feedback” controlado. Diversos experimentos han demostrado que los resultados del grupo son superiores a los individuales gracias, fundamentalmente, a la interacción que en ellos se da. El método Delphi mantiene y promueve esa interacción solicitándola, a veces expresamente, en cada ronda y facilitándola antes de la iniciación de la siguiente. Se transmite siempre la posición general del grupo en cada momento del proceso frente al problema analizado y, frecuentemente, aportaciones o sugerencias significativas de algún experto, razonamientos discordantes o

información adicional solicitada por el grupo o aportada por el investigador. Es decir, antes del comienzo de cada ronda, los expertos conocen, por lo menos, los resultados alcanzados en la precedente, a lo cual se le puede añadir la información ya mencionada. El control de la comunicación entre los expertos por parte del grupo coordinador tiene como finalidad evitar la aparición de ruido de fondo, es decir, la transmisión efectiva de información no relevante para el objeto de estudio, redundante o incluso errónea. Además, garantiza la utilización de un lenguaje común y entendible por todos y desvincula las aportaciones de los expertos que originariamente las realizaron, evitando anclajes de opiniones en posiciones iniciales por causas psicológicas y no racionales.

- Se obtiene una respuesta estadística de grupo. La respuesta del grupo viene caracterizada generalmente por la mediana de las respuestas individuales. Aunque se promueva el consenso, éste no es el objetivo último y no tiene por qué alcanzarse necesariamente. El rango intercuartílico de las estimaciones será el indicador del nivel de consenso o de dispersión de las respuestas conseguido. La respuesta estadística de grupo consigue de esta forma tanto garantizar que las aportaciones u opiniones de todos los miembros estén presentes en la respuesta del grupo como reducir la presión hacia la conformidad.

Por tanto, para su empleo es necesario constituir un equipo coordinador del estudio y contar con la colaboración de un grupo apropiado de expertos. El equipo coordinador debe estar formado por un reducido

número de especialistas concedores de la técnica Delphi y de la realidad objeto de estudio, a fin de poder aplicar el método correctamente e interpretar adecuadamente las opiniones y aportaciones del grupo de expertos colaboradores.

El grupo o panel de expertos es el eje central del método, en tanto que son los que proveen la información que, después del correspondiente proceso de iteración, interacción y agregación, se convertirá en la opinión grupal y, por consiguiente, en el output o resultado de la investigación.

Los pasos a llevar a cabo para garantizar la calidad de los resultados son los siguientes:

Fase 1. Formulación del problema:

Se trata de una etapa fundamental en la realización del método Delphi. En un método de expertos, la importancia de definir con precisión el campo de investigación es muy grande por cuanto que es preciso estar muy seguros de que los expertos reclutados y consultados poseen todos la misma noción de este campo. La elaboración del cuestionario debe ser llevada a cabo según ciertas reglas: las preguntas deben de ser precisas, cuantificables (versar por ejemplo sobre probabilidades de realización de hipótesis y/o acontecimientos, la mayoría de las veces sobre datos de realización de acontecimientos) e independientes (la supuesta realización de una de las cuestiones en una fecha determinada no influye sobre la realización de alguna otra cuestión).

Fase 2. Elección de los expertos:

Esta etapa es muy importante por cuanto supone la cuidadosa selección de los expertos participantes en el proceso, que deben poseer conocimientos sobre el tema consultado. Sobre ellos recae la responsabilidad de emitir los juicios que, de forma agregada, constituirán el output de la técnica. Entre los criterios de selección de los expertos se encuentra el nivel de conocimiento sobre el área en cuestión y la eficacia predictiva o eficacia en los pronósticos. Esta última se mide a partir del grado de fiabilidad relativo a las estimaciones anteriores de ese mismo experto, en su confrontación con la realidad y con el nivel de aciertos relativo de una persona media con conocimientos en el campo en el que se desarrolla la actividad predictiva.

La falta de independencia de los expertos puede constituir un inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son recogidas por vía postal o electrónica y de forma anónima; así pues se obtiene la opinión real de cada experto y no la opinión más o menos falseada de un proceso de grupo (se trata de eliminar el efecto de los líderes).

Fase 3. Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios:

Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten, en la medida en que una investigación de estas características lo permite, la respuesta por parte de los consultados. La forma en que se formulan las preguntas tiene

gran repercusión sobre el resultado final. De ahí que sea muy importante confeccionarlas de manera que sean claras y concisas, asegurándose de que son correctamente entendidas y de que no condicionan en absoluto la respuesta. Las preguntas se deben formular de manera que las respuestas resulten aptas para el tratamiento estadístico posterior que dé lugar a una respuesta estadística de grupo. Para alguna de estas alternativas se puede facilitar a los expertos una relación de ítems confeccionada por el grupo coordinador para que la jerarquicen o la valoren, o bien comenzar el proceso con una pregunta abierta, de forma que sean los propios expertos los que proporcionen los ítems sobre los que van a trabajar después, previa clasificación y sumarización de sus aportaciones por el grupo coordinador.

Las respuestas recibidas de los expertos individuales deben ser integradas en una estimación grupal, tanto si es para retroalimentación en las fases intermedias, como si es para presentarla al exterior como el resultado del proceso de grupo llevado a cabo. Por tanto, las respuestas habrán de poder ser cuantificadas y ponderadas (por ejemplo, acerca del valor que alcanzará en el futuro una variable o evento). En ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Sí/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/De acuerdo/Indiferente/En desacuerdo/Muy en desacuerdo) y después se tratan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría. La forma habitual de realizar la integración de los juicios subjetivos individuales vendrá condicionada en gran medida por la forma en la que se soliciten estos juicios

(jerarquización, valoración, comparación, estimaciones cuantitativas y puntuales, intervalos y tripletas de confianza).

El “feedback” o retroalimentación puede tener su origen en la propia información aportada por los expertos, en la información proporcionada por el propio equipo coordinador o bien en la información cuantitativa indicadora de la opinión general del grupo (mediana y cuartiles). El “feedback” es controlado por el grupo coordinador, de modo que es él quien decide qué información y de qué tipo aportar a los expertos. Con esta retroalimentación se consigue mejorar la calidad del producto grupal, de modo que el resultado final sea superior a la suma de las aportaciones individuales ya que pone al servicio de cada uno de los panelistas fuentes de información que estaban antes del comienzo del proceso solamente en el conocimiento de uno o varios miembros del grupo o totalmente nuevas. También se produce una mayor convergencia en las estimaciones individuales de los expertos, al estar construidas sobre una base más similar, y además ayuda a anticipar reacciones de los afectados ante los resultados del estudio y gracias a ello tomar a tiempo las medidas que permitan evitar o controlar tales efectos. Esto sucede cuando el hecho que hay que prever depende en cierta manera de las opiniones y actuaciones generales, donde el fenómeno a predecir y la propia previsión aparecen relacionados.

Fase 4. Desarrollo práctico y explotación de resultados:

El cuestionario es enviado a cierto número de expertos, acompañado de una nota de presentación que precisa las finalidades, el espíritu del método Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato).

El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión de las opiniones, esto es, el espacio intercuartil, cuánto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando de este modo la opinión media consensuada, esto es, la mediana de las respuestas obtenidas.

El objetivo del primer cuestionario es calcular el espacio intercuartil. En el curso de la segunda consulta, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta de preguntas y deben dar una nueva respuesta y sobre todo deben justificarla en el caso de que sea fuertemente divergente respecto al grupo. Cada experto argumentará los pros y los contras de las opiniones de los demás y de la suya propia. Si resulta necesario, en el curso de la tercera consulta se pide a cada experto comentar los argumentos de los que disienten de la mayoría. Con la tercera consulta se espera un todavía mayor acercamiento a un consenso. Un cuarto turno de preguntas permite la respuesta definitiva: opinión consensuada media y dispersión de opiniones (intervalos intercuartiles).

En la mayoría de las ocasiones las respuestas de los panelistas convergen según avanza el proceso (el rango intercuartílico de la última ronda es

menor que el de la primera) y tras unas pocas rondas se alcanza un punto de equilibrio cuasi estático. Sin embargo, algunos trabajos han puesto de manifiesto cómo a partir de un número determinado de interacciones los resultados en lugar de mejorar empeoran (Landeta 1999). Se deben considerar ciertos criterios que permiten determinar con exactitud el número de rondas convenientes para cada caso por razones relativas a tiempo, coste y precisión. Estos criterios son los siguientes:

- El consenso entre las opiniones de los panelistas. Si se estima que el nivel de convergencia no es suficiente se prolonga el proceso esperando que, gracias al “feedback”, se termine alcanzando un consenso razonable. Sin embargo, esta forma de proceder tiene el peligro de ignorar la presencia de corrientes subgrupales de opinión distintas y de forzar demasiado a los expertos hacia la convergencia.
- La estabilidad, que implica la no variación significativa de las opiniones de los expertos en rondas sucesivas, independientemente del grado de convergencia alcanzado. Si hay consenso debe haber estabilidad, pero la existencia de estabilidad no implica que se haya alcanzado el consenso. Se considera que hay estabilidad si se ha alcanzado una convergencia aceptable de las opiniones de un grupo suficiente de expertos. Los métodos para medirla son diversos: la variación del coeficiente de variación de las respuestas (desviación típica dividida entre la media); la variación del recorrido intercuartílico relativo; la variación relativa a la mediana; la comparación de varianzas mediante un contraste F de

Snedecor; test X^2 no paramétrico; proporción de expertos que modifican su estimación; índice de asociación predictiva.

Para conseguir un resultado óptimo es recomendable empezar a analizar los resultados parciales a medida que éstos se obtengan, esto es, al finalizar cada ronda, calculando la tendencia central de éstos a través de la mediana y/o media, así como la dispersión de las respuestas (rango intercuartílico y/o desviación típica). Además, debe de realizarse un proceso interpretativo y analítico que posibilite reconducir el estudio a tiempo en caso de observar cualquier anomalía. La forma de corregir estas desviaciones intermedias es replantear las preguntas, facilitar información o variar los criterios seguidos a la hora de controlar el “feedback”. Tanto en los resultados parciales como en los finales se podrá observar cómo el nivel de convergencia que exhibe el panel en cada iteración varía con cada pregunta, siendo así la pregunta y no el panel la que determinará el número óptimo de rondas para cada problema individual.

El último paso es la comunicación de los resultados a los elementos implicados. El contenido de esta comunicación versará sobre la descripción de la situación en la que se plantea el estudio, los objetivos que se pretenden alcanzar con él, reseña de la metodología, especificación de datos técnicos sobre los participantes, evolución de las opiniones a través de las sucesivas rondas y resultados finales.

4.2.- Método AHP

El método AHP (Proceso Analítico Jerárquico, en inglés) de análisis multicriterio es un método matemático desarrollado por Thomas L. Saaty en los años 70 para la toma de decisiones en problemas complejos en los que puede existir un amplio margen de error al proporcionar los juicios de valor (Saaty 1980). Se ha aplicado para la asignación de recursos, planificación y análisis del impacto de políticas concretas y resolución de conflictos, para la planificación empresarial, selección de carteras y análisis de beneficios/costos con fines de asignación de recursos. De igual modo se ha aplicado a escala internacional, para planificar la infraestructura en países en desarrollo y evaluar los recursos naturales para la inversión.

La elección de una alternativa entre varias propuestas no resulta una decisión sencilla si intervienen diferentes factores a tener en cuenta. Mediante la organización y estructuración del sistema y del complejo marco que lo rodea en un orden jerárquico de sus componentes y la asignación de valores numéricos a los juicios individuales sobre la importancia relativa de cada una de sus variables, se consigue la simplificación y aceleración del proceso general de toma de decisiones, la racionalización en la aportación de juicios intuitivos. El método AHP también evalúa la consistencia de los juicios de valor, de forma que si se demuestra la no consistencia de los mismos se requiere reestructurar la jerarquía o mejorar los mismos.

La resolución de un sistema complejo mediante el análisis lógico propuesto pasa por la aplicación de tres principios: la construcción de jerarquías, el establecimiento de prioridades y la comprobación de la consistencia lógica.

Mediante el primer principio de construcción de jerarquías se descompone el sistema en elementos homogéneos y se subdividen éstos a su vez en otros de inferior rango, de modo que se integran grandes cantidades de información en el análisis pero de forma estructurada, en niveles de jerarquía entre los factores o elementos intervinientes. El nivel superior constituye el objetivo global. Los niveles inferiores pueden contener entre cinco y nueve elementos (Saaty, 2012). Los elementos de cada nivel deben de ser del mismo orden de magnitud, para posibilitar la comparación entre pares de los elementos de un mismo nivel en función de un criterio del nivel superior. Esta estructura jerárquica permite formar grupos dentro del mismo nivel con elementos similares y resuelve con eficacia el proceso de comparar elementos simples con elementos complejos. Tras el establecimiento de la estructura jerárquica, debe ser posible comparar los elementos de un nivel inferior en virtud de alguno de los elementos de un nivel inmediatamente superior.

Según el segundo principio de establecimiento de prioridades se comparan en pares los factores o elementos de cada nivel de la jerarquía de acuerdo con ciertos criterios y se discriminan en función de la preferencia por un factor del par con respecto al otro. Estas relaciones de preferencia representan el impacto relativo que los elementos o factores de un nivel dado ejercen sobre cada elemento o factor del nivel inmediatamente

superior, el cual sirve como criterio de comparación y recibe el nombre de propiedad, siendo el resultado del proceso de discriminación un vector de prioridad o de importancia relativa de los elementos o factores con respecto a cada propiedad (Saaty, 2013). Después de repetir la comparación entre pares para los elementos o factores de cada uno de los niveles (proceso de asignación de prioridades), se pondera cada vector según la prioridad o peso que se le da a cada propiedad (proceso de ponderación para la obtención de prioridades globales). La asignación de prioridades requiere que los criterios y subcriterios, características de las alternativas que se están comparando, sean gradualmente colocadas en la jerarquía, de manera que los elementos de cada nivel sean comparables entre sí, en relación con los elementos del nivel inmediatamente superior. Las prioridades se asignan para los elementos de cada nivel con respecto a cada criterio del nivel superior. Estos, a su vez, se ordenan según prioridades con respecto a los elementos del nivel inmediatamente superior y así sucesivamente. Finalmente tiene lugar un proceso de ponderación para la obtención de las prioridades globales, realizando la asignación de pesos en la jerarquía mediante la ponderación de las prioridades medidas en un nivel con respecto a un criterio del nivel inmediatamente superior, con la prioridad de ese criterio. Las prioridades ponderadas se sumarán entonces para cada elemento del nivel para obtener su prioridad global.

Este procedimiento responde al conocimiento de que las relaciones complejas pueden ser analizadas tomando pares de elementos y relacionándolos entre sí, dado que los problemas complejos tienen muchos factores interrelacionados y el pensamiento lógico tradicional conduce a

interconexiones entre las ideas que no se pueden discernir con facilidad. Por tanto, al hacer comparaciones por pares se combina el pensamiento lógico con la experiencia acompañada de información.

La aplicación del tercer principio del pensamiento analítico, la consistencia lógica, permite valorar la congruencia de las relaciones subjetivas establecidas entre los elementos o factores comparados, de acuerdo a su homogeneidad y relevancia, justificándose así estas apreciaciones de una manera lógica. Por ejemplo, si según un criterio un factor X_1 es juzgado en un orden de magnitud cinco veces mayor que otro factor X_2 y éste a su vez se juzga como dos veces mayor en dicho orden de magnitud que un tercer factor X_3 , entonces el primer factor X_1 resulta ser diez veces superior que el factor X_3 . De no resultar de este modo, el juicio se considera inconsistente y se debería repetir el proceso para la obtención de juicios más precisos.

Con la utilización de estos tres principios, el proceso analítico jerárquico incorpora tanto aspectos cualitativos como cuantitativos del juicio subjetivo; los cualitativos ayudan a definir el problema y estructurar la jerarquía, mientras que los cuantitativos expresan numéricamente estas preferencias. Finalmente, tras la clasificación de los criterios y establecimiento de las prioridades globales para las alternativas, cabe la revisión del proceso y la modificación de los juicios sobre la importancia relativa de los criterios. Además, el método AHP permite la toma de decisiones en grupos, puesto que en muchas ocasiones el conocimiento y experiencia individual no resultan suficientes para la toma de decisiones y es necesaria la

participación y el debate tanto entre los individuos como entre los grupos involucrados.

El primero paso para establecer las prioridades de los criterios es realizar las comparaciones por pares con respecto a un criterio dado. Esto se lleva a cabo mediante matrices, lo que posibilita el posterior análisis de la consistencia. Para el proceso de comparación por pares, se debe comenzar en la parte superior de la jerarquía, seleccionando el criterio que se utilizará para realizar la primera comparación. Se disponen en una matriz los criterios del nivel inmediatamente inferior, de modo que se compare el criterio C_1 de la columna de la izquierda con los criterios de la fila superior (C_1, C_2, \dots, C_x) con respecto a la propiedad P de la esquina superior izquierda, de la forma indicada en la Tabla 6:

P	C_1	C_2	C_x
C_1	1	5		
C_2	1/5	1		
⋮				
C_x				1

Tabla 6.- Matriz de comparación

A continuación se repite el proceso con el criterio C_2 de la columna de la izquierda, y así sucesivamente. En la comparación entre pares se

responde a cuánto de superior se considera el criterio C_1 con respecto al elemento de la fila superior con el que se compara en la medida en que posee, contribuye o satisface la propiedad P.

Para poder llevar a cabo las comparaciones entre pares, se utilizan escalas numéricas para representar la importancia relativa de un criterio sobre el otro, respecto de la propiedad. No obstante, en la realización de encuestas a los expertos es posible transformar esta escala en valoraciones cualitativas que posteriormente en el análisis de los resultados se traducirán a valores numéricos. En la tabla 7 se representa la escala fundamental para comparaciones por pares de Saaty (2012).

Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Igual importancia	Los dos factores contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Importancia Moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente a un factor sobre el otro.
5	Fuerte Importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un factor sobre el otro.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Un factor se ve favorecido muy fuertemente sobre el otro.
9	Extrema importancia	La evidencia a favor de un factor sobre el otro es del mayor orden posible.
1/3 1/5 1/7 1/9	Recíprocos de los anteriores	Si a un factor i se le ha asignado uno de los números distintos de cero mencionados cuando se compara con el factor j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se lo compara con i.

Tabla 7.- Escala fundamental de Saaty para la comparación de pares (Saaty 2012)

En dicha escala se definen y explican los valores del 1 al 9 que se asignan a los juicios de comparación entre pares de los criterios semejantes en cada nivel de una jerarquía con un criterio del nivel inmediatamente superior. Las nueve unidades que define Saaty (1980) reflejan el grado hasta el cual es posible discriminar la intensidad de relaciones entre los criterios. Si la comparación considera el segundo elemento del par menos favorable que el primero, el juicio de valor se corresponderá con una fracción.

Al comparar un criterio de la matriz consigo mismo (C_1 con C_1) el valor reflejado en la casilla correspondiente es siempre la unidad, de modo que la diagonal de la matriz debe completarse siempre con números 1. La matriz se comienza comparando el primer criterio de la columna de la izquierda de la matriz (primer elemento del par) con el criterio de la fila superior (segundo elemento del par) y así sucesivamente, de modo que el valor recíproco será el resultado de la comparación del segundo elemento del par con el primero y será el valor inverso del primero. Así, si el resultado de comparar C_1 con C_2 es 7, el valor inverso, resultante de comparar C_2 (de la primera columna, por debajo de la diagonal de la matriz) con C_1 (de la primera fila) deberá ser $1/7$. Por tanto, sólo será necesario completar los juicios de valor que se encuentran por encima de la diagonal con los números 1 de la matriz, ya que los que se encuentren por debajo serán sus recíprocos. El siguiente paso va a ser obtener las prioridades relativas de los distintos criterios respecto a la propiedad P considerada.

Para obtener las prioridades para un grupo de comparaciones entre pares se debe realizar una ponderación y suma para que nos dé un número único que indique la prioridad de cada elemento, obteniéndose así la matriz normalizada. El cálculo se puede realizar mediante un método de aproximación o bien mediante un método exacto (Saaty, 1980). Para obtener una estimación aproximada de las prioridades relativas se suman primero los valores de cada columna de la matriz para posteriormente dividir cada una de las celdas de cada columna por la suma total de la columna y se obtiene de este modo la matriz normalizada. Esta matriz permite realizar comparaciones significativas entre los elementos. Para finalizar, se promedian las filas sumando los valores de cada fila de la matriz normalizada y este valor se divide entre el número de celdas de cada una. Así se obtienen los porcentajes de las prioridades globales relativas.

En este trabajo se han calculado las prioridades usando el método exacto propuesto por Saaty (1980) o método de la potencia. Este método requiere multiplicar la matriz de los juicios por sí misma un número de veces igual a la potencia k de la matriz. Cuando la matriz es consistente, la potencia de la matriz es igual a una constante igual a n^{k-1} veces la matriz, donde n es la cantidad de criterios que se están comparando. Para obtener las prioridades de la matriz, se suman los valores en cada fila y se divide cada uno de los resultados por su suma total, para obtener la matriz normalizada. Sin embargo, éste es el caso ideal. En la realidad la matriz adolecerá de un cierto grado de inconsistencia, ya que no podemos

obtener el máximo grado de precisión en la evaluación de los criterios por la mente humana.

Si presuponemos que la matriz puede ser no ser consistente, se eleva a las potencias y para cada matriz se suman las filas y se divide entre su total, lo que proporciona un conjunto infinito de prioridades para cada criterio. Para obtener una única prioridad, se promedian todas ellas. Aplicamos, pues, el método del eigenvector o principal vector propio de la matriz original, cuyos valores indican el peso de cada una de las opciones consideradas en el objetivo final. En la práctica este vector se calcula elevando la matriz a una potencia suficientemente elevada, sumando posteriormente sus filas y normalizando el resultado.

Cuando la matriz es consistente, la suma normalizada de cada fila indica en qué medida cada criterio domina a los otros en términos relativos. La suma de las celdas de cada columna indica cuánto es dominado cada criterio por los demás. Los dos deben ser recíprocos uno del otro, de manera que el producto de los valores correspondientes sea igual a uno. Cuando los juicios son perfectamente consistentes, los valores obtenidos a partir del método aproximado y del método exacto coinciden. Si la consistencia es casi perfecta, estos valores son muy próximos.

Por lo explicado anteriormente se deduce que la cualidad de consistente o no de una matriz es un parámetro indispensable para la fiabilidad del método. Cuando una matriz es consistente, los criterios de cualquier columna, normalizados, dan las mismas prioridades que se obtienen

cuando se normaliza la suma de las filas. Se requiere, por tanto, una forma de medir la consistencia de una matriz, que se conoce como método del autovalor principal $\lambda_{\text{máx}}$ (lambda máximo), que se utiliza para calcular el grado de coherencia que han tenido los evaluadores al emitir sus juicios de valor, como ya se ha explicado en el apartado anterior. Esto es necesario para rediseñar la jerarquía, reconsiderar los juicios o repetir el proceso en caso de que no exista un grado suficiente de consistencia. Para obtener este valor, se debe primero aplicar el método del eigenvector tal y como se indica en las líneas siguientes.

Primero se suman los elementos de cada columna y se multiplica cada valor por el correspondiente normalizado de la suma de las filas. Luego se suman los resultados obtenidos para todas las columnas. Puesto que las sumas de las columnas y las sumas de las filas normalizadas son recíprocas, su producto es igual a uno y la suma de n de estos productos da un total de n . Si los juicios son inconsistentes, este valor, $\lambda_{\text{máx}}$, será mayor que n y nos da una medida del grado de inconsistencia cuanto mayor sea la diferencia. Se divide la diferencia de este valor a partir de n por la inconsistencia correspondiente a partir de juicios aleatorios y se exige que no exceda del 10% (Saaty, 1980) para matrices de orden 5 o superior, mientras que el límite es el 9% para matrices de orden 4 y del 5% para matrices de orden 3 o inferior.

Si se repite el proceso se obtienen vectores de prioridad más exactos cuanto más se eleve la matriz a grandes potencias. Sucesivamente se suman las filas resultantes de la matriz y se normalizan. El proceso

concluye cuando el vector normalizado de la potencia anterior se encuentra dentro de una precisión matemática prescrita al elevar a la potencia siguiente. Mediante este proceso se obtiene el eigenvector o autovector principal de la matriz.

Para obtener el autovalor principal $\lambda_{\text{máx}}$, se suma cada columna, se obtienen n números, multiplicando cada uno por su prioridad correspondiente, que es la prioridad dada en el eigenvector, y se suman los resultados. El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la proporción de consistencia, valor que debe de ser igual o menor al 10% para una matriz de 5×5 . Si es superior a este valor, indica que los juicios pueden ser aleatorios y se debería corregir. Podemos mejorar la consistencia anotando el juicio que se encuentra más próximo al coeficiente derivado de las prioridades que se intentan estimar, o multiplicando por el recíproco de esta relación y anotando su proximidad a la unidad. El juicio de valor que proporciona un resultado más amplio debe reducirse para mejorar la consistencia. Otra forma de mejorar la consistencia cuando no se considera satisfactoria es clasificar los criterios mediante un orden simple basado en las ponderaciones obtenidas la primera vez que se analizó el problema y desarrollar una segunda matriz de comparación por pares, teniendo en cuenta el conocimiento de la categorización previa. En general se debe mejorar la consistencia.

El método requiere un cierto grado de consistencia en la fijación de prioridades en los criterios para la obtención de resultados válidos, pero

mientras ésta sea suficiente para mantener la cohesión entre estos, no es necesario que ésta sea perfecta, sino tolerable.

El índice de consistencia (CI) se calcula mediante la fórmula siguiente,

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

donde n es el orden de la matriz. Los valores de las inconsistencias aleatorias medias para matrices de diferente orden se muestran en la tabla 8, calculada para juicios numéricos tomados de forma aleatoria de la escala fundamental de Saaty de 9 grados y mediante la utilización de una matriz recíproca.

La proporción o razón de consistencia (CR) es el número de la ecuación anterior partido por el índice de consistencia aleatorio (RCI) calculado por Saaty (2008), que se basa en el número de criterios evaluados, como se indica en la Tabla 8.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tabla 8.- Tabla del RCI (Saaty y Peniwati 2008)

El valor máximo que puede tomar CR para una matriz de orden n = 3 es de 5%, para n = 4 de 9% y del 10% para valores de n superiores. Los resultados de inconsistencia no admisibles suponen la revisión de los juicios de valor emitidos por los expertos y su mejora.

Recapitulando todo lo expuesto en los apartados anteriores, podemos definir un esquema de pasos de la metodología a seguir. Este esquema permite la repetición de los pasos que se consideren necesarios para llegar a una definición del problema lo más acertada posible. Los pasos explicados son los siguientes:

1. Definición del problema y del objetivo a alcanzar en su solución.
2. Definición de la estructura jerárquica en cada uno de sus niveles.
3. Construcción de las matrices de comparaciones por pares para identificar la contribución o impacto que cada criterio ejerce sobre el criterio del nivel inmediato superior. Se comparan los criterios de un mismo nivel con respecto su contribución a cada uno de los criterios del nivel superior. Para definir la contribución o impacto de cada criterio se utiliza la escala fundamental de Saaty (ver tabla 7).
4. Obtención de los juicios de valor de los expertos para las matrices de comparaciones del paso anterior. Para promediar los juicios de varios expertos, se utiliza la media geométrica.
5. Obtención de los vectores de prioridades mediante el método del eigenvector. Obtención de las prioridades globales.
6. Evaluación de la consistencia mediante el método del autovalor. Si el valor de la consistencia resulta ser superior al 10%, es preciso realizar revisión de las preguntas a los expertos para la comparación por pares o bien reestructurar la jerarquía, con lo que se volvería a empezar desde el punto 2.

5.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ESPECIES

5.- Aplicación de la metodología para la selección de especies

El sistema de apoyo a la toma de decisiones que aquí se propone para la selección de especies combina un modelo Delphi-AHP y proporciona un acercamiento sistemático a la evaluación multicriterio y a los problemas de multiplicidad de especies como alternativas.

Las especies adecuadas para una repoblación forestal se determinan mediante el método Delphi. Como ejemplo de aplicación en el ámbito forestal, Marques *et al.* (2013) utilizaron el método Delphi en un estudio dirigido a identificar las recomendaciones empíricas que ayudan a los desarrolladores y usuarios de los sistemas de apoyo a la toma de decisiones en cuanto a la gestión forestal (sus siglas en inglés, FMDSS). En nuestro caso se les proporciona a los expertos una lista previa de posibles especies idóneas de acuerdo con la zona bioclimática (Gómez-Aparicio *et al.* 2011), versatilidad fitoclimática (García-López y Allué-Camacho 2008), ecofisiología (Cabrera 2002), variables fisiográficas (Boucher *et al.* 2014; Zavala *et al.* 2011) y condiciones del rodal tales como características del suelo, orientación y altitud (Urli *et al.* 2014) (ver tabla 9).

Para cada una de las especies enumeradas a continuación, puntúe su pertinencia del 1 al 10 para llevar a cabo una repoblación con objetivo de conservación en la Sierra de Mariola. En caso de no considerarla apta, déjese en blanco.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Acer opalus</i> Mill. subsp. <i>granatense</i> (Boiss.) Font Quer & Rothm. (arce, rotaboc)										
<i>Arbutus unedo</i> L. (madroño, arboç, alborçó, llipoter)										
<i>Carex pendula</i> Huds. (espadaña)										
<i>Celtis australis</i> L. (almez, latonero, lodón, lledoner)										
<i>Ceratonia siliqua</i> L. (algarrobo, garrofer, garrover)										
<i>Chamaerops humilis</i> L. (palmito, margalló)										
<i>Colutea brevislata</i> Lange. (petadera, espantalobos)										
<i>Crataegus azarolus</i> L. (acerolo, azarollo, soroller)										
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq. (espino albar, cirerer de pastor)										
<i>Daphne oleoides</i> L. subsp. <i>hispanica</i> (torvisco de montaña)										
<i>Dictamnus hispanicus</i> Webb ex Willk. (fresnillo, anís estrellado, gitam, herbero, timó real)										
<i>Epipactis kleinii</i> M.B.Crespo, M.R.Lowe & Piera (orquídea)										
<i>Fraxinus ornus</i> L. (fresno de flor, fleix valencià, freixe de flor)										
<i>Fritillaria hispanica</i> Boiss. (tablero de damas)										
<i>Juniperus oxycedrus</i> L. subsp. <i>oxycedrus</i> (enebro, càdec, ginebre)										
<i>Leucanthemum gracilicaule</i> (Dufour) Pau (margarita, margarida de runar, margarida fina)										
<i>Lonicera etrusca</i> Santi. (madreselva, lligabosc etrusc)										
<i>Mespilus germanica</i> L. (níspero, nesprer)										
<i>Olea europaea</i> Brot. (acebuche, oastre, rabell, ullastre)										
<i>Orchis purpurea</i> Huds. (orquídea de dama)										
<i>Phyllitis scolopendrium</i> Hill. (lengua de ciervo)										
<i>Pinus halepensis</i> Miller (pino carrasco, pi blanc)										
<i>Pinus pinaster</i> Aiton (pino marítimo, pino resinero, pino rodeno, pi pinastre)										
<i>Pinus pinea</i> L. (pino piñonero, pi ver)										
<i>Pistacia lentiscus</i> L. (lentisco, llentiscle, mata)										
<i>Pistacia terebinthus</i> L. (cornicabra, terebinto, garrofer bord, llampuga, noguereta)										
<i>Prunus spinosa</i> L. (endriño, ciruelo silvestre, pruneller, prunyoner, aranyó)										
<i>Quercus coccifera</i> L. (coscoja, garric)										
<i>Quercus faginea</i> Lam. subsp. <i>faginea</i> (quejigo, rebollo, roure valencià)										
<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp. (carrasca)										
<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>ilex</i> (encina)										
<i>Rhamnus alaternus</i> L. (aladierno, llampedrell, llampúgol)										
<i>Rhamnus lycioides</i> L. subsp. <i>lycioides</i> (espino negro, escambrón, arçot)										
<i>Scabiosa turoloensis</i> Pau (escabiosa)										
<i>Sorbus aria</i> L. Crantz. (serbal morisco, mostajo, moixera, pomera borda)										
<i>Taxus baccata</i> L. (tejo, teix)										
<i>Ulmus minor</i> Mill. (olmo, almudella, rugat)										
<i>Viburnum tinus</i> L. (durillo, duraznillo, llorer bord, oriola, marfull, santjoanera)										
<i>Zizyphus jujuba</i> Miller (azufaífo, ginjoler)										

¿Considera Ud. que se debería incluir alguna otra especie que no ha aparecido en el listado? En caso afirmativo, indique de cuál se trata y la puntuación que le otorga.

Tabla 9.- Lista de especies proporcionada a los expertos

Se identificaron en este paso las mejores alternativas, teniendo en cuenta el objetivo de la repoblación forestal, esto es, conservación de la biodiversidad. Orsi *et al.* (2011) llevaron a cabo un proceso similar mediante el método Delphi dirigido a definir los criterios ecológicos clave y los indicadores a considerar cuando el principal objetivo de la restauración es la conservación de la biodiversidad. En esta etapa, el método Delphi proporciona un apoyo muy importante para lograr el consenso entre los expertos.

Como se ha indicado en apartados anteriores, el método Delphi se basa en encuestas realizadas a expertos, estructuradas en varias rondas en las que la segunda y posteriores rondas se les proporciona a los expertos los resultados de la ronda anterior, a modo de feedback o retroalimentación. El objetivo de este método es obtener el consenso de opiniones más fiable de un grupo de expertos (Garson 2013). Como resultado del procedimiento, los juicios emitidos por el panel de expertos se refinan (Meddour-Sahar *et al.* 2013). Así pues, las principales características del método Delphi son la iteración, el feedback o retro alimentación y la anonimidad de las respuestas.

La composición del grupo de expertos incluye personal del parque natural, empleados públicos, organizaciones medioambientales e investigadores forestales. Se les proporciona una lista de treinta y nueve especies, las cuales deben de ser evaluadas de acuerdo con una escala numérica de acuerdo con su idoneidad a las características ambientales de la zona. Se les ofrece la posibilidad de incluir alguna especie o subespecie que no esté

en el listado y que a su juicio tendría mayor grado de idoneidad. Se repite la encuesta de nuevo, añadiendo los resultados de la primera vez, de forma anónima, para comprobar si quieren modificar sus respuestas en función de los resultados de la primera encuesta. Tras dos iteraciones, se les indica que elijan con qué número de especies se quedarían para realizar la repoblación. Al final del proceso, las especies seleccionadas han sido las siguientes (ver tabla 10):

Especies seleccionadas para la repoblación

Quercus ilex
Quercus faginea
Fraxinus ornus
Prunus spinosa
Sorbus aria
Crataegus monogyna

Tabla 10.- Especies seleccionadas tras la fase Delphi

Una vez que se han determinado las seis especies más idóneas, se han de comparar en pares para cada uno de los criterios seleccionados a tener en cuenta en la repoblación, lo que al final se traducirá en valores numéricos y permitirá asignar un valor de idoneidad o preferencia para cada especie. Es ahora cuando se aplica el método AHP, que se utiliza para la evaluación de criterios de acuerdo con el objetivo de la repoblación forestal, que es la conservación de la biodiversidad, teniendo en cuenta no sólo los aspectos tradicionales económicos y medioambientales (Martin-Utrillas 2014a), sino también los factores relacionados con el cambio climático (Bhave *et al.* 2014).

La metodología AHP proporciona un marco a través del cual estas especies seleccionadas pueden ser priorizadas asignando un valor

específico a los diferentes criterios y evaluando éstos para cada especie propuesta (Saaty 2008). Este método permite a los tomadores de decisión obtener juicios en relación a las especies y los criterios sobre los que se evalúan las especies. Es más, hay criterios no conmensurables que deberían ser considerados simultáneamente para tomar una decisión lo más acertada posible (Canto-Perello *et al.* 2013; Curiel-Esparza y Canto-Perello 2013). Dado un conjunto de especies a priorizar, el objetivo de esta segunda etapa en la planificación de una repoblación forestal es la medida de su importancia relativa y un índice que denote la consistencia de los tomadores de decisiones al establecer las prioridades.

El proceso AHP de desarrolla empleando una estructura jerárquica a tres niveles: criterios, subcriterios y la alternativa de especies. Los criterios y subcriterios van a representar los aspectos económicos, servicios medioambientales y efectos del cambio climático en la biodiversidad forestal a los que se ha hecho referencia en apartados anteriores. Representan en muchas ocasiones posibles efectos que se espera que tengan lugar sobre la vegetación y que podrían no ser conducidos adecuadamente según los enfoques tradicionales dirigidos a la conservación de especies (Shoo *et al.* 2013).

6.- DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA JERÁRQUICA

6.- Definición de la estructura jerárquica

Los criterios y subcriterios se han elegido teniendo en cuenta recomendaciones y guías de actuación procedentes de los siguientes organismos:

- Climate Change Guidelines for Forest Managers (FAO 2013)
- Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC 2014 a y b)
- Conferencias Ministeriales sobre protección de los bosques en Europa (MCPFE 2011, 2007, 2002)
- Marco Estratégico para Bosques y Cambio Climático propuesto por the Collaborative Partnership on Forests (CPF 2008)
- Guía para Aforestación y Reforestación para la mitigación del Cambio Climático de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC 2004)

Igualmente se han seguido las orientaciones proporcionadas por Pemán García *et al.* (2006) en su artículo “Elección de especies en las repoblaciones forestales. Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre” en el cual, siguiendo un proceso también de tres etapas para la elección de especies, se establecen una serie de criterios prioritarios a tener en cuenta para la evaluación de alternativas previamente identificadas de acuerdo con las características ecológicas del rodal a repoblar. Los criterios expuestos por los autores se analizaron en el apartado 2.- *Selección de Especies* de la presente tesis doctoral. En el apartado 3.- *Caso de estudio* se exponen los criterios que determinan tanto el PORN como el PRUG del

parque Serra de Mariola para la gestión del mismo y los criterios que han de definir las repoblaciones que en él se lleven a cabo.

A la hora de definir los criterios para llevar a cabo la repoblación y como resultado del trabajo del panel de expertos, se han obtenido tres grandes grupos: el primer criterio hace referencia al efecto que producen los bosques multifuncionales sobre varios servicios ambientales (EES); el segundo criterio está relacionado con la importancia económica del bosque (EIM) en mercados conocidos; el tercer criterio establece una conexión entre el impacto del cambio climático (ICC) sobre el ecosistema forestal (García-López y Allué-Camacho 2010).

Así pues, hay tres grupos en el modelo jerárquico; el primero considera el efecto sobre varios servicios medioambientales, el segundo incluye varios factores económicos y el tercero tiene en cuenta el impacto del cambio climático en el bosque. Para cada criterio y subcriterio se deberán evaluar las especies con el fin de obtener un porcentaje total de preferencia de las mismas. La metodología AHP se requiere para evaluar estos criterios para asignar un valor específico a cada factor y evaluar la importancia relativa de las especies en términos de cada factor.

A continuación se describe la estructura jerárquica del modelo, indicando los subcriterios se incluyen dentro de cada uno de los grandes grupos o criterios principales:

Primer criterio: Efecto sobre los Servicios Ambientales (EES)

Para el primer criterio, el efecto sobre varios servicios ambientales, los subcriterios son:

Contribución a la biodiversidad (CB): hace referencia a la característica de un tipo de vegetación único, que no se puede encontrar en otros lugares o bajo diferentes condiciones (Cram *et al.* 2006). Ruiz-Benito *et al.* (2013) aseguran que la diferencia en riqueza varietal entre las plantaciones forestales en comparación con los ecosistemas naturales podría verse reducida a través de la aplicación de opciones de gestión adecuadas y que es factible una restauración que conduzca hacia condiciones más naturales. En este apartado se consideran conceptos tales como especies autóctonas, gregarias, riqueza específica y nivel de madurez. Este subcriterio es expuesto en varias ocasiones tanto en el PORN como en el PRUG del parque de Serra de Mariola.

Mejora del paisaje (LE): MCPFE (2002) propone como indicador la mejora del patrón espacial de la cubierta forestal a nivel de paisaje. Se pueden incluir en este concepto la heterogeneidad cromática, la altura media del estrato superior y los patrones de distribución de rodales (Gomontean *et al.* 2008). La gestión del bosque hacia un mayor aspecto natural y no antropizado puede mejorar el paisaje (Lupp *et al.* 2013). Por otra parte, Moreno *et al.* (2011) advierten que variables paisajísticas tales como el tipo de cubierta del terreno, las distancias a las carreteras y a las poblaciones, el aspecto de la masa o la elevación del estrato arbóreo podrían tener influencia sobre el riesgo de

incendios. De acuerdo con esto, Salehi *et al.* (2012) desarrollaron una metodología para detectar niveles de fragmentación en paisajes forestales. De igual modo, el art.2 del PRUG de la Serra de Mariola hace referencia expresa a este criterio, como ya se ha señalado en el apartado 3.- *Caso de estudio* de la presente tesis doctoral.

Atractivo turístico (TA): puede definirse aquí como la respuesta de la sociedad a las condiciones medioambientales (Roura-Pascual *et al.* 2009), lo que incluye la aceptación social de las especies. MCPFE (2002) define como un indicador la accesibilidad para el recreo de las zonas donde el público tiene un derecho de acceso con fines recreacionales, así como la indicación de intensidad de uso de las mismas. Por otro lado, Edwards *et al.* (2012b) lleva a cabo una encuesta sobre las preferencias del público acerca de los bosques como lugares para uso de recreo y define el “valor de recreo o recreacional” de un bosque en términos de preferencia de aquellas personas que utilizan los bosques como lugares de recreo regularmente.

Mejora de la fauna (WI): hace referencia a la mejora de las condiciones para el establecimiento de las especies de fauna en el área (MCPFE 2002). Ezebilo (2012) examina la participación de grupos de presión en el sector forestal en la mejora del hábitat de vida salvaje mediante el diseño de una estrategia de gestión forestal más adecuada, que integrase a la fauna. Otros trabajos evalúan los efectos de la gestión forestal en la fauna (Nielsen y Treue 2012). Es más, la Estrategia

Forestal Europea (EUCOM 2013) requiere que se tengan en cuenta el mantenimiento de otras funciones socio-económicas y condiciones del bosque. También considera como un papel esencial del bosque el salvaguardar los hábitats naturales y sus funciones ecológicas. El Plan de Ordenación Integral de la Serra de Mariola establece como uno de sus objetivos la mejora de la fauna.

Segundo criterio: Importancia Económica del Bosque (EIM)

En el segundo criterio, esto es, la importancia económica del bosque, los subcriterios tienen en cuenta no sólo factores generales que se mencionan en cualquier proyecto de repoblación forestal, sino también aquellos relacionados con el valor económico significativo procedente de los múltiples beneficios que produce la biodiversidad, lo que raramente se refleja en los mercados, de acuerdo con la Estrategia Europea de la Biodiversidad para el 2020 (EUCOM 2011). En el mismo contexto, las recomendaciones generales para los proyectos de forestación y reforestación que proporciona la Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa (MCPFE 2007) animan a los gobiernos a contribuir al mantenimiento o mejora de la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas forestales. Los subcriterios son los siguientes:

Coste inicial o de establecimiento (IC): incluye partidas tales como el coste de preparación del suelo, el coste de plantación, el aclareo de la vegetación y otros factores socio-económicos (Barajas-Guzmán y

Barradas 2013). También incluye el coste de reposición de plantas muertas. Se tienen en cuenta los incentivos gubernamentales o estatales, los subsidios o cualquier compensación económica (Zhou *et al.* 2007).

Tratamientos selvícolas (ST): incluye el número y coste de posteriores intervenciones selvícolas, tales como clareo y regímenes de cosecha (Edwards *et al.* 2012a). Estos tratamientos selvícolas tienen un efecto positivo sobre la supervivencia y el crecimiento de las plántulas (Navarro Cerrillo *et al.* 2011). Las operaciones selvícolas pueden tener efectos tanto positivos como negativos sobre la biodiversidad y la protección de los recursos hídricos sin alcanzar un alto coste (Koprowski *et al.* 2012). Por ello, es importante anticipar los efectos a largo plazo de los tratamientos selvícolas para desarrollar una adecuada gestión forestal.

Beneficio económico (ER): hace referencia a la valoración tanto de servicios de mercado como de los que no se pueden encontrar en mercados conocidos, incluyendo aquí las externalidades medioambientales (Mendoza y Martins 2006) ya que los bosques proporcionan importantes servicios al ecosistema, los cuales satisfacen necesidades sociales. En este sentido, Ojea *et al.* (2012) evalúa el beneficio económico entre un bosque sostenible y otro que no lo es, analizando las tendencias a largo plazo, lo que tiene como resultado que los bosques con una gestión sostenible proporcionan mayores beneficios económicos. Por otro lado, Xu *et al.* (2013) estiman los

beneficios del almacenamiento de carbono para la reforestación y la forestación.

Tercer criterio: Impacto del Cambio Climático (ICC)

En el tercer criterio, el impacto del cambio climático en el bosque, se incluyen algunos subcriterios que aumentan la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales como resultado del cambio climático. Este sería el caso, por ejemplo, de la disminución de la fertilidad del suelo, de la disponibilidad hídrica y del riesgo en aumento de los incendios forestales, especialmente en las regiones Mediterráneas (Schröter *et al.* 2005). Es más, debido al aumento de las temperaturas y de los veranos cada vez más secos y calurosos, se prevé que los incendios forestales se incrementen en frecuencia, intensidad y severidad.

Otros efectos del cambio climático tales como sequías, mortalidad de los pies, pérdida de biodiversidad y estrés de la vegetación producen un aumento de la carga combustible, aparición de plagas y la expansión de especies invasoras (Voggeser *et al.* 2013). La vegetación puede adaptarse a los cambios climáticos futuros a través de su plasticidad fenotípica (Garzón *et al.* 2011) y la potencial distribución de especies bajo condiciones climáticas específicas (Gómez-Aparicio *et al.* 2011) juega un papel importante en el proceso de selección de especies.

Otros atributos específicos, tales como la resistencia ecológica (capacidad para mantener la integridad bajo estrés) y la resiliencia (capacidad para restablecerse después de la perturbación) pueden atemperar los efectos del cambio climático (Prober *et al.* 2012). Los efectos de la alteración del clima se dan sobre las condiciones medioambientales y los procesos ecológicos, mientras que determinados atributos de las especies, tales como la resistencia ecológica y la resiliencia, pueden modificar sus respuestas a estos cambios medioambientales. Las respuestas de los individuos dependen de atributos tales como la tolerancia fisiológica a las temperaturas extremas y a la sequía, al dióxido de carbono y de las respuestas a los incendios forestales, así como la plasticidad fenotípica de las especies. Las regiones de clima Mediterráneo pueden considerarse puntos clave de gran biodiversidad a nivel global. El fuego forestal influye fundamentalmente sobre la estructura de la comunidad y su composición. Sin embargo, los impactos producidos por los efectos del fuego sobre la dinámica vegetal pueden atemperarse por atributos como la resistencia y resiliencia de los bosques al fuego.

Por otro lado, la captura de las escasas precipitaciones acontecidas en los ecosistemas semi-áridos depende de la infiltración del agua en el suelo, la cual depende a su vez, entre otros factores, de la compactación del mismo. La identificación de atributos de respuesta individual de las especies a la sequía ofrece un nuevo acercamiento en la planificación de la adaptación climática de las especies, lo que subraya las fortalezas y debilidades de los sistemas naturales para atemperar los efectos del cambio climático (Prober

et al. 2012) Por todo lo anterior, se han tenido en cuenta los siguientes subcriterios:

Respuesta al estrés hídrico (WR): En la cuenca mediterránea, el estrés hídrico es considerado como el factor más limitante para la reconstrucción de un ecosistema y el principal factor de degradación del bosque (Sánchez-Salguero *et al.* 2012). Las especies arbóreas pueden diferir en sus respuestas a la disponibilidad de agua durante la fase de establecimiento (Urbietta *et al.* 2008). Los efectos pronosticados del cambio climático son el aumento de la temperatura global, la disminución de la precipitación media y la concentración de la misma en eventos de extrema intensidad. Linares *et al.* 2011 estudiaron la capacidad adaptativa a la sequía y la vulnerabilidad regional al cambio climático en los bosques mediterráneos. Es más, las plántulas recientemente establecidas pueden ser particularmente sensibles al estrés hídrico, ya que aún no han desarrollado un sistema radicular capaz de reemplazar la pérdida de agua a través de la transpiración (Espelta *et al.* 2003). Además, el mejor o peor drenaje del suelo podría afectar a la respuesta de las plántulas (Amiri *et al.* 2013). Las especies con una estrategia de ahorro de agua, tales como *Q.ilex* o *Q.coccifera*, podrían ser eficaces en períodos de sequía prolongada con algún período intercalado de precipitación, mientras que las especies con una estrategia de consumo de agua pueden ser también eficaces en períodos de aridez extrema con precipitaciones irregulares (Pemán García *et al.* 2006). Además, el drenaje del suelo puede afectar a la respuesta de las plántulas (Amiri *et al.* 2013).

Tolerancia a la insolación (SU): Las especies vegetales toleran y requieren una cantidad específica y un período de radiación solar en un estadio temprano del crecimiento para desarrollar un adecuado crecimiento (Pemán-García *et al.* 2006). Sánchez-Gómez *et al.* (2006) estudiaron la supervivencia de plántulas de diferentes especies bajo gradientes experimentales de irradiación y de disponibilidad hídrica. Además, bajo condiciones de insolación, la evaporación y la transpiración aumentan y se retiene menos cantidad de agua en el suelo (Kaya y Kahraman 2011).

Conservación del suelo (SC): La repoblación forestal contribuye a la prevención de la erosión del suelo ya que los árboles interceptan la lluvia y disminuyen el impacto de las gotas de agua sobre el suelo, lo que se conoce como “función paraguas”. Además, la “función de anclaje” del suelo que tienen las raíces previene el lavado del suelo (Kaya y Kahraman 2011). Como resultado de todo esto, estas funciones contribuyen a la prevención de la erosión del suelo. Se deben tener aquí también en cuenta conceptos tales como erosión, granulación del suelo, evolución del suelo, textura del suelo, profundidad, fertilidad, grupos hidrológicos del suelo, drenaje del suelo, geohidrología (Amiri *et al.* 2013). A veces, los incendios forestales pueden afectar a propiedades del suelo tales como la estabilidad de los agregados, el contenido en materia orgánica, la microbiología y mineralogía del suelo (Mataix-Solera *et al.* 2011). Selkimaki *et al.* (2012) analiza las características de los suelos que se encuentran

relacionadas con la erosión superficial, asociadas a condiciones climáticas, composición de las especies arbóreas y estructura del rodal.

Respuesta a los incendios forestales (FR): Algunas especies no-serotoninas, como el *Pinus nigra*, tienen una regeneración post-incendio muy baja (Espelta *et al.* 2003), lo que se ha de tener en cuenta en el proceso de evaluación de las mejores alternativas. Es más, la importancia del fuego en la estimulación del crecimiento de la población de algunas especies serotoninas (*Acacia* sp., *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*) y su efecto sobre la estimulación de la germinación de las semillas almacenadas en el suelo son factores también a tener en cuenta en el proceso de evaluación (Roura Pascual *et al.* 2009). González y Pukkala (2007) analizan las interrelaciones entre características del bosque tales como la composición específica y la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.

Riesgo de plagas y enfermedades (PR): Los agentes nocivos bióticos y abióticos constituyen perturbaciones forestales, especialmente en vegetación con una baja tasa de crecimiento, ciclo de vida largo y períodos reproductivos largos (Cram *et al.* 2006). Además, los efectos de la gestión sobre los sistemas naturales pueden no ser inmediatamente visibles y puede transcurrir un intervalo de tiempo considerable antes de que resulten claros los efectos de las perturbaciones humanas a largo plazo (Reilly y Elder 2014). Por ello, éste es un factor clave para ser considerado en la evaluación de las especies aptas para una repoblación forestal. Tamburini *et al.* (2013)

estudiaron los efectos del cambio climático sobre los estallidos de plagas forestales y la dinámica de las poblaciones.

En la figura 42 se representan los criterios y subcriterios de acuerdo con la estructura de niveles jerárquicos necesaria para aplicar el método AHP:

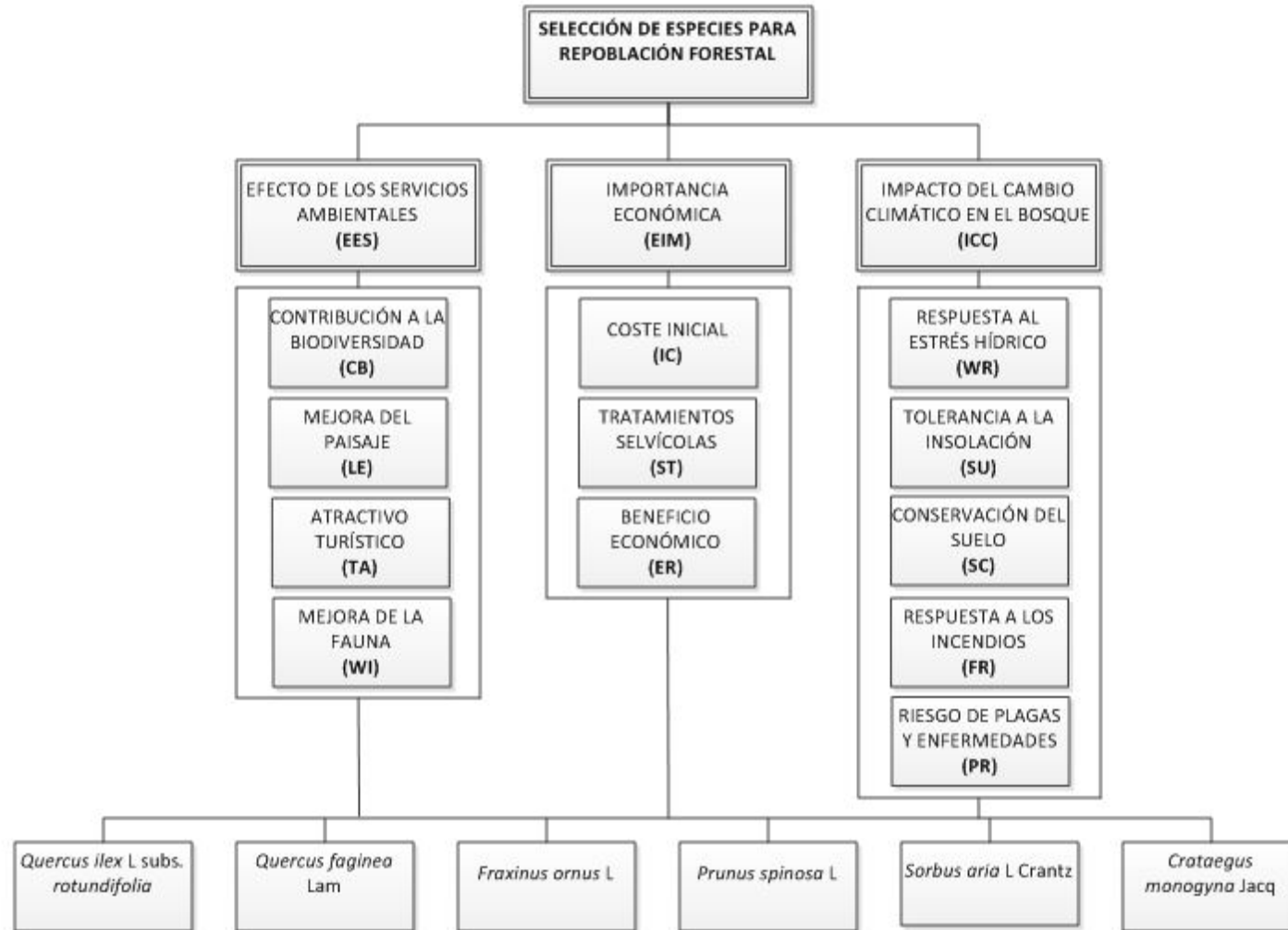


Fig. 42.- Árbol jerárquico o estructura jerárquica del modelo AHP

7.- CONSTRUCCIÓN DE LAS MATRICES DE COMPARACIÓN POR PARES

7.- Construcción de las matrices de comparación por pares

Como hemos visto, son tres los grandes grupos de criterios en el modelo jerárquico, que a su vez incluyen varios subcriterios en cada uno de ellos: el primero considera el efecto sobre varios servicios medioambientales (EES), el segundo incluye varios factores económicos (EIM) y el tercero tiene en cuenta el impacto del cambio climático en el bosque (ICC). La metodología AHP se requiere para evaluar estos criterios y asignar un valor específico o porcentaje a cada uno de ellos y evaluar así la importancia relativa de las especies en términos de cada criterio. Como resultado final, para cada criterio y subcriterio se clasificarán las especies y así se obtendrá un porcentaje total de preferencia de las mismas.

Una vez que se ha establecido la jerarquía, deben de ser evaluados los criterios en pares para determinar la importancia relativa entre ellos y su peso relativo respecto del objetivo global (Vargas 2010). El proceso tiene lugar en tres etapas. En la primera etapa se envía a los expertos un cuestionario donde se comparan en pares los tres criterios para una repoblación forestal cuyo objetivo es la conservación de la biodiversidad. Se les requiere a los expertos que evalúen los tres grupos en los términos siguientes: “Qué influencia tiene este criterio en comparación con este otro en la selección de especies en una repoblación forestal cuyo objetivo es la conservación de la biodiversidad?” En el cuestionario se emplea una escala de nueve puntos (ver tabla fundamental de Saaty, tabla 7 de la Sección 4 del presente trabajo), donde los mayores valores indican una mayor preferencia y los recíprocos se utilizan para mostrar la preferencia

sobre la elección inversa (Curiel-Esparza *et al.* 2014; Martin-Utrillas *et al.* 2014b).

Por tanto, se requiere al panel de expertos que evalúen los tres criterios comparándolos de dos en dos en relación al objetivo de la repoblación, como se muestra en la tabla 11.

Grupos principales	Más importante			Igual	Menos importante			Grupos principales		
EES	9	7	5	3	1	3	5	7	9	EIM
EES	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ICC
EIM	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ICC

Tabla 11.- Evaluación de los criterios respecto al objetivo de la repoblación

Para la evaluación de los tres criterios por cada uno de los expertos se les proporciona el cuestionario de la tabla 12:

REPOBLACIÓN CONSERVADORA	Indique el peso que considera tiene el factor de la derecha sobre el de la izquierda									
	Más importante			Igual	Menos importante					
Servicios ambientales	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Importancia económica
Servicios ambientales	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Efectos cambio climático
Importancia económica	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Efectos cambio climático

Tabla 12.- Cuestionario para la evaluación de los criterios

Para hallar la media de las respuestas de los expertos se aplica el método de agregación de juicios individuales (Dong *et al.* 2010, Forman y Peniwati 1995), esto es, se calcula la media geométrica de todos los juicios

obtenidos y así se obtienen las prioridades para cada criterio, proporcionando como resultado una matriz (1) de comparación entre pares de los tres criterios (EES, EIM, ICC).

$$[M] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.9583 & 0.3476 \\ 1.0435 & 1.0000 & 0.2231 \\ 2.8769 & 4.4815 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matriz que se calcula a partir de los resultados de cada uno de los expertos, que se muestran en la tabla 13:

Pares de criterios	Resultados para cada uno de los expertos											
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
EES vs. EIM	1/5	7	5	1	1/5	1/7	1/3	3	3	1	1	1
EES vs. ICC	1	5	3	1/9	1/7	1/3	1/5	1	1/7	1/9	1/9	1/9
EIM vs. ICC	5	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	5	1/9	1/9	1/9	1/9

Tabla 13.- Resultados para cada uno de los expertos

En el segundo paso, los subcriterios de cada criterio se evalúan para determinar sus pesos relativos. Se les requiere a los expertos que comparen los subcriterios a pares en cada criterio, del modo en que sigue: “¿Cómo influye este subcriterio en comparación con este otro en la selección de especies en una repoblación forestal cuyo objetivo es la conservación de la biodiversidad?”. Una vez más, las prioridades de cada subcriterio dentro de cada criterio se establecen para ver su orden de importancia.

Los cuestionarios que se les ofrecen al grupo de expertos se muestran en las tablas 14 a 16:

REPOBLACIÓN CONSERVADORA	Indique el peso que considera tiene el factor de la derecha sobre el de la izquierda									
	Más importante			Igual	Menos importante					
Contribución biodiversidad	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mejora del paisaje
Contribución biodiversidad	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Atractivo turístico
Contribución biodiversidad	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mejora de la fauna
Mejora del paisaje	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Atractivo turístico
Mejora del paisaje	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mejora de la fauna
Atractivo turístico	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mejora de la fauna

Tabla 14.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del grupo (EES)

REPOBLACIÓN CONSERVADORA	Indique el peso que considera tiene el factor de la derecha sobre el de la izquierda									
	Más importante			Igual	Menos importante					
Coste de establecimiento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Coste selvicultura posterior
Coste de establecimiento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Atractivo turístico
Coste selvicultura posterior	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mejora de la fauna

Tabla 15.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del grupo (EIM)

REPOBLACIÓN CONSERVADORA	Indique el peso que considera tiene el factor de la derecha sobre el de la izquierda									
	Más importante			Igual	Menos importante					
Respuesta al estrés hídrico	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Tolerancia a la insolación
Respuesta al estrés hídrico	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Conservación del suelo
Respuesta al estrés hídrico	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Respuesta a los incendios
Respuesta al estrés hídrico	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Riesgo plagas y enfermedades
Tolerancia a la insolación	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Conservación del suelo
Tolerancia a la insolación	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Respuesta a los incendios
Tolerancia a la insolación	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Riesgo plagas y enfermedades
Conservación del suelo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Respuesta a los incendios
Conservación del suelo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Riesgo plagas y enfermedades
Respuesta a los incendios	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Riesgo plagas y enfermedades

Tabla 16.- Cuestionario para la evaluación de los subcriterios del tercer grupo (ICC)

En la tabla resumen 17 se muestran las comparaciones entre pares que han sido evaluadas por el grupo de expertos.

Grupos principales	Más importante			Igual	Menos importante			Grupos principales		
CB	9	7	5	3	1	3	5	7	9	LE
CB	9	7	5	3	1	3	5	7	9	TA
CB	9	7	5	3	1	3	5	7	9	WI
LE	9	7	5	3	1	3	5	7	9	TA
LE	9	7	5	3	1	3	5	7	9	WI
TA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	WI
IC	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ST
IC	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ER
ST	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ER
WR	9	7	5	3	1	3	5	7	9	SU
WR	9	7	5	3	1	3	5	7	9	SC
WR	9	7	5	3	1	3	5	7	9	FR
WR	9	7	5	3	1	3	5	7	9	PR
SU	9	7	5	3	1	3	5	7	9	SC
SU	9	7	5	3	1	3	5	7	9	FR
SU	9	7	5	3	1	3	5	7	9	PR
SC	9	7	5	3	1	3	5	7	9	FR
SC	9	7	5	3	1	3	5	7	9	PR
FR	9	7	5	3	1	3	5	7	9	PR

Tabla 17.- Resultados de la evaluación de los criterios para cada uno de los expertos.

Por ejemplo, la matriz de comparación entre pares para los cuatro subcriterios del primer criterio (EES) para un experto, se indica en la matriz (2).

$$[M_{EES}] = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 5 \\ 1/5 & 1 & 5 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Se sigue el mismo procedimiento para los subcriterios de los otros dos criterios principales y para cada uno de los expertos (ver tabla 18).

Pares de criterios	Resultados para cada uno de los expertos											
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
CB vs. LE	5	7	1/5	9	5	1/3	9	9	9	9	5	1/7
CB vs. TA	7	9	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9
CB vs. WI	5	7	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9
LE vs. TA	5	7	5	7	9	7	5	7	9	7	9	7
LE vs. WI	5	5	3	7	5	5	7	9	7	1/3	7	5
TA vs. WI	3	1/3	3	5	1	1/7	1/9	1/7	1/9	1/7	1/9	1/9
IC vs. ST	3	1/3	5	1	1/3	1/3	1	1	1	1	1	1
IC vs. ER	3	7	3	5	1/5	9	9	9	9	7	7	7
ST vs. ER	3	9	7	7	3	9	9	7	7	7	9	9
WR vs. SU	3	3	1	5	3	3	5	5	3	7	1/3	5
WR vs. SC	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3	1/7	1/5	1/5	3
WR vs. FR	1/7	1/7	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1
WR vs. PR	1/5	1/3	1/5	1/7	1/3	1/7	1/5	1/7	1/7	1/9	1/7	3
SU vs. SC	1/5	1/3	1/5	1	1/5	1/7	1	1/3	1/7	3	1/7	1/5
SU vs. FR	1/9	1/7	1/9	1/5	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/3	1/9
SU vs. PR	1/7	1/5	1/5	1/5	1/7	1/3	1/5	1/9	1/7	1/7	1/9	3
SC vs. FR	1/3	1/3	1/7	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1/7
SC vs. PR	1/3	1/3	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1/7
FR vs. PR	3	1	5	3	3	3	5	3	7	5	1/7	7

Tabla 18.- Cuestionario para la evaluación de subcriterios

Las evaluaciones de cada experto se combinan empleando la media geométrica para construir una matriz global de comparación entre pares para el panel de expertos. La matriz anterior para el conjunto de expertos y para los subcriterios del primer criterio (EES) sería la (3):

$$[M_{EES}] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 2.9808 & 8.3922 & 6.9880 \\ 0.3355 & 1.0000 & 6.8525 & 4.4922 \\ 0.1192 & 0.1459 & 1.0000 & 0.3704 \\ 0.1431 & 0.2226 & 2.6999 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Y para los subcriterios de los otros dos criterios o grupos principales tendríamos las siguientes matrices (4) y (5), después de aplicar el método de agregación de juicios individuales (media geométrica)

$$[M_{EIM}] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.9522 & 4.7786 \\ 1.0502 & 1.0000 & 6.7491 \\ 0.2093 & 0.1482 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[M_{ICC}] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 2.9004 & 0.3166 & 0.1513 & 0.2259 \\ 0.3448 & 1.0000 & 0.3281 & 0.1391 & 0.2120 \\ 3.1581 & 3.0481 & 1.0000 & 0.2242 & 0.3059 \\ 6.6092 & 7.1916 & 4.4604 & 1.0000 & 2.7795 \\ 4.4274 & 4.7177 & 3.2688 & 0.3598 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad (5)$$

8.- PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS. RELACIÓN DE CONSISTENCIA

8.- Ponderación de los criterios y subcriterios. Relación de consistencia.

Una vez determinadas todas las matrices de comparación se obtiene el vector de prioridad o autovector, constituido por los porcentajes de las prioridades relativas globales. El autovector se obtiene mediante el método de la potencia, multiplicando esta matriz por sí misma en un proceso iterativo, sumando en cada paso los valores de cada fila y luego dividiendo por la suma total de estos valores, tal y como se conoce como el método del autovector. Para la matriz de criterios principales obtenemos el siguiente vector (6), que determina la contribución de cada criterio al objetivo global:

$$[\omega] = \begin{bmatrix} 0.1897 \\ 0.1684 \\ 0.6419 \end{bmatrix} \quad (6)$$

El método del autovector se aplica para el resto de matrices de comparación entre pares, con los siguientes resultados (7), (8) y (9):

$$[\omega_{EES}] = \begin{bmatrix} 0.5836 \\ 0.2848 \\ 0.0455 \\ 0.0860 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[\omega_{EIM}] = \begin{bmatrix} 0.4257 \\ 0.4935 \\ 0.0807 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[\omega_{ICC}] = \begin{bmatrix} 0.0712 \\ 0.0447 \\ 0.1292 \\ 0.4915 \\ 0.2633 \end{bmatrix} \quad (9)$$

De esta manera se obtienen los porcentajes de prioridades relativas globales para cada subcriterio de cada grupo de criterios principales.

A continuación se debe realizar la ponderación de los pesos de los criterios con los de los subcriterios para obtener las prioridades globales de cada uno de los subcriterios. Para ello se multiplican ambas prioridades y así se obtiene la prioridad global. En la tabla 19 se muestra un resumen del peso obtenido o prioridad para cada uno de los grupos principales de criterios y sus subcriterios.

Grupos principales	Peso de cada factor	Subcriterios	Peso de cada factor	Prioridad global
EES	0.1897	CB	0.5836	0.1107
		LE	0.2848	0.0540
		TA	0.0455	0.0086
		WI	0.0860	0.0163
EIM	0.1684	IC	0.4257	0.0717
		ST	0.4935	0.0831
		ER	0.0807	0.0136
ICC	0.6419	WR	0.0712	0.0457
		SU	0.0447	0.0287
		SC	0.1292	0.0829
		FR	0.4915	0.3155
		PR	0.2633	0.1690

Tabla 19.- Resumen de la prioridad de cada subcriterio y de los pesos de las especies para cada uno de estos subcriterios.

Se aplica en este apartado un análisis de consistencia mediante el cálculo del autovalor para obtener la razón de consistencia (CR), con el objetivo de evaluar cómo de coherente es un experto en cuanto a las respuestas dadas. La manera de calcular el autovalor es la siguiente: se multiplican ambas matrices, la matriz [M] de comparación de pares con la matriz [ω] del autovector propio, dando como resultado otra matriz 1x3; cada uno de los valores de sus filas se divide entre la fila correspondiente de la matriz del autovector y se obtiene el promedio de esos valores, con lo que ese valor final será la cantidad matemática conocida como autovalor $\lambda_{\text{máx}}$. Este procedimiento es, en general, una buena aproximación cuando la consistencia es elevada (Saaty 2013).

Para llevar a cabo el análisis de consistencia de la evaluación de los tres criterios principales, se calcula el autovalor mediante el método de la potencia y se obtiene el autovector. Tras multiplicar la matriz de comparación de pares por la matriz del autovector, se dividen cada una de las filas de la matriz por la correspondiente del autovector y el autovalor será el promedio de estos tres valores ($\lambda_{\text{máx.}} = 3.0263$). El índice de consistencia (CI) se define de la siguiente manera (10):

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} = 0.0131 \quad (10)$$

Donde n es el orden de la matriz. El índice de consistencia aleatoria (RCI) para $n=3$ es 0.52 (Saaty 2012). Así pues, el ratio de consistencia (CR) se calcula del modo siguiente (11):

$$CR = \frac{CI}{RCI} = 2.53\% \quad (11)$$

Los máximos valores del ratio de consistencia vienen formulados dependiendo del valor de n . En este caso ($n=3$), CR debe encontrarse por debajo del 5%, de este modo los resultados se consideran fiables. El mismo procedimiento se lleva a cabo para cada una de las matrices de comparación entre pares. Los resultados se muestran en la tabla 20.

Matrices	Análisis de consistencia		
ω	$\lambda_{\text{máx.}} = 3.0263$	CI = 0.0131	CR = 2.53% < 5% (n = 3)
ω_{EES}	$\lambda_{\text{máx.}} = 4.1390$	CI = 0.0463	CR = 5.21% < 9% (n = 4)
ω_{EIM}	$\lambda_{\text{máx.}} = 3.0098$	CI = 0.0049	CR = 0.94% < 5% (n = 3)
ω_{ICC}	$\lambda_{\text{máx.}} = 5.2736$	CI = 0.0684	CR = 6.16% < 10% (n = 5)

Tabla 20.- Resultados del análisis de consistencia para cada una de las matrices.

9.- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

9.- Evaluación de las alternativas en función de los criterios y subcriterios.

En el tercer paso, las especies deben ser priorizadas de forma relativa a cada subcriterio, realizando la misma comparación entre pares y procedimiento de adjudicación de pesos. Ahora se les requiere a los expertos del modo siguiente: “¿Qué especie responderá más favorablemente a este subcriterio?”.

REPOBLACIÓN CONSERVADORA	Indique qué especie considera más apropiada para el factor Conservación de la Biodiversidad									
	Más apropiada que				Igual	Menos apropiada que				
<i>Q. ilex</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>Q. faginea</i>
<i>Q. ilex</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>F. ornus</i>
<i>Q. ilex</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>P. spinosa</i>
<i>Q. ilex</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>S. aria</i>
<i>Q. ilex</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>C. monogyna</i>
<i>Q. faginea</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>F. ornus</i>
<i>Q. faginea</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>P. spinosa</i>
<i>Q. faginea</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>S. aria</i>
<i>Q. faginea</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>C. monogyna</i>
<i>F. ornus</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>P. spinosa</i>
<i>F. ornus</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>S. aria</i>
<i>F. ornus</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>C. monogyna</i>
<i>P. spinosa</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>S. aria</i>
<i>P. spinosa</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>C. monogyna</i>
<i>S. aria</i>	9	7	5	3	1	3	5	7	9	<i>C. monogyna</i>

Tabla 21.- Ejemplo de cuestionario para el subcriterio CB

Se realiza el cuestionario como el de la tabla 21 para todos y cada uno de los subcriterios de los tres grupos de criterios principales: EES (conservación de la biodiversidad, mejora del paisaje, atractivo turístico, mejora de la fauna), EIM (coste de establecimiento, Tratamientos selvícolas posteriores, beneficio económico) e ICC (resistencia al estrés hídrico, tolerancia a la insolación, conservación del suelo, resistencia a los incendios y resistencia a plagas y enfermedades). Este tercer cuestionario a los expertos da como resultado las matrices de comparación entre pares (tablas 22 a 33).

Para cada uno de los subcriterios de dicho criterio, se obtiene una lista de especies prioritarias (ver tablas 34 a 36 para los subcriterios de cada uno de los grupos principales). Una vez se han calculado los autovectores para cada subcriterio con un nivel de consistencia aceptable, podemos construir la matriz de vectores de prioridad para especies y subcriterios (Tabla 37). Los pesos de las especies para un subcriterio dado deben multiplicarse por el peso de ese subcriterio para obtener una lista prioritaria global de las especies.

CB	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,3355	0,1286	0,1536	0,3215	0,3355
<i>Q.faginea</i>	2,9808	1,0000	0,1270	0,1420	0,3262	0,3376
<i>F.ornus</i>	7,7752	7,8757	1,0000	2,9618	6,7537	4,8568
<i>P.spinosa</i>	6,5116	7,0426	0,3376	1,0000	7,0976	5,0680
<i>S.aria</i>	3,1105	3,0656	0,1481	0,1409	1,0000	0,3402
<i>C.monogyna</i>	2,9808	2,9618	0,2059	0,1973	2,9398	1,0000

Tabla 22.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio CB

LE	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,2712	0,1906	0,1342	0,2871	0,2953
<i>Q.faginea</i>	3,6878	1,0000	0,1490	0,2002	0,9125	0,3523
<i>F.ornus</i>	5,2457	6,7105	1,0000	2,7200	4,9279	2,8566
<i>P.spinosa</i>	7,4513	4,9949	0,3676	1,0000	4,8568	4,7867
<i>S.aria</i>	3,4832	1,0959	0,2029	0,2059	1,0000	0,2996
<i>C.monogyna</i>	3,3869	2,8383	0,3501	0,2089	3,3380	1,0000

Tabla 23.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio LE

TA	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	2,9808	0,1183	0,2089	4,7867	2,9618
<i>Q.faginea</i>	0,3355	1,0000	0,1183	0,1419	1,4422	0,3126
<i>F.ornus</i>	8,4519	8,4519	1,0000	1,4330	6,9014	4,8568
<i>P.spinosa</i>	4,7867	7,0474	0,6978	1,0000	8,2768	8,8135
<i>S.aria</i>	0,2089	0,6934	0,1449	0,1208	1,0000	0,3470
<i>C.monogyna</i>	0,3376	3,1989	0,2059	0,1135	2,8818	1,0000

Tabla 24.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio TA

WI	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	4,6544	6,7105	2,7200	6,9014	0,7598
<i>Q.faginea</i>	0,2149	1,0000	4,8568	3,2250	2,7200	0,1529
<i>F.ornus</i>	0,1490	0,2059	1,0000	0,3523	0,3236	0,1208
<i>P.spinosa</i>	0,3676	0,3101	2,8383	1,0000	4,7867	0,1501
<i>S.aria</i>	0,1449	0,3676	3,0906	0,2089	1,0000	0,1208
<i>C.monogyna</i>	1,3161	6,5403	8,2768	6,6631	8,2768	1,0000

Tabla 25.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio WI

IC	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,3215	0,1419	0,1334	0,2996	0,3192
<i>Q.faginea</i>	3,1105	1,0000	0,1159	0,1208	0,3523	0,3501
<i>F.ornus</i>	7,0474	8,6308	1,0000	0,3283	2,3786	5,2884
<i>P.spinosa</i>	7,4941	8,2768	3,0460	1,0000	6,8065	4,5257
<i>S.aria</i>	3,3380	2,8383	0,4204	0,1469	1,0000	0,3523
<i>C.monogyna</i>	3,1326	2,8566	0,1891	0,2210	2,8383	1,0000

Tabla 26.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio IC

ST	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	1,0000	0,1381	0,1167	0,1839	0,3501
<i>Q.faginea</i>	1,0000	1,0000	0,1361	0,1135	0,3476	0,2118
<i>F.ornus</i>	7,2429	7,3489	1,0000	0,3676	7,0000	4,5919
<i>P.spinosa</i>	8,5698	8,8135	2,7200	1,0000	9,0000	4,9279
<i>S.aria</i>	5,4388	2,8769	0,1429	0,1111	1,0000	0,3192
<i>C.monogyna</i>	2,8566	4,7209	0,2178	0,2029	3,1326	1,0000

Tabla 27.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio ST

ER	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	2,8566	7,2478	0,2389	8,3922	6,9014
<i>Q.faginea</i>	0,3501	1,0000	2,9618	0,1159	4,8568	4,5873
<i>F.ornus</i>	0,1380	0,3376	1,0000	0,1159	1,1435	0,9125
<i>P.spinosa</i>	4,1859	8,6308	8,6308	1,0000	8,4519	8,8135
<i>S.aria</i>	0,1192	0,2059	0,8745	0,1183	1,0000	0,9125
<i>C.monogyna</i>	0,1449	0,2180	1,0959	0,1135	1,0959	1,0000

Tabla 28.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio ER

WR	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	8,6308	7,2994	8,6308	7,1481	5,4388
<i>Q.faginea</i>	0,1159	1,0000	1,0959	2,7375	0,3215	0,2306
<i>F.ornus</i>	0,1370	0,9125	1,0000	2,8566	0,3501	0,3355
<i>P.spinosa</i>	0,1159	0,3653	0,3501	1,0000	0,2059	0,1470
<i>S.aria</i>	0,1399	3,1105	2,8566	4,8568	1,0000	0,1866
<i>C.monogyna</i>	0,1839	4,3371	2,9808	6,8018	5,3603	1,0000

Tabla 29.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio WR

SU	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	6,7583	6,6183	4,9279	3,2666	1,2009
<i>Q.faginea</i>	0,1480	1,0000	4,7225	0,3236	0,1866	0,1159
<i>F.ornus</i>	0,1511	0,2118	1,0000	0,2178	0,1814	0,1380
<i>P.spinosa</i>	0,2029	3,0906	4,5919	1,0000	0,3676	0,1351
<i>S.aria</i>	0,3061	5,3603	5,5128	2,7200	1,0000	0,3501
<i>C.monogyna</i>	0,8327	8,6308	7,2478	7,4012	2,8566	1,0000

Tabla 30.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio SU

SC	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	1,3161	2,7200	2,6067	6,9014	6,7583
<i>Q.faginea</i>	0,7598	1,0000	2,8566	3,1305	6,8065	6,7583
<i>F.ornus</i>	0,3676	0,3501	1,0000	2,8566	2,8566	2,8566
<i>P.spinosa</i>	0,3836	0,3194	0,3501	1,0000	2,6067	3,1305
<i>S.aria</i>	0,1449	0,1469	0,3501	0,3836	1,0000	1,0959
<i>C.monogyna</i>	0,1480	0,1480	0,3501	0,3194	0,9125	1,0000

Tabla 31.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio SC

FR	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,1883	2,5736	4,6981	1,2211	6,5338
<i>Q.faginea</i>	5,3095	1,0000	7,2708	6,3862	1,2211	6,5846
<i>F.ornus</i>	0,3886	0,1375	1,0000	0,8189	0,1591	1,3493
<i>P.spinosa</i>	0,2129	0,1566	1,2211	1,0000	0,1643	0,3038
<i>S.aria</i>	0,8189	0,8189	6,2858	6,0874	1,0000	6,5846
<i>C.monogyna</i>	0,1530	0,1519	0,7411	3,2920	0,1519	1,0000

Tabla 32.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio FR

PR	<i>Q.ilex</i>	<i>Q.faginea</i>	<i>F.ornus</i>	<i>P.spinosa</i>	<i>S.aria</i>	<i>C.monogyna</i>
<i>Q.ilex</i>	1,0000	4,7225	7,2994	2,8566	6,7583	1,0959
<i>Q.faginea</i>	0,2118	1,0000	4,7225	2,9808	2,7375	0,1380
<i>F.ornus</i>	0,1370	0,2118	1,0000	0,2934	0,3061	0,1159
<i>P.spinosa</i>	0,3501	0,3355	3,4087	1,0000	4,5919	0,1370
<i>S.aria</i>	0,1480	0,3653	3,2666	0,2178	1,0000	0,1159
<i>C.monogyna</i>	0,9125	7,2478	8,6308	7,2994	8,6308	1,0000

Tabla 33.- Matriz de comparación entre pares para subcriterio PR

Especies seleccionadas	CB	LE	TA	WI
<i>Quercus ilex</i>	0,0317	0,0349	0,1060	0,2910
<i>Quercus faginea</i>	0,0453	0,0648	0,0365	0,1212
<i>Fraxinus ornus</i>	0,4452	0,3929	0,4107	0,0295
<i>Prunus spinosa</i>	0,3044	0,3069	0,3481	0,0897
<i>Sorbus aria</i>	0,0687	0,0680	0,0315	0,0442
<i>Crataegus monogyna</i>	0,1047	0,1325	0,0672	0,4245

Tabla 34.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de EES

Especies seleccionadas	IC	ST	ER
<i>Quercus ilex</i>	0,0314	0,0321	0,2371
<i>Quercus faginea</i>	0,0454	0,0312	0,1113
<i>Fraxinus ornus</i>	0,2776	0,2957	0,0385
<i>Prunus spinosa</i>	0,4530	0,4587	0,5417
<i>Sorbus aria</i>	0,0821	0,0709	0,0341
<i>Crataegus monogyna</i>	0,1105	0,1116	0,0373

Tabla 35.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de EIM

Especies seleccionadas	WR	ST	SC	FR	PR
<i>Quercus ilex</i>	0,5426	0,3331	0,3346	0,1901	0,3091
<i>Quercus faginea</i>	0,0510	0,0498	0,3169	0,4127	0,1129
<i>Fraxinus ornus</i>	0,0557	0,0279	0,1536	0,0498	0,0274
<i>Prunus spinosa</i>	0,0278	0,0816	0,1050	0,0403	0,0883
<i>Sorbus aria</i>	0,1025	0,1559	0,0461	0,2532	0,0434
<i>Crataegus monogyna</i>	0,2203	0,3517	0,0438	0,0539	0,4190

Tabla 36.- Matriz de prioridad obtenida a partir de los vectores únicos de ICC

Grupos principales	Factor	Peso de cada factor	Especies seleccionadas					
			<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Sorbus aria</i>	<i>Crataegus monogyna</i>
EES	CB	0,1107	0,0317	0,0453	0,4452	0,3044	0,0687	0,1047
	LE	0,0540	0,0349	0,0648	0,3929	0,3069	0,0680	0,1325
	TA	0,0086	0,1060	0,0365	0,4107	0,3481	0,0315	0,0672
	WI	0,0163	0,2910	0,1212	0,0295	0,0897	0,0442	0,4245
EIM	IC	0,0717	0,0314	0,0454	0,2776	0,4530	0,0821	0,1105
	ST	0,0831	0,0321	0,0312	0,2957	0,4587	0,0709	0,1116
	ER	0,0136	0,2371	0,1113	0,0385	0,5417	0,0341	0,0373
ICC	WR	0,0457	0,5426	0,0510	0,0557	0,0278	0,1025	0,2203
	SU	0,0287	0,3331	0,0498	0,0279	0,0816	0,1559	0,3517
	SC	0,0829	0,3346	0,3169	0,1536	0,1050	0,0461	0,0438
	FR	0,3155	0,1901	0,4127	0,0498	0,0403	0,2532	0,0539
	PR	0,1690	0,3091	0,1129	0,0274	0,0883	0,0434	0,4190

Tabla 37.- Resumen de la prioridad de cada subcriterio y de los pesos de especies

Para obtener una lista de prioridades totales de las especies, los pesos de las especies para un factor dado se multiplican por el peso de ese factor, multiplicando ambas matrices, la de arriba y otra construida con los vectores prioritarios de los subcriterios de cada criterio, de la manera que se ha descrito en el segundo paso, tal y como se ilustra en la tabla 37. Así se obtiene la óptima distribución de porcentajes de las especies idóneas para ser utilizadas en la repoblación forestal. (tabla 38), la cual se puede presentar como una combinación de porcentajes de las especies seleccionadas para la repoblación. La calidad de los resultados se relaciona con la consistencia de la comparación de juicios por pares, y en consecuencia será evaluada.

La Tabla 38 muestra esta distribución de porcentajes de las especies apropiadas que deberían utilizarse en la planificación de la repoblación forestal.

Especies seleccionadas	Porcentaje óptimo de distribución
<i>Quercus ilex</i>	0,2591
<i>Quercus faginea</i>	0,1878
<i>Fraxinus ornus</i>	0,1709
<i>Prunus spinosa</i>	0,1729
<i>Sorbus aria</i>	0,0559
<i>Crataegus monogyna</i>	0,1535

Tabla 38.- Porcentaje de distribución de las especies seleccionadas

En las tablas 39, 40 y 41 se muestran las matrices de comparación entre pares, así como el autovector y los parámetros del análisis de consistencia para cada uno de los subcriterios incluidos en los tres grupos principales.

Sub-criterio	Especies	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Sorbus aria</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	Autovector
WR	<i>Q.ilex</i>	1,0000	8,6308	7,2994	8,6308	7,1481	5,4388	0,5426
	<i>Q.faginea</i>	0,1159	1,0000	1,0959	2,7375	0,3215	0,2306	0,0510
	<i>F.ornus</i>	0,1370	0,9125	1,0000	2,8566	0,3501	0,3355	0,0557
	<i>P.spinosa</i>	0,1159	0,3653	0,3501	1,0000	0,2059	0,1470	0,0278
	<i>S.aria</i>	0,1399	3,1105	2,8566	4,8568	1,0000	0,1866	0,1025
	<i>C.monogyna</i>	0,1839	4,3371	2,9808	6,8018	5,3603	1,0000	0,2203
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5617$		CI = 0,1123	CR = 8,99% < 10% (n = 6)			
SU	<i>Q.ilex</i>	1,0000	6,7583	6,6183	4,9279	3,2666	1,2009	0,3331
	<i>Q.faginea</i>	0,1480	1,0000	4,7225	0,3236	0,1866	0,1159	0,0498
	<i>F.ornus</i>	0,1511	0,2118	1,0000	0,2178	0,1814	0,1380	0,0279
	<i>P.spinosa</i>	0,2029	3,0906	4,5919	1,0000	0,3676	0,1351	0,0816
	<i>S.aria</i>	0,3061	5,3603	5,5128	2,7200	1,0000	0,3501	0,1559
	<i>C.monogyna</i>	0,8327	8,6308	7,2478	7,4012	2,8566	1,0000	0,3517
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5690$		CI = 0,1138	CR = 9,10% < 10% (n = 6)			
SC	<i>Q.ilex</i>	1,0000	1,3161	2,7200	2,6067	6,9014	6,7583	0,3346
	<i>Q.faginea</i>	0,7598	1,0000	2,8566	3,1305	6,8065	6,7583	0,3169
	<i>F.ornus</i>	0,3676	0,3501	1,0000	2,8566	2,8566	2,8566	0,1536
	<i>P.spinosa</i>	0,3836	0,3194	0,3501	1,0000	2,6067	3,1305	0,1050
	<i>S.aria</i>	0,1449	0,1469	0,3501	0,3836	1,0000	1,0959	0,0461
	<i>C.monogyna</i>	0,1480	0,1480	0,3501	0,3194	0,9125	1,0000	0,0438
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,1486$		CI = 0,0297	CR = 2,38% < 10% (n = 6)			
FR	<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,1883	2,5736	4,6981	1,2211	6,5338	0,1901
	<i>Q.faginea</i>	5,3095	1,0000	7,2708	6,3862	1,2211	6,5846	0,4127
	<i>F.ornus</i>	0,3886	0,1375	1,0000	0,8189	0,1591	1,3493	0,0498

	<i>P.spinosa</i>	0,2129	0,1566	1,2211	1,0000	0,1643	0,3038	0,0403
	<i>S.aria</i>	0,8189	0,8189	6,2858	6,0874	1,0000	6,5846	0,2532
	<i>C.monogyna</i>	0,1530	0,1519	0,7411	3,2920	0,1519	1,0000	0,0539
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5572$ CI = 0,1114 CR = 8,91% < 10% (n = 6)						
PR	<i>Q.ilex</i>	1,0000	4,7225	7,2994	2,8566	6,7583	1,0959	0,3091
	<i>Q.faginea</i>	0,2118	1,0000	4,7225	2,9808	2,7375	0,1380	0,1129
	<i>F.ornus</i>	0,1370	0,2118	1,0000	0,2934	0,3061	0,1159	0,0274
	<i>P.spinosa</i>	0,3501	0,3355	3,4087	1,0000	4,5919	0,1370	0,0883
	<i>S.aria</i>	0,1480	0,3653	3,2666	0,2178	1,0000	0,1159	0,0434
	<i>C.monogyna</i>	0,9125	7,2478	8,6308	7,2994	8,6308	1,0000	0,4190
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,6223$ CI = 0,1245 CR = 9,96% < 10% (n = 6)						

Tabla 39-- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal ICC.

Sub-criterio	Especies	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Sorbus aria</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	Autovector
CB	<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,3355	0,1286	0,1536	0,3215	0,3355	0,0317
	<i>Q.faginea</i>	2,9808	1,0000	0,1270	0,1420	0,3262	0,3376	0,0453
	<i>F.ornus</i>	7,7752	7,8757	1,0000	2,9618	6,7537	4,8568	0,4452
	<i>P.spinosa</i>	6,5116	7,0426	0,3376	1,0000	7,0976	5,0680	0,3044
	<i>S.aria</i>	3,1105	3,0656	0,1481	0,1409	1,0000	0,3402	0,0687
	<i>C.monogyna</i>	2,9808	2,9618	0,2059	0,1973	2,9398	1,0000	0,1047
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5631$ CI = 0,1126 CR = 9,01% < 10% (n = 6)						

LE	<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,2712	0,1906	0,1342	0,2871	0,2953	0,0349
	<i>Q.faginea</i>	3,6878	1,0000	0,1490	0,2002	0,9125	0,3523	0,0648
	<i>F.ornus</i>	5,2457	6,7105	1,0000	2,7200	4,9279	2,8566	0,3929
	<i>P.spinosa</i>	7,4513	4,9949	0,3676	1,0000	4,8568	4,7867	0,3069
	<i>S.aria</i>	3,4832	1,0959	0,2029	0,2059	1,0000	0,2996	0,0680
	<i>C.monogyna</i>	3,3869	2,8383	0,3501	0,2089	3,3380	1,0000	0,1325
	$\lambda_{\text{máx}} = 6,5145$ $CI = 0,1029$ $CR = 8,23\% < 10\%$ (n = 6)							
TA	<i>Q.ilex</i>	1,0000	2,9808	0,1183	0,2089	4,7867	2,9618	0,1060
	<i>Q.faginea</i>	0,3355	1,0000	0,1183	0,1419	1,4422	0,3126	0,0365
	<i>F.ornus</i>	8,4519	8,4519	1,0000	1,4330	6,9014	4,8568	0,4107
	<i>P.spinosa</i>	4,7867	7,0474	0,6978	1,0000	8,2768	8,8135	0,3481
	<i>S.aria</i>	0,2089	0,6934	0,1449	0,1208	1,0000	0,3470	0,0315
	<i>C.monogyna</i>	0,3376	3,1989	0,2059	0,1135	2,8818	1,0000	0,0672
	$\lambda_{\text{máx}} = 6,4715$ $CI = 0,0943$ $CR = 7,54\% < 10\%$ (n = 6)							
WI	<i>Q.ilex</i>	1,0000	4,6544	6,7105	2,7200	6,9014	0,7598	0,2910
	<i>Q.faginea</i>	0,2149	1,0000	4,8568	3,2250	2,7200	0,1529	0,1212
	<i>F.ornus</i>	0,1490	0,2059	1,0000	0,3523	0,3236	0,1208	0,0295
	<i>P.spinosa</i>	0,3676	0,3101	2,8383	1,0000	4,7867	0,1501	0,0897
	<i>S.aria</i>	0,1449	0,3676	3,0906	0,2089	1,0000	0,1208	0,0442
	<i>C.monogyna</i>	1,3161	6,5403	8,2768	6,6631	8,2768	1,0000	0,4245
	$\lambda_{\text{máx}} = 6,6124$ $CI = 0,1225$ $CR = 9,80\% < 10\%$ (n = 6)							

Tabla 40.- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal EES.

Sub-criterio	Especies	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Sorbus aria</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	Autovector
IC	<i>Q.ilex</i>	1,0000	0,3215	0,1419	0,1334	0,2996	0,3192	0,0314
	<i>Q.faginea</i>	3,1105	1,0000	0,1159	0,1208	0,3523	0,3501	0,0454
	<i>F.ornus</i>	7,0474	8,6308	1,0000	0,3283	2,3786	5,2884	0,2776
	<i>P.spinosa</i>	7,4941	8,2768	3,0460	1,0000	6,8065	4,5257	0,4530
	<i>S.aria</i>	3,3380	2,8383	0,4204	0,1469	1,0000	0,3523	0,0821
	<i>C.monogyna</i>	3,1326	2,8566	0,1891	0,2210	2,8383	1,0000	0,1105
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5529$		CI = 0,1106	CR = 8,85% < 10% (n = 6)			
ST	<i>Q.ilex</i>	1,0000	1,0000	0,1381	0,1167	0,1839	0,3501	0,0321
	<i>Q.faginea</i>	1,0000	1,0000	0,1361	0,1135	0,3476	0,2118	0,0312
	<i>F.ornus</i>	7,2429	7,3489	1,0000	0,3676	7,0000	4,5919	0,2957
	<i>P.spinosa</i>	8,5698	8,8135	2,7200	1,0000	9,0000	4,9279	0,4587
	<i>S.aria</i>	5,4388	2,8769	0,1429	0,1111	1,0000	0,3192	0,0709
	<i>C.monogyna</i>	2,8566	4,7209	0,2178	0,2029	3,1326	1,0000	0,1116
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,5406$		CI = 0,1081	CR = 8,65% < 10% (n = 6)			
ER	<i>Q.ilex</i>	1,0000	2,8566	7,2478	0,2389	8,3922	6,9014	0,2371
	<i>Q.faginea</i>	0,3501	1,0000	2,9618	0,1159	4,8568	4,5873	0,1113
	<i>F.ornus</i>	0,1380	0,3376	1,0000	0,1159	1,1435	0,9125	0,0385
	<i>P.spinosa</i>	4,1859	8,6308	8,6308	1,0000	8,4519	8,8135	0,5417
	<i>S.aria</i>	0,1192	0,2059	0,8745	0,1183	1,0000	0,9125	0,0341
	<i>C.monogyna</i>	0,1449	0,2180	1,0959	0,1135	1,0959	1,0000	0,0373
		$\lambda_{\text{máx}} = 6,3575$		CI = 0,0715	CR = 5,72% < 10% (n = 6)			

Tabla 41.- Matriz de comparación entre pares, autovector y análisis de consistencia para las seis especies respecto de cada uno de los subcriterios del grupo principal EIM.

10.- CONCLUSIONES

10.- Conclusiones.

Debido al gran número de factores que se han de tener en cuenta a la hora de elegir las especies forestales, su número y proporción adecuado en un proyecto de repoblación forestal, es éste un sistema complejo que requiere de una potente herramienta como el AHP para abordar la toma de decisión. De hecho, la utilización de técnicas multicriterio en el ámbito de la selección de especies forestales ha sido recomendada en el Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR, 2013). Se hace necesario actualmente el empleo de técnicas que ayuden a la toma de decisiones ya que es cada vez más frecuente que se tomen en consideración factores de tipo medioambiental y la generación de externalidades por parte del bosque, que no se encuentran habitualmente incluidos en la planificación forestal. Además, en esta tesis doctoral se hace especial hincapié en los factores que pueden ayudar a combatir o mitigar el cambio climático, cuestión que no se tiene en cuenta normalmente como un factor clave a la hora de planificar la repoblación forestal.

A pesar del amplio rango de especies que pueden inicialmente tomar parte en un proyecto de repoblación, la metodología híbrida Delphi-AHP aquí propuesta permite a los técnicos forestales que deben tomar la decisión centrarse en las que van a proporcionar una mejor adaptación en cada rodal. Hay un acuerdo general acerca de las especies adecuadas para repoblar un rodal específico, pero no existe consenso acerca del peso de cada especie en la repoblación, lo que se calcula habitualmente de un modo discrecional. Como consecuencia, el éxito de una repoblación

forestal se apoya únicamente en experiencias aprendidas por procesos de prueba y error. El largo plazo de la regeneración forestal pide un poco más de precisión en el proceso de toma de decisiones. La metodología propuesta, junto con el análisis de consistencia descrito en apartados anteriores del presente trabajo puede llegar a reducir las elecciones aleatorias e incoherencias del proceso y, como hemos visto, integrar también, de un modo eficaz, el cambio climático en el proyecto de reforestación forestal.

Por tanto, debido al gran número de factores que se deben de considerar y la complejidad de un sistema que incorpora cambios a medio o largo plazo, una buena planificación forestal requiere que los que toman las decisiones utilicen un análisis multicriterio para evaluar las especies forestales potencialmente adecuadas para un rodal determinado, de acuerdo con su idoneidad a los criterios considerados. Como ya se ha apuntado, hoy en día no se deben de considerar únicamente criterios económicos, sino también aquellos que hacen que la repoblación forestal proporcione servicios ambientales a la sociedad y teniendo siempre en mente aquellos criterios que podrían estar relacionados con el cambio climático, tal y como recomienda la Comisión Europea.

En cada proyecto de repoblación forestal los factores a tener en cuenta en la selección de especies pueden no tener el mismo peso específico, sino que dependiendo de las características del rodal podría cambiar este valor. Por ello, de acuerdo con la metodología empleada en el presente trabajo, se les asigna un peso teniendo en cuenta las características del caso estudiado, esto es, una repoblación forestal dirigida a la conservación de la

biodiversidad, y para la zona de estudio considerada. Precisamente en esta posibilidad de evaluación diferente de los factores para cada caso reside la flexibilidad de la técnica, que puede ajustarse a cualquier necesidad con sólo cambiar las especies apropiadas o los factores a priorizar.

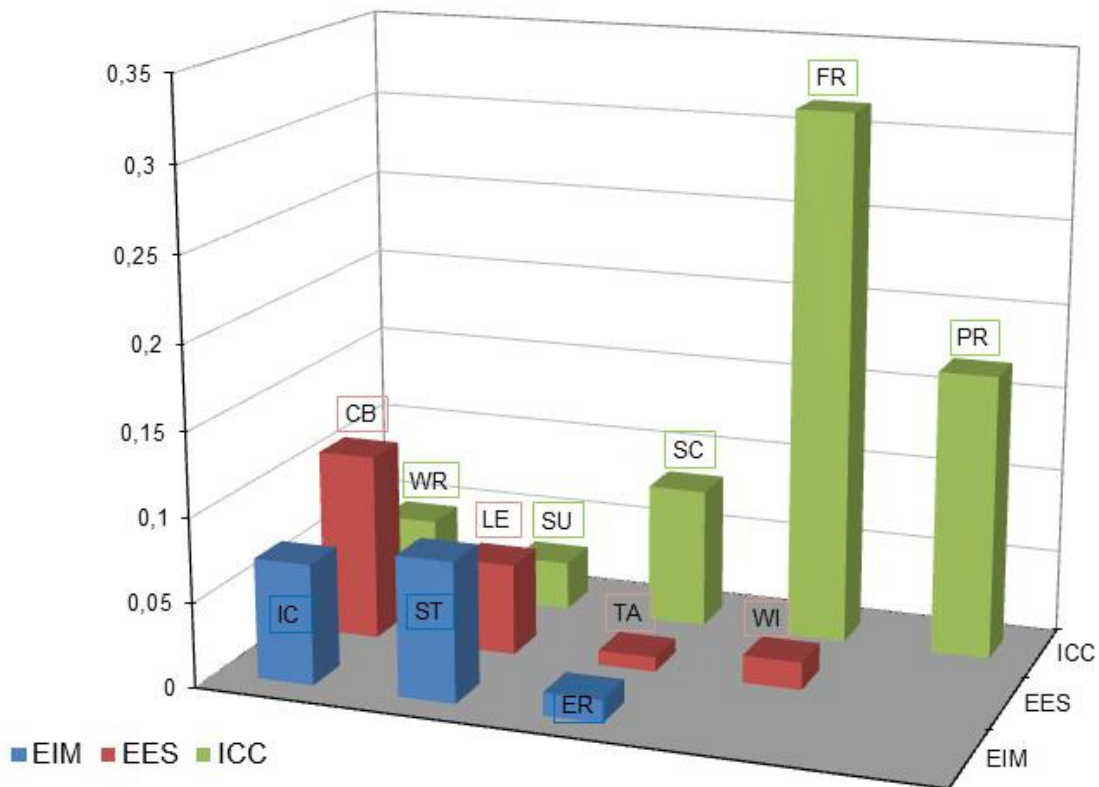


Fig. 43.- Importancia relativa asignada a cada subcriterio dentro de los tres grupos principales en la matriz de comparación por pares

Para el caso de estudio, se ha representado en la figura 43 el peso asignado por el panel de expertos a cada uno de los subcriterios considerados en los tres grupos o criterios principales, cada uno de los cuales se muestra con un color diferente en dicha figura. Tal y como se

puede observar los mayores valores corresponden con FR (respuesta al fuego forestal) y PR (riesgo de plagas y enfermedades), ambos subcriterios pertenecientes al grupo ICC, tal como era de esperar dada la creciente importancia del impacto del cambio climático sobre los ecosistemas forestales mediterráneos. El subcriterio CB (conservación de la biodiversidad) se encuentra en tercera posición, de acuerdo con el objetivo de la repoblación forestal. En cuanto a los criterios de carácter económico, los expertos han dado mayor importancia a aquellos que invierten para lograr el éxito de la repoblación forestal, como IC (coste inicial o coste de establecimiento) y ST (tratamientos selvícolas) en lugar de dárselo al beneficio económico (ER), al que se le ha asignado un valor más bajo ya que pasa a ser de menor relevancia en comparación con el objetivo de la repoblación forestal.

En la figura 44 se aprecia la valoración dada de las especies seleccionadas de acuerdo con cada factor considerado en la repoblación forestal. Los resultados muestran que hay especies como *Quercus ilex* o *Prunus spinosa*, las cuales ofrecen un buen balance entre todos los factores que podrían afectar al éxito de la repoblación forestal y su viabilidad. Otras como *Crataegus monogyna*, sin embargo, presenta valores elevados de afinidad para ciertos factores, como la mejora de la fauna (WI) y bajos para otros, como la contribución a la biodiversidad (CB).

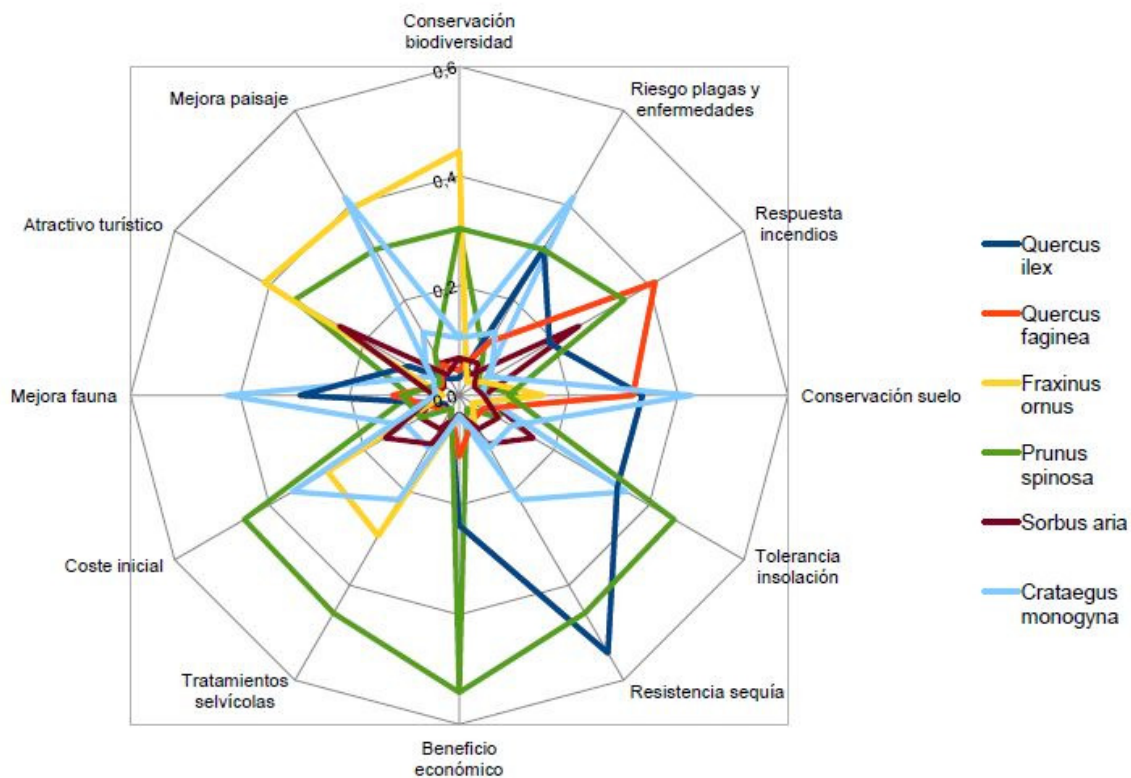


Fig. 44.- Evaluación de las especies para cada subcriterio propuesta por los expertos como resultado de la aplicación del AHP.

Para finalizar el análisis, se ha representado en la figura 45 el porcentaje de la mejor alternativa de distribución de las especies seleccionadas, de acuerdo con el método híbrido para la repoblación de un rodal del Parque Natural de Serra de Mariola. La repoblación puede llevarse a cabo de forma multiespecífica, de acuerdo con los porcentajes calculados para cada especie. Si bien es cierto que los porcentajes resultantes son bastante similares para cada una de las especies seleccionadas, para algunas como *Quercus faginea* este valor llega a ser casi el doble que para otras como *Sorbus aria*. No obstante, cabe señalar que la adecuada distribución de las especies según las características del rodal constituye

un aspecto específico del trabajo de campo en un proyecto de repoblación forestal.

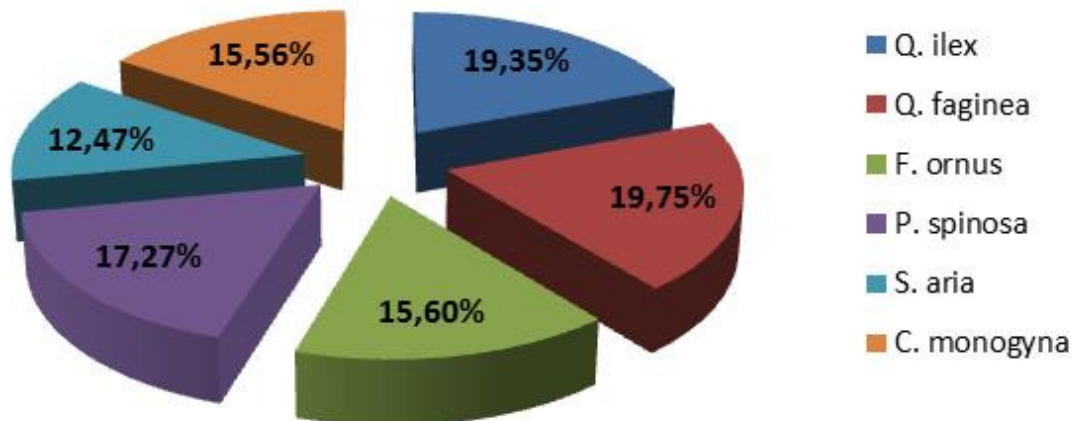


Fig. 45.- Porcentaje de distribución de las especies seleccionadas

La repoblación forestal puede llevarse a cabo, por tanto, con varias especies, planificando el proceso de acuerdo con los porcentajes aquí calculados. Este sistema de apoyo a la toma de decisión proporciona una metodología precisa para dar coherencia al proceso de selección de especies. Finalmente cabe señalar que esta metodología puede aplicarse para otros aspectos tales como la selección del método más idóneo de repoblación o de preparación del suelo para la repoblación. Esta posibilidad de ajuste de la metodología aquí desarrollada enfatiza su versatilidad en un mundo cada vez más complejo, donde nos vemos obligados cada día a tratar con procesos que involucran varias variables o

varios grupos de presión que afectan a la toma de decisiones y que a su vez pueden interactuar entre ellos. El sector forestal no constituye una excepción, y hay actualmente una falta de conocimiento acerca de cómo introducir en la planificación forestal factores relacionados con el cambio climático. La metodología híbrida aquí descrita nos permite analizar tanto los criterios tradicionales como aquellos relacionados con el cambio climático en los proyectos de repoblaciones forestales.

Las líneas futuras de investigación serían:

- Aplicar técnicas multicriterio, considerando el método utilizado para la repoblación forestal, ya que tanto la siembra como la plantación presentan tanto ventajas como desventajas. Hay otros factores condicionantes como pueden ser la estación, la especie a introducir, las condiciones edáficas, así como factores culturales y otros de tipo social o económico.
- La forma de preparación del suelo en un proyecto de repoblación forestal, ya sea puntual, lineal, a hecho o en fajas, con o sin inversión de horizontes, manual o mecanizada, de profundidad baja, media o alta, es una decisión compleja que implica muchos factores. En la actualidad las decisiones se basan normalmente en un solo criterio, principalmente de carácter económico, por lo que sería conveniente analizarlas desde un punto de vista multicriterio. Debería tenerse en cuenta, además de económico, otro como la calidad del suelo, la pendiente, pedregosidad del perfil, el régimen hídrico de la estación, el método de repoblación empleado y otros efectos sobre el paisaje o aspectos sociales.

11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11.- Referencias bibliográficas.

Allué Andrade JL (1990) Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias p.221. Madrid

Amiri MJ, Mahiny AS, Hosseini SM, Jalali SG, Ezadkhasty Z y Karami SH (2013) OWA Analysis for Ecological Capability Assessment in Watersheds. *International Journal of Environmental Research.*, 7(1): 241-254

Ananda J, Herath G (2009) A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics* 68 (10): 2535-2548

Barajas-Guzmán MG, Barradas VL (2013) Costs and benefits of the use of mulches in deciduous tropical reforestation. *Botanical Sciences* 91 (3): 363-370

Bhave AG, Mishra A, Raghuwanshi NS (2014) Evaluation of hydrological effect of stakeholder prioritized climate change adaptation options based on multi-model regional climate projections. *Climatic Change* 123: 225-239

Bonet A (2004) Secondary succession of semi-arid Mediterranean old-fields in south-eastern Spain: insights for conservation and restoration of degraded lands. *Journal of Arid Environments* 56: 213-233

Boucher Y, Grondin P, Auger I (2014) Land use history (1840-2005) and physiography as determinants of southern boreal forests. *Landscape Ecology* 29 (3): 437-450

Cabrera HM (2002) Ecophysiological responses of plants in ecosystems with Mediterranean-like climate and high mountain environments. *Revista chilena de historia natural* 75 (3): 625-637

Canto-Perello J, Curiel-Esparza J, Calvo V (2013) Criticality and threat analysis on utility tunnels for planning security policies of utilities in urban underground space. *Expert Systems with Applications* 40 (11): 4707-4714

Castejón MA, Sánchez F, Elena-Roselló R (1998) SIGREFOR. Sistema de Información Geográfica para la Reforestación. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid

Castro J, Zamora R, Hódar JA, Gómez JM (2002) Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restoration Ecology* 10 (2): 297-305

Cavanilles AJ (1795-1797) Observaciones sobre la historia natural, geográfica, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia. Tomo Segundo. Ed. Albatros. Valencia 2002

Cazadoresdebolets.wordpress.com (2015) <https://cazadoresdebolets.wordpress.com/tag/rebollones-en-vistabella/> Acceso 22 Septiembre 2015

Cebrián R (1994) Montañas valencianas. Comarcas alicantinas. Servei de Publicacions Centre Excursionista de València. Valencia

Chandler C, Cheney P, Thomas P, Trabaud L, Williams D (1983) Fire in forestry. John Wiley & Sons, NY Vol I

CIDAM (Centro de Información y Documentación Ambiental) (2015) <http://www.begv.gva.es/cidam/tlpcma.html?URL=http://www.begv.gva.es/CIDAMCGI/BASIS/TLPCMA/WWW/CAT/SDW?M=1&W=KEYWORDS+PH+L IKE+%22Mariola%22>. Acceso 21 Septiembre 2015

CMA (Conselleria de Medio Ambiente) (2015) Parque Natural de la Serra de Mariola. Memorias de gestión. <http://bdb.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=60718&idioma=C> . Acceso 23 Septiembre 2015

Collaborative Partnership on Forests (CPF) for a coordinated forest-sector response to climate change (2008) Strategic framework for forests and

climate change. <http://www.fao.org/forestry/30137-08bfac75588a0dbd482af0ea63bcb4de.pdf>. Acceso 11 Octubre 2014

Connell JH, Slayter RO (1977) Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 98: 1119-1144

Cram S, Sommer I, Morales LM, Oropeza O, Carmona E, González-Medrano F (2006) Suitability of the vegetation types in Mexico's Tamaulipas state for the siting of hazardous waste treatment plants. *Journal of Environmental Management* 80 (1): 13-24

Curiel-Esparza J, Canto-Perello J (2013) Selecting utilities placement techniques in urban underground engineering. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2): 276-285

Curiel-Esparza J, Cuenca-Ruiz MA, Martin-Utrillas M, Canto-Perello J (2014) Selecting a sustainable disinfection technique for wastewater reuse projects. *Water* 6 (9): 2732-2747

Dalkey N, Helmer O (1963) An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science* 9 (3): 458-467

Diaz-Balteiro L, Romero C (2008) Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. *Forest Ecology and Management* 255 (8-9): 3222-3241

DIRECTIVA HÁBITATS (1992) Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DOUEL núm. 206 de 22 de julio de 1992)

Dong Y, Zhang G, Hong W-C, Xu Y (2010) Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems* 49: 281-289

Edwards D, Jay M, Jensen FS, Lucas B, Marzano M, Montagne C, Peace A, Weiss G (2012a) Public preferences for structural attributes of forests: Towards a pan-European perspective. *Forest Policy and Economics* 19: 12-19

Edwards DM, Jay M, Jensen FS, Lucas B, Marzano M, Montagne C, Peace A, Weiss G (2012b) Public preferences across Europe for different forest stand types as sites for recreation. *Ecology and Society* 17 (1): 27

Espelta JM, Retana J, Habrouk A (2003) An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180 (1-3): 185-198

EUCOM (European Commission) (1998) Communication from the Commission to the Council and to the European Parliament on a Forestry Strategy for the EU. COM (1998) 649 (http://ec.europa.eu/agriculture/fore/publi/1998_649_en.pdf) Acceso 30 Agosto 2015

EUCOM (European Commission) (2006) EU Forest Action Plan. COM (2006) 302 (http://ec.europa.eu/agriculture/fore/action_plan/com_en.pdf) Acceso 30 Agosto 2015

EUCOM (European Commission) (2011) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Biodiversity Strategy to 2020 COM (2011)244 (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0244&from=EN>) Acceso 30 Agosto 2015

EUCOM (European Commission) (2013) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on a new EU Forestry Strategy: for forests and the forest-based sector. COM (2013) 659 (http://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy/staff-working-doc_en.pdf) Acceso 30 Agosto 2015

EUCON (European Council) (1999) EU Forestry Strategy. Council Resolution 1999/C/ 56/01. (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:1999:056:0001:0004:EN:PDF>) Acceso 30 Agosto 2015

EUPAR (European Parliament) (2011) European Parliament Resolution of 11 May 2011 on the Commission Green Paper on forest protection and information in the EU: preparing forests for climate change. (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&language=EN&reference=P7-TA-2011-226>) Acceso 30 Agosto 2015

Ezebilo EE (2012) Forest stakeholder participation in improving game habitat in Swedish forests. Sustainability 4 (7): 1580-1595

Felicísimo AM (2003) Uses of spatial predictive models in forested areas. IV International Conference on Spatial Planning. Zaragoza, 2-4 April 2003. <http://www.etsimo.uniovi.es/feli/index2.html>. Acceso 10 Enero 2013

Felicísimo AM (2002) GIS and logistic regression as tools for environmental management: a coastal cliff vegetation model in Northern Spain. MIS 2002 Management Information Systems 2002, Wessex Institute of Technology, Halkidiki, Grecia, 24-26. April 2002, pp 215-224. <http://www.etsimo.uniovi.es/feli/index2.html>. Acceso 10 Enero 2013

Flugman E, Mozumder P, Randhir T (2012) Facilitating adaptation to global climate change: perspectives from experts and decision makers serving the Florida Keys. Climatic Change 112:1015-1035

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013) Climate change guidelines for forest managers. <http://www.fao.org/docrep/018/i3383e/i3383e00.htm>. Acceso 11 Octubre 2014

Forman E, Peniwati K (1995) Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research 108: 165-169

Gandullo JM, Sánchez-Palomares O (1994) Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid

García-López JM, Allué-Camacho C (2010) Effects of climate change on the distribution of *Pinus sylvestris* L stands in Spain A phytoclimatic approach to defining management alternatives. *Forest Systems* 19 (3): 329-339

García-López JM, Allué-Camacho C (2003) Aplicación de la teoría de la envolvente convexa a la mejora del sistema fitoclimático Allué-Andrade. *Ecología* 17: 329-343

García-López JM, Allué-Camacho C (2008) Phytoclimatic versatility and potential diversity of natural arboreal forest cover in peninsular Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17 (3): 297-307

García-López JM, Allué-Camacho C (2009) CLIMAFORREST 1.0 Un programa actualizado para la diagnosis fitoclimática. *Montes* 96: 27-32

García-Salmerón J (1981) Restauración de espacios naturales degradados. *Forestación y Reforestación (III)*. En: Tratado del Medio Natural (Ramos, JL; dir.). Universidad Politécnica de Madrid. Vol IV, pp. 121-172. Madrid

Garson GD (2013) *The Delphi Method in Quantitative Research Statistical Associates Blue Book Series*, Asheboro

Garzón MB, Alia R, Robson TM, Zavala MA (2011) Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 20 (5): 766-778

Gilliams S, Raymaekers D, Muys B, Van Orshoven J. (2005). Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. *Computers and Electronics in Agriculture* 49 (1): 142-158

Gómez JM (2003) Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26: 573-549

Gómez-Aparicio L, Garcia-Valdes R, Ruiz-Benito P, Zavala MA (2011) Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change. *Global Change Biology* 17 (7): 2400-2414

Gomontean B, Gajaseni J, Edwards-Jones G, Gajaseni N (2008) The development of appropriate ecological criteria and indicators for community forest conservation using participatory methods: A case study in northeastern Thailand. *Ecological Indicators* 8 (5): 614-624

González JR, Pukkala T (2007) Characterization of forest fires in Catalonia (north-east Spain). *European Journal of Forest Research* 126 (3): 421-429

González-Vázquez E (1947) *Selvicultura*. Vol I. Editorial Dossat. Madrid

Gualda Gómez CE (1988) *La Sierra de Mariola*. Ed. Universidad de Alicante. Alicante

Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (1975) Mapa geológico de España, Escala 1:50.000. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid

Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC (2014a) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Working Group III. http://report.mitigation2014.org/drafts/finaldraftpostplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_chapter11.pdf Acceso 11 Octubre 2014

Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC (2014b) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II. http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf Acceso 11 Octubre 2014

International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2004). Afforestation and Reforestation for Climate Change Mitigation: Potentials for Pan-European Action. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2004-066.pdf>. Acceso 12 Octubre 2014

Investigaciones Geológicas y Mineras, SA (INGEMISA) (1987a) Mapa geocientífico de la provincia de Valencia (Escala 1:200.000). Dir. Auernheimer C. Ed. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Administració Pública, Agencia del Medio Ambiente

Investigaciones Geológicas y Mineras, SA (INGEMISA) (1987b) Mapa geocientífico de la provincia de Alicante (Escala 1:200.000). Dir. Auernheimer C. Ed. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Administració Pública, Agencia del Medio Ambiente

Kangas J, Kangas A (2005) Multiple criteria decision support in forest management – the approach, methods applied, and experiences gained. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2): 133-143

Kaya T, Kahraman C (2011) Fuzzy multiple criteria forestry decision making based on an integrated VIKOR and AHP approach. *Expert Systems with Applications* 38 (6): 7326-7333

Ki-moon B (2008) United Nations - Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries (UN-REDD Programme). *FAO's Forest and Climate Change Programme, United Nations Environment Programme, New York*

Koprowski M, Dunker P (2012) Tree ring width and wood density as the indicators of climatic factors and insect outbreaks affecting spruce growth. *Ecological Indicators* 23: 332-337

Kozlowski T, Kramer PJ, Pallardy SG (1991) *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego

Laguna M (1883) Flora forestal española. Imprenta del Colegio Nacional de Sordos-Mudos y Ciegos. Madrid. Edición facsímil. Xunta de Galicia 1993

Landeta J (1999) El Método Delphi: una técnica de previsión del futuro. Ed. Ariel

Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana (LENPCV) (1994) DOGV número 2423 de fecha 09.01.1995

LIC (2006) Decisión de la Comisión, de 19 de julio de 2006, por la que se adopta, de conformidad con la Directiva 92/42/CEE del Consejo, la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea

Li Y, Xiong W, Hu W, Berry P, Ju H, Lin E, Wang W, Li K, Pan J (2014) Integrated assessment of China's agricultural vulnerability to climate change: a multi-indicator approach. Climatic Change. doi: 10.1007/s10584-014-1165-5

Linares JC, Delgado-Huertas A, Carreira JA (2011) Climatic trends and different drought adaptive capacity and vulnerability in a mixed *Abies pinsapo*-*Pinus halepensis* forest. Climatic Change 105:67-90

Long SP, Humphires S, Falkowski PG (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 45: 633-662

López JA, Martínez, JJ, Orozco E, Ferrandis P, Selva M (2001) Evaluación de técnicas de forestación con encinas y arbustos mediterráneos en terrenos agrícolas en La Mancha III. Congreso Forestal Español. Granada 3-5 Septiembre. Tomo II, pp. 143-149

Lupp G, Konold W, Bastian O (2013) Landscape management and landscape changes towards more naturalness and wilderness: Effects on

scenic qualities-The case of the Murtiz National Park in Germany. *Journal for Nature Conservation* 21 (1): 10-21

Madariaga JA (1909) *Repoblación forestal. Medios de dar valor a eriales y terrenos pobres*. Imprenta alemana. Madrid

Marqués AF, Ficko A, Kangas A, Rosset C, Ferreti F, Rasinmaki J, Packalen T, Gordon S (2013) Empirical guidelines for forest management decision support systems based on the past experiences of the expert's community. *Forest systems* 22(2): 320-339

Martin-Utrillas M, Juan-García F, Canto-Perello J, Curiel-Esparza J (2014a) Optimal infrastructure selection to boost regional sustainable economy. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 22 (1): 30-38

Martin-Utrillas M, Reyes-Medina M, Curiel-Esparza J, Canto-Perello J (2014b) Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills. *Clean Technologies and Environmental Policy* 17(4): 873-885

Mataix-Solera J, Cerdá A, Arcenegui V, Jordan A, Zavala LM (2011) Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews* 109 (1-2) 44-60

Mendoza GA, Martins H (2006) Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230 (1-3) 1-22

Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE) (2002) Expert Level Meeting. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management. http://www.foresteurope.org/docs/reporting/ViennaImproved_Indicators.pdf. Acceso 11 Octubre 2014

Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE) (2007) Warsaw Ministerial Conference: Forests for quality of life. Pan-

European Recommendations for Afforestation and Reforestation in the context of the UNFCCC, with a special focus on mitigation and adaptation to climate change. http://www.foresteurope.org/docs/other_meetings/2007/elm2/ELM_2_5_2007_Draft_Recommendations_on_Afforestation_and_Reforestation.pdf. Acceso 10 Octubre 2014

Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (MCPFE) (2011) Oslo Ministerial Conference: European Forests 2020. Pan-European Guidelines for Afforestation and Reforestation with a special focus on the provisions of the UNFCCC. <http://www.foresteurope.org/documentos/Pan-EuropeanAfforestationReforestationGuidelines.pdf>. Acceso 10 Octubre 2014

Meddour-Sahar O, Meddour R, Leone V, Lovreglio R, Derridj A (2013) Analysis of forest fires causes and their motivations in northern Algeria: the Delphi method. *Forest-Biogeosciences and Forestry* 6: 247-254

Mendoza GA, Martins H (2006) Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230 (1-3): 1-22

Mendoza GA, Prabhu R (2003) Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management. *Forest Ecology and Management* 174 (1-3): 329-343

Mendoza GA, Prabhu R (2005) Combining participatory modeling and multi-criteria analysis for community-based forest management. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2): 145-156.

Miranda JD, Padilla FM, Puignaire FI (2004) Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas* 2004/I <http://www.aet.org/ecosistemas/041/investigacion4.htm> Acceso Abril 2014

Montero de Burgos JL (1990) Evolución vegetal. Óptimo natural y óptimo forestal. La regresión vegetal y la restauración forestal. *Ecología. Fuera de Serie* 1: 309-319

Montero de Burgos JL (1987) La regresión vegetal y la restauración forestal. Boletín de la Estación Central de Ecología 31: 5-22

Morote A, Orozco E, López F, del Cerro A, Andrés M, Selva M, Briongos J, Navarro R (2001) Aplicación de un sistema de información geográfica para la elección de especie en la forestación de terrenos agrícolas de la Mancha. III Congreso Forestal Español, Granada, 3-5 Septiembre. Tomo III, 62-68

Moreno JM, Viedma O, Zavala G, Luna B (2011) Landscape variables influencing forest fires in central Spain. International Journal of Wildland Fire 20 (5): 678-689

Navarro-Cerrillo RM, Griffith DM, Ramirez-Soria MJ, Pariona W, Golicher D, Palacios G (2011) Enrichment of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in logging gaps in Bolivia: The effects of planting method and silvicultural treatments on long-term seedling survival and growth. Forest Ecology and Management 262 (12): 2271-2280

Nielsen MR, Treue T (2012) Hunting for the benefits of joint forest management in the Eastern Afrotropical Biodiversity Hotspot: Effects on Bushmeat hunters and wildlife in the Udzungwa Mountains. World Development 40 (6): 12214-1239

Nordström EM, Eriksson LO, Öhman K (2011) Multiple criteria decision analysis with consideration to place-specific values in participatory forest planning. Silva Fennica 45 (2): 253-265.

Ojea E, Ruiz-Benito P, Markandya A, Zavala MA (2012) Wood provisioning in Mediterranean forests: A bottom-up spatial valuation approach. Forest policy and economics 20: 78-88

Orsi F, Geneletti D, Newton AC (2011) Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: An expert panel-based approach. Ecological Indicators 11: 337-347

PARQUENATURAL (2002) Decreto 3/2002, de 8 de enero, del Gobierno Valenciano, de declaración del Parque Natural de la Serra de Mariola (DOGV núm.4167, de 14.01.2002)

PATFOR (2013) Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana. Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente (CMA) Decreto 58/2013, de 3 de mayo, del Consell, por el que se aprueba el Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana (PATFOR) DOGV 7019 de 08052013. http://www.docv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=004345/2013&L=1. Acceso 11 Octubre 2014

Pemán-García J, Navarro-Cerrillo RM, Serrada-Hierro R (2006) Elección de especies en las repoblaciones forestales Contribuciones del profesor Ruiz de la Torre Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales: 87-102

Pita A (1951) Estudio de las especies más aptas y la forma de repoblación más apropiada para la restauración arbórea de la provincia de Madrid. Diputación Provincial de Madrid

PLANPREVIN (2006) Resolución de 22 de mayo de 2006, del conceller de Territori i Habitatge, por la que se aprueba el Plan de Prevención de Incendios Forestales del Parque Natural de la Serra Mariola (DOGV número 5271 de fecha 01.06.2006)

PNSM (2007) Decreto 3/2002, de 8 de enero, del Gobierno Valenciano, de declaración del Parque Natural de la Serra de Mariola (DOGV núm. 4167, de 14.01.2002)

PORN (2001) Decreto 76/2001, de 2 de abril, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de Recursos Naturales de la Serra de Mariola (DOGV núm. 3978, de 11.01.2001)

Prober SM, Thiele KR, Rundel PW, Yates CJ, Berry SL, Byrne M, Christidis L, Gosper CR, Grierson PF, Lemson K, Lyons T, Macfarlane C, O'Connoer MH, Scott JK, Standish RJ, Stock WD, van Etten EJB, Wardell-Johnson

GW, Watson A (2012) Facilitating adaptation of biodiversity to climate change: a conceptual framework applied to the world's largest Mediterranean-climate Woodland. *Climatic Change* 110:227-248

PRUG (2007) Decreto 79/2007, de 25 de mayo, del Consell, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de la Serra de Mariola (DOGV núm. 5523, de 30.05.2007)

Ramos JL (1965) Repoblaciones. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid

Reilly JR, Elderd BD (2014) Effects of biological control on long-term population dynamics: identifying unexpected outcomes. *Journal of Applied Ecology* 51 (1): 90-101

Rivas-Martínez S (1987) Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) Madrid

Rodrigo A, Brocano MJ, Retana J (1999) Regeneration patterns of Mediterranean forest communities after large wildfires: is aut succession the only response? En: *Forest fires: needs and innovations*, CINAR-EC DGXII, Athens, Greece, pp. 291-294

Roura-Pascual N, Richardson DM, Krug RM, Brown A, Chapman RA, Forsyth GG, Le Maitre DC, Robertson MP, Stafford L, Van Wilgen BW, Wannenburgh A, Wessels N, (2009) Ecology and management of alien plant invasions in South African fynbos: Accommodating key complexities in objective decision making. *Biological Conservation* 142 (8): 1595-1604

Ruiz-Benito P, Lines ER, Gomez-Aparicio L, Zavala MA, Coomes DA (2013) Patterns and Drivers of Tree Mortality in Iberian Forests: Climatic Effects are Modified by Competition. *Plos one* 8 (2) e56843. Doi:10.1371/journal.pone.0056843

Ruiz de la Torre J (1956) La vegetación natural del Norte de Marruecos y la elección de especies para su repoblación forestal. Servicio de Montes. Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales. Larache

Ruiz de la Torre J (1977) Especies dominantes en la vegetación española peninsular. Boletín de la Estación Central de Ecología 11: 13-24

Ruiz de la Torre J (1979) Árboles y arbustos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid

Ruiz de la Torre J (1981) Vegetación Natural. En: Tratado del Medio Natural (Ramos JL, dir.) Universidad Politécnica de Madrid, Vol III, 9-45

Ruiz de la Torre J (1990a) Mapa Forestal de España. Memoria General. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) Madrid

Ruiz de la Torre J (1990b) Distribución y características de las masas forestales españolas. Ecología, Fuera de Serie 1: 11-30

Ruiz de la Torre J (1990c) Memoria de vegetación. En: Valladolid (Hoja 4-4) Mapa Forestal de España 1:200.000 (Ruiz de la Torre J, dir.) Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) Madrid, pp. 41-77

Ruiz de la Torre J (2000a) Geobotánica general. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid

Ruiz de la Torre J (2000b) Botánica popular. Introducción a la Demobotánica. Fundación Conde del Valle de Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid

Ruiz de la Torre J (dir.) (2002) Mapa Forestal de España. Escala 1:1.000.000. Organismo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

Saaty TL (1980) The analytic hierarchy process. Mc Graw-Hill, New York

Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1 (1): 83-98

Saaty TL (2012) Decision making for leaders The analytic hierarchy process for decisions in a complex world. RWS Publications, Pittsburgh

Saaty TL (2013) The modern science of Multicriteria Decision Making and its practical applications: The AHP/ANP approach. *Operations Research* 61 (5): 1101-1118

Saaty TL, Peniwati K (2008) Group decision making: drawing out and reconciling differences. RWS Publications, Pittsburgh

Salehi E, Zebardast L, Yavri AR (2012) Detecting Forest Fragmentation with Morphological Image Processing in Golestan National Park in northeast of Iran. *International Journal of Environmental Research* 6 (2): 531-536

Sánchez-Gómez D, Valladares F, Zavala MA (2006) Performance of seedlings of Mediterranean woody species under experimental gradients of irradiance and water availability: trade-offs and evidence for niche differentiation. *New Phytologist* 170 (4): 795-805

Sánchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo RM, Swetnam TW, Zavala MA (2012) Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management* 271: 158-169

Schröter D, Cramer W, Leemans R, Prentice IC, Araujo MB, Arnell NW, Bondeau A, Bugmann H, Carter TR, Gracia CA, de la Vega-Leinert AC, Erhard M, Ewert F, Glendining M, House JI, Kankaanpää S, Klein RJT, Lavorel S, Lindner M, Metzger MJ, Meyer J, Mitchell TD, Reginster I, Rounsevell M, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes MT, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, Zaehle S, Zierl B (2005) Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310(25): 1333-1337

Selkimaki M, Gonzalez-Olabarria JR, Pukkala T (2012) Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain). *European Journal of Forest Research* 131 (3): 727-738

Senderismoyveg.blogspot.com (2015) <http://senderismoyvegetacin.blogspot.com.es/> Acceso 24 Septiembre 2015

Serrada R (2000) Apuntes de repoblaciones forestales. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid

Sheppard SRJ, Meitner M (2005) Using multi-criteria analysis and visualisation for sustainable forest management planning with stakeholder groups. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2): 171-187

Shoo LP, Hoffmann AA, Garnett S, Pressey RL, Williams YM, Taylor M, Falconi L, Yates CJ, Scott JK, Alagador D, Williams SE (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119: 239-246

Sousa de FES, Moura EA, Marinho-Soriano E (2012) Use of geographic information systems (GIS) to identify adequate sites for cultivation of the seaweed *Gracilaria birdiae* in Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 22 (4): 868-873

Tamburini G, Marini L, Hellrigl K, Salvadori C, Battisti A (2013) Effects of climate and density-dependent factors on population dynamics of the pine processionary moth in the Southern Alps. *Climatic Change* 121:701-712

Terradas J (2001) Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de las comunidades y paisajes. Ediciones Omega. Barcelona

Tonioloi M, Escarré J, Lepart J, Speranza M (2001) Facilitation and competition affecting the regeneration of *Quercus pubescens* Willd. *Ecoscience* 8 (3): 381-391

TRANS-SEA DIRECTIVE (2001) Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. DOUE núm. 197 de 21/07/2001, pp. 30-37

UIB (Universitat de les Illes Balears), 2015, <http://herbarivirtual.uib.es/cat-med/index.html> . Acceso 21 Septiembre 2015

Urbieto IR, Perez-Ramos IM, Zavala MA, Maranon T, Kobe RK (2008) Soil water content and emergence time control seedling establishment in three co-occurring Mediterranean oak species. Canadian Journal of Forest Research 38 (9): 2382-2393

Urli M, Delzon S, Eyermann A, Couallier V, Garcia-Valdes R, Zavala MA, Porte AJ (2014) Inferring shifts in tree species distribution using asymmetric distribution curves: a case study in the Iberian mountains. Journal of Vegetation Science 25 (1): 147-159

Van Lerberghe P, Balleux P (2001) Reforestación de tierras agrícolas. Guía Técnica. Institut pour le Développement Forestier

Vázquez EM (1995) Catálogo de Especies para Forestación en Extremadura. Servicio de Ordenación Forestal. Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Junta de Extremadura. Badajoz

Voggesser G, Lynn K, Daigle J, Lake FK, Ranco D (2013) Cultural impacts to tribes from climate change influences on forests. Climatic Change 120: 615-626

Vukicevik JS, Nedovic-Budic Z (2012) GIS Based multicriteria analysis in integration of SEA process into planning, case study: South West Region, Republic of Ireland. International Journal of Environmental Research 6 (4): 1053-1066

Walker LR (2005) Margalef y la sucesión ecológica. Ecosistemas 2005/1. <http://www.revistaecosistemas.net/> Acceso 10 enero 2006

Wang J, Chen J, Ju W, Li M (2010) A-SDSS: A GIS-based land use decision support system with consideration of carbon sequestration. *Environmental Modelling & Software* 25 (4): 539-553

Wolfslehner B, Vacik H, Lexer MJ (2005) Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2): 157-170

Ximénez de Embún J, Ceballos L (1939) Plan para la repoblación forestal de España. En: Tres trabajos forestales. Homenaje a Luis Ceballos en su centenario. Organismos de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid 1996

Xu ZL, Zhao CY, Feng ZD, Zhang F, Sher H, Wang C, Peng HH, Wang Y, Zhao Y, Wang Y, Peng SZ, Zheng XL (2013) Estimating realized and potential carbon storage benefits from reforestation and afforestation under climate change: a case study of the Qinghai spruce forests in the Qilian Mountains, northwestern China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18 (8): 1257-1268

Zamora R, Gómez L, Castro J, Hódar, JA, Gómez JM, Elola S, Montes J (2001) Los matorrales facilitan la supervivencia de los brinzales en el monte mediterráneo: evaluación de una técnica de repoblación forestal. III Congreso Forestal Español, Granada 3-5 Septiembre, Tomo II, pp. 154-159

Zavala MA, Espelta JM, Caspersen J, Retana J (2011) Interspecific differences in sapling performance with respect to light and aridity gradients in Mediterranean pine-oak forests: implications for species coexistence. *Canadian Journal of Forest Research* 41 (7): 1432-1444

Zavala M (2003) Dinámica y sucesión en los bosques mediterráneos. Modelos teóricos e implicaciones para la silvicultura. En: Restauración de Ecosistemas Mediterráneos (Rey JM, Espigares T, Nicolau JM eds) Universidad de Alcalá. Madrid pp.43-64

Zhou S, Yin Y, Xu W, Ji Z, Caldwell I, Ren J (2007) The costs and benefits of reforestation in Liping County, Guizhou Province, China. *Journal of Environmental Management* 85 (3): 722-735

ANEXO 1.- PUBLICACIÓN

ANEXO 1.- PUBLICACIÓN

Durante la realización de esta tesis doctoral, se ha redactado un artículo que fue aceptado el 27 de agosto de 2015 con número DOI 10.1088/1748-9326/10/9/094022 para su publicación en una revista de distribución internacional, ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, con ISSN 1748-9326. Según los datos obtenidos de la editorial el 6 de septiembre de 2015, las características de la revista son:

Full Journal Title	Environmental Research Letters
Abbreviated Journal Title (JCR)	ENVIRON RES LETT
Abbreviated Journal Title (ISO)	Environ. Res. Lett.
ISSN	1748-9326
Issues /Year	4
Publisher	IOP PUBLISHING LTD
Language	English
Journal Country/Territory	England
JCR Data	
Total Citations	4998
Impact Factor	3.906 for 2014
5-Year Impact Factor	4.419
Immediacy Index	0.563
Articles	327
Cited Half-life	3.1
Eigenfactor Metrics	
Eigenfactor Score	0.02683
Article Influence Score	1.825

Ranking of the journal in its subject categories based on Impact Factor			
<i>Category Name</i>	<i>Total Journals in Category</i>	<i>Journal Rank in Category</i>	<i>Quartile in Category</i>
Environmental Sciences	221	23	Q1
Meteorology & Atmospheric Sciences	77	8	Q1

El título de la publicación es “Integrating climate change criteria in reforestation projects using a hybrid decision-support system”. Se adjuntan como referencia la primera y última página.

Environmental Research Letters



LETTER

Integrating climate change criteria in reforestation projects using a hybrid decision-support system

OPEN ACCESS

RECEIVED

27 April 2015

REVISED

27 August 2015

ACCEPTED FOR PUBLICATION

27 August 2015

PUBLISHED

16 September 2015

Jorge Curiel-Esparza¹, Nuria Gonzalez-Utrillas², Julian Canto-Perello^{3,4} and Manuel Martin-Utrillas¹¹ Physical Technologies Center, Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia, Spain² Doctoral School, Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia, Spain³ Department of Construction Engineering and Civil Engineering Projects, Universitat Politècnica de Valencia, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia, Spain⁴ Author to whom correspondence should be addressed

E-mail: jcuriel@fis.upv.es, mgmartin@fis.upv.es, nugonut@upv.es and jcantope@cst.upv.es

Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence.

Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

**Keywords:** AHP, Delphi, reforestation, climate change, Mediterranean region**Abstract**

The selection of appropriate species in a reforestation project has always been a complex decision-making problem in which, due mostly to government policies and other stakeholders, not only economic criteria but also other environmental issues interact. Climate change has not usually been taken into account in traditional reforestation decision-making strategies and management procedures. Moreover, there is a lack of agreement on the percentage of each one of the species in reforestation planning, which is usually calculated in a discretionary way. In this context, an effective multicriteria technique has been developed in order to improve the process of selecting species for reforestation in the Mediterranean region of Spain. A hybrid Delphi-AHP methodology is proposed, which includes a consistency analysis in order to reduce random choices. As a result, this technique provides an optimal percentage distribution of the appropriate species to be used in reforestation planning. The highest values of the weight given for each subcriteria corresponded to FR (fire forest response) and PR (pests and diseases risk), because of the increasing importance of the impact of climate change in the forest. However, CB (conservation of biodiversity) was in the third position in line with the aim of reforestation. Therefore, the most suitable species were *Quercus faginea* (19.75%) and *Quercus ilex* (19.35%), which offer a good balance between all the factors affecting the success and viability of reforestation.

1. Introduction

On 24th September 2008, the current Secretary-General of the United Nations stated with reference to the United Nations Collaborative Program on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries (UN-REDD) that climate change cannot be mitigated without the proactive management of the world's forests. This, however, will be a complex and challenging feat (Kimoon 2008). Monitoring the effectiveness of planned interventions is a key factor in developing reforestation projects (Salvini *et al* 2014). Following this line, a new European Union Forest Strategy for forests and the forest-based sector has been proposed (EUCOM 2013), implementing the strategy adopted

(EUCON 1999) and related to the EU Forest Action Plan (EUCOM 2006). The EU Forest Strategy (EUCOM 1998) points out the challenges facing the policy and legal framework for forests in the EU as well as the common forest policy objectives for EU Member States. This European strategy emphasizes the importance of the forests' multifunctional role in the development of society. It shows that forests and forestry can successfully provide society with multiple benefits. Thus the European Parliament (EUPAR 2011) considers that Mediterranean forests are highly valued sinks of atmospheric carbon and sources of European diversity and should therefore benefit from enhanced protection. Furthermore, the EU biodiversity strategy to 2020 (EUCOM 2011) encourages Member States to ensure that forestation is

- Comunitat Valenciana (PATFOR) DOGV 7019 de 08052013 (http://docv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=004345/2013&L=1)
- Peman Garcia J, Navarro Cerrillo R M and Serrada Hierro R 2006 Eleccion de especies en las repoblaciones forestales *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales* **15** 87–102 ([http://www.inia.es/gcontrec/pub/087-102-\(29\)-Eleccion_1169111282265.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/087-102-(29)-Eleccion_1169111282265.pdf))
- Pettorelli N 2012 Climate change as a main driver of ecological research *J. Appl. Ecol.* **49** 542–5
- Ramos M C and Martinez-Casasnovas J A 2015 Climate change influence on runoff and soil losses in a rainfed basin with Mediterranean climate *Nat. Hazards* **78** 1065–89
- Reilly J R and Elder D B D 2014 Effects of biological control on long-term population dynamics: identifying unexpected outcomes *J. Appl. Ecol.* **51** 90–101
- Roura-Pascual N et al 2009 Ecology and management of alien plant invasions in South African fynbos: accommodating key complexities in objective decision making *Biol. Conserv.* **142** 1595–604
- Ruiz-Benito P, Lines E R, Gomez-Aparicio L, Zavala M A and Coomes D A 2013 Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition *PLoS ONE* **8** e56843
- Saaty T L 2008 Decision making with the analytic hierarchy process *Int. J. Serv. Sci.* **1** 83–98
- Saaty T L 2012 *Decision Making for Leaders The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World* (Pittsburgh: Rws Publications)
- Saaty T L 2013 The modern science of Multicriteria Decision Making and its practical applications: the AHP/ANP approach *Oper. Res.* **61** 1101–18
- Salvini G, Herold M, De Sy V, Kissinger G, Brockhaus M and Skutsch M 2014 How countries link REDD+ interventions to drivers in their readiness plans: implications for monitoring systems *Environ. Res. Lett.* **9** 074004
- Sanchez-Gomez D, Valladares F and Zavala M A 2006 Performance of seedlings of Mediterranean woody species under experimental gradients of irradiance and water availability: trade-offs and evidence for niche differentiation *New Phytol.* **170** 795–805
- Sanchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo R M, Swetnam T W and Zavala M A 2012 Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations *For. Ecol. Manage.* **271** 158–69
- Schröter D et al 2005 Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe *Science* **310** 1333–7
- Selkima M, Gonzalez-Olabarria J R and Pukkala T 2012 Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain) *Eur. J. For. Res.* **131** 727–38
- Sexton J P, McIntyre P J, Angert A L and Rice K J 2009 Evolution and ecology of species range limits *Annu. Rev. Ecol. Evol. Systemat* **40** 415–36
- Sullivan P F, Ellison S B Z, McNown R W, Brownlee A H and Sveinbjornsson B 2015 Evidence of soil nutrient availability as the proximate constraint on growth of treeline trees in northwest Alaska *Ecol* **96** 716–27
- Urbietá I R, Perez-Ramos I M, Zavala M A, Maranon T and Kobe R K 2008 Soil water content and emergence time control seedling establishment in three co-occurring Mediterranean oak species *Can. J. Forest Res.* **38** 2382–93
- Urli M, Delzon S, Eyermann A, Couallier V, Garcia-Valdes R, Zavala M A and Porte A J 2014 Inferring shifts in tree species distribution using asymmetric distribution curves: a case study in the Iberian mountains *J. Veg. Sci.* **25** 147–59
- Vautard R et al 2014 The European climate under a 2 °C global warming *Environ. Res. Lett.* **9** 034006
- Vazquez A, Gonzalez-Alonso F, Cuevas J M, Calle A and Casanova J L 2002 Relationship between drought indicators based on remote sensing and forest fires incidence in Spain *Observing our Environment for Space: New Solutions for a new Millennium 21st Annual Symp. of the European-Association-of-Remote-Sensing-Laboratories 111+* ed G Begni (Paris)
- Velmurugan A, Swarnam T P and Lal R 2015 Effect of land shaping on soil properties and crop yield in tsunami inundated coastal soils of Southern Andaman Island *Agric. Ecosyst. Environ.* **206** 1–9
- Vicente-Serrano S M et al 2014 Evidence of increasing drought severity caused by temperature in rise southern Europe *Environ. Res. Lett.* **9** 044001
- Williams S E, Shoo L P, Isaac J L, Hoffmann A A and Langham G 2008 Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change *PLoS Biol.* **6** e325
- Xu Z L et al 2013 Estimating realized and potential carbon storage benefits from reforestation and afforestation under climate change: a case study of the Qinghai spruce forests in the Qilian Mountains, northwestern China *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* **18** 1257–68
- Zhou S, Yin Y, Xu W, Ji Z, Caldwell I and Ren J 2007 The costs and benefits of reforestation in Liping County, Guizhou Province, China *J. Environ. Manage.* **85** 722–35