



**Metodología multicriterio para
la integración de las preferencias
de la sociedad en la gestión del
territorio agrícola: aplicación
al olivar de baja producción
(mención de honor)**

**Manuel Arriaza Balmón
Alexandr Nekhay**

XI Premio Unicaja de Investigación Agraria





**Metodología multicriterio para
la integración de las preferencias
de la sociedad en la gestión del
territorio agrícola: aplicación
al olivar de baja producción
(mención de honor)**

**Manuel Arriaza Balmón
Alexandr Nekhay**

XI Premio Unicaja de Investigación Agraria

Reunidos en la Ciudad de Málaga el día 29 de Mayo de 2009 un jurado presidido por Braulio Medel Cámara y compuesto por Clara E. Aguilera García, José Javier Rodríguez Alcaide, José Emilio Guerrero Ginel, José Manuel Domínguez Martínez y Francisco Villalba Cabello, decidió por unanimidad conceder a esta investigación una mención especial del XI PREMIO UNICAJA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA. El premio fue convocado por Analistas Económicos de Andalucía en el otoño de 2008 y cuenta con el patrocinio de la Fundación UNICAJA.

Metodología multicriterio para la integración de las preferencias de la sociedad en la gestión del territorio agrícola: aplicación al olivar de baja producción

Equipo de Investigación

Manuel Arriaza Balmón
Alexandr Nekhay

Proyecto, Elaboración y Edición:

Analistas Económicos de Andalucía

C/ Molina Lario, 13, 5ª planta. 29015 MÁLAGA
Tel.: 952 22 53 05
Fax: 952 21 20 73
e-mail: aea@unicaja.es
www.analistaseconomicos.com
www.economiaandaluza.es



D.L.: MA-834-2010
I.S.BN.: 978-84-92443-07-9

La responsabilidad de las opiniones emitidas en este documento corresponde exclusivamente de los autores que no son, necesariamente, las de UNICAJA o Analistas Económicos de Andalucía.

Reservados todos los derechos. Queda prohibido reproducir parte alguna de esta publicación, su tratamiento informático o la transcripción por cualquier medio, electrónico, mecánico, reprografía y otro sin el permiso previo y por escrito del editor.

© Analistas Económicos de Andalucía, 2010

Foto portada: Salvador García Postigo

METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS PREFERENCIAS DE LA SOCIEDAD EN LA GESTIÓN DEL TERRITORIO AGRÍCOLA: APLICACIÓN AL OLIVAR DE BAJA PRODUCCIÓN

Índice

	PRESENTACIÓN	9
	AGRADECIMIENTOS	11
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN	13
	I.1 Justificación del estudio.....	15
	I.2 Objetivos del estudio.....	16
	I.3 Del paradigma de la multifuncionalidad a la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas agrarios	17
	I.4 Organización del estudio	21
CAPÍTULO II	ENFOQUE METODOLÓGICO	23
	II.1 Consideración matemática de los sistemas agrarios sostenibles.....	25
	II.2 Fuentes y estructura de la información utilizada	30
CAPÍTULO III	ZONA DE ESTUDIO Y ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DEL OLIVAR	33
	III.1 Importancia del olivar de montaña en Andalucía.....	35
	III.2 Descripción de la zona de estudio.....	36
	III.3 Alternativas de sistemas de producción y gestión del olivar de Montoro.....	40
CAPÍTULO IV	MODELOS ESPACIALES PARCIALES Y MODELO GENERAL	59
	IV.1 Los Sistemas de Información Geográfica.....	61
	IV.2 Modelos parciales de ordenación del territorio olivarero	67
CAPÍTULO V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	101
	V.1 Opinión de la Sociedad sobre las funciones que debe cumplir el olivar andaluz.....	103
	V.2 Determinación de la contribución de cada sistema de gestión del olivar a la consecución de las funciones demandadas por la Sociedad.....	105
	V.3 Obtención de mapas parciales de optimización del territorio	106
	V.4 Modelo general de uso óptimo del territorio de olivar ..	118
	V.5 Discusión de los resultados	127
CAPÍTULO VI	CONCLUSIONES	131
	ANEXOS	135
	APÉNDICES	159
	BIBLIOGRAFÍA	187

Presentación

Braulio Medel Cámara. Presidente de Unicaja



NICAJA ha patrocinado la undécima edición del **Premio UNICAJA de Investigación Agraria**, serie iniciada en 1998, con el fin de estimular, promover y difundir el conocimiento científico en el campo de la investigación agraria, y servir de intercambio de ideas y experiencias dentro de la comunidad científica y entre los agentes económicos y sociales relacionados con el sector. El cumplimiento de esta apuesta decidida por el sector agrario y la industria agroalimentaria, sectores vitales para el crecimiento y desarrollo económicos, se consolida con la elaboración del Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía, que ya ha alcanzado su decimonovena edición, siguiendo una trayectoria paralela a la de la propia entidad.

En esta undécima convocatoria, se otorgó una mención especial al trabajo **METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS PREFERENCIAS DE LA SOCIEDAD EN LA GESTIÓN DEL TERRITORIO AGRÍCOLA: APLICACIÓN AL OLIVAR DE BAJA PRODUCCIÓN** presentado con el seudónimo "OLIVARES SOSTENIBLES DE ANDALUCIA" que tiene como investigador principal a *D. Manuel Arriaza Balmón*, del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), y el economista *D. Olexandr Nekhay*, trabajo que ahora ponemos a disposición de la sociedad en general.

El presente estudio analiza qué tipo de sistema de gestión del olivar, convencional, integrado, ecológico o su reconversión al bosque mediterráneo, responde en mayor medida a las preferencias de la sociedad por el cumplimiento de objetivos sociales, económicos y ambientales. La integración de la información primaria recogida a partir de una encuesta a la población y de un grupo de expertos por cada objetivo ligado con un Sistema de Información Geográfica, permitió determinar qué tipo de gestión del olivar es la más adecuada en cada zona del territorio.

La Fundación UNICAJA, a través de su Servicio de Publicaciones, edita la presente investigación, que se incorpora así a la amplia lista de documentos que promueve nuestra entidad, que tienen como finalidad alentar la investigación y divulgar sus resultados para un mejor conocimiento de la economía regional.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el **Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria** (INIA) a través de los proyectos RTA04-086 “Optimización social del uso del territorio agrícola: el caso de la recuperación paisajística de zonas de olivar con riesgo de abandono” y RTA2008-00022 “Metodología para la asignación de indicadores de sostenibilidad de explotaciones agrarias en regadío”.

Los autores agradecen el apoyo continuo en medios materiales y recursos humanos de la institución en donde se ha desarrollado la investigación, el **Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera** (IFAPA) de la Junta de Andalucía.

Asimismo, a todo el equipo investigador y técnicos de apoyo del Área de Economía y Sociología Agrarias del Centro Alameda del Obispo del IFAPA, **D. Francisco Barea Barea, D. José Antonio Gómez-Limón Rodríguez, D. José González Arenas, D. Alfonso Gutiérrez Rodríguez, D. Juan Palacios Guillén y D. Pedro Ruiz Avilés.**

A **D. Luis Alberto Rubio Pérez**, de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y a **D. Miguel Ángel Méndez Rodríguez y D. Luis Javier Román de Lara** de la empresa pública Desarrollo Agrario y Pesquero por la elaboración y cesión de información georreferenciada de la zona de estudio.

A todo el equipo técnico de **Agrobit Ingenieros S.L.**, el cual estuvo a cargo de la generación y manejo de los Sistemas de Información Geográfica que han permitido la realización del análisis territorial del estudio.

Por último, agradecemos a **Unicaja** y a **Analistas Económicos de Andalucía** la publicación de esta obra que pretende contribuir al debate sobre cómo abordar la sostenibilidad de la agricultura para garantizar el desarrollo del mundo rural andaluz.



Introducción

Capítulo I

I. | **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

I.1 | **Justificación del estudio**

El presente trabajo pretende contribuir al debate europeo sobre el uso sostenible del territorio agrícola desde una perspectiva social, económica y ambiental. Conceptualmente, el enfoque metodológico utilizado en el estudio integra estos tres aspectos de la sostenibilidad agraria, al mismo tiempo que permite, en su traducción territorial, determinar qué tipo de sistema de gestión es el más adecuado en cada zona para la maximización del bienestar de la Sociedad.

El olivar de montaña es el sistema agrario seleccionado para la implementación de la metodología de optimización del uso del territorio agrícola, no-solo por su importancia territorial, aproximadamente 220.000 ha, esto es, el 16 por ciento del olivar andaluz (Guzmán Álvarez, 2004), sino por las implicaciones medioambientales y sociales que se derivan del abandono de la actividad agrícola en estas zonas como consecuencia de su falta de rentabilidad tras el desacoplamiento del 93,61 por ciento las ayudas (Real Decreto 1617/2005, de 30 de diciembre). Por todo esto, resulta necesario poner a punto metodologías que permitan evaluar el grado de cumplimiento del uso actual del territorio agrícola con las demandas de la Sociedad, permitiendo así, en una fase posterior, una planificación adecuada que compagine estas demandas con los intereses legítimos de los productores.

Desde una perspectiva económica, el conjunto del olivar de montaña entra del denominado olivar de “baja producción” o “marginal”. Efectivamente, dadas las características productivas de estas explotaciones oleícolas (menores rendimientos y mayores costes), la entrada en vigor de la última reforma de la OCM del aceite de oliva provoca que éstas se sitúen por debajo del umbral de rentabilidad. Así, puede suponerse que buena parte de las mismas cesarán en su actividad productiva. Algunos autores (Arriaza *et al.*, 2002) señalan que este abandono puede ser incluso superior a un tercio de las explotaciones localizadas en áreas de montaña, número éste que puede verse incrementado por el descenso de los precios del aceite en origen. En efecto, con el nivel de precios actuales (1,8 €/kg frente a 2,1 €/kg en 2008), el olivar que se encontraría bajo el umbral de rentabilidad excedería ampliamente la cifra dada anteriormente.

En este contexto, ante la encrucijada en que se encuentran muchos sectores productivos frente al modelo dual de agricultura al que se encamina la agricultura europea (agricultura comercial *versus* agricultura suministradora de bienes y servicios no comerciales para la Sociedad), determinados sistemas agrarios de carácter extensivo, como el olivar de montaña, pueden encontrar

la legitimación social de su apoyo mediante ayudas específicas precisamente por el cumplimiento de estas funciones no remuneradas por el mercado. De esta forma, el hipotético pago respondería a esta especificidad territorial, recibiendo más aquellas explotaciones que acercaran más su sistema de gestión al considerado como óptimo por la Sociedad para esa zona.

Por último, cabe apuntar que, si bien la atención se centra en el olivar de montaña, el análisis no se reduce a este tipo de olivar. En efecto, el modelo de optimización general planteado contempla el análisis del olivar en su conjunto, en nuestro caso, el olivar del municipio de Montoro en la provincia de Córdoba, no obstante, es en las zonas menos productivas en donde se propone el cambio del tipo de gestión convencional, el existente actualmente en casi la totalidad del municipio, por otro tipo de gestión, integrada o ecológica, o incluso su abandono y restauración hacia el bosque mediterráneo. Por tanto, conceptualmente, la metodología propuesta es susceptible de aplicarse a la totalidad del territorio olivarero andaluz, más de un tercio de las tierras de cultivo en Andalucía, pero serán las zonas de mayor valor ecológico o mayor riesgo medioambiental (por erosión o incendios) las seleccionadas por el modelo de optimización general para acometer cambios en su modo de gestión.

I.2 | **Objetivos del estudio**

El estudio tiene como principal objetivo la determinación del tipo de gestión óptima del olivar basada en las preferencias de la Sociedad en una zona con predominio de olivar de montaña. La zona de estudio es el municipio de Montoro, en la provincia de Córdoba. Como alternativas se consideran los tipos de gestión convencional, integrada y ecológica, así como la posibilidad del abandono de la actividad agrícola y la restauración del territorio hacia el bosque mediterráneo como elemento de mejora de la biodiversidad.

El punto de partida del estudio es la valoración que la Sociedad le atribuye a cada una de las funciones comerciales y no comerciales que el olivar andaluz debería cumplir. De esta forma, el olivar se presenta como un sistema agrario que desempeña en la Sociedad no solo una *función comercial*, la producción de alimentos, sino además un conjunto de funciones no comerciales de tipo *social*, como la fijación de la población en el medio rural y la provisión de paisajes tradicionales y de tipo *medioambiental*, como la mejora de la biodiversidad, la prevención de incendios y la lucha contra la erosión.

En una segunda fase, diferentes grupos de expertos, dependiendo del objetivo a analizar, mediante el método de agregación de preferencias individuales del Proceso Analítico Jerárquico (conocido como AHP en su

terminología anglosajona, *Analytic Hierarchy Process*) o el Proceso de Redes Jerárquico (ANP, *Analytic Network Process*) determinaron en qué medida cada tipo de gestión o el abandono de la actividad agrícola contribuyen al objetivo analizado.

Cabe apuntar en esta presentación del estudio que los tipos de gestión que se proponen en el modelo general de optimización sólo indican la localización óptima para maximizar el grado de bienestar de la Sociedad, no obstante, sólo una correcta implementación de los instrumentos de política agraria necesarios para incentivar estos cambios puede conseguir el objetivo final perseguido. De esta forma, la metodología propuesta en el estudio permitiría localizar aquellos espacios del territorio que deberían ser compensados mediante primas específicas por la provisión de bienes y servicios no comerciales, tal y como subyace en la filosofía del reforzamiento del Segundo Pilar de la última reforma de la Política Agrícola Común.

1.3 Del paradigma de la multifuncionalidad a la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas agrarios

Si bien en el pasado reciente se ha producido un incremento espectacular de estudios cuyo objetivo era definir y cuantificar el conjunto de bienes y servicios no comerciales generados de forma simultánea a la propia actividad agraria, en los últimos años se produce la evolución hacia trabajos que buscan la integración de todas estas funciones para optimizar el uso de los recursos disponibles con el objeto de garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrarios en el largo plazo. Si bien ambos conceptos se mueven en el mismo terreno, el de la consideración de la actividad agraria más allá de la producción de alimentos y fibras, el enfoque multifuncional (OCDE, 2001a) focaliza su análisis en las actividades agrarias mientras el de sostenibilidad lo hace sobre el manejo de los recursos y en cómo se deben introducir cambios en los sistemas productivos para garantizar el nivel de bienestar social para las futuras generaciones (OCDE, 2001b).

El presente estudio combina ambos enfoques, en primer lugar analiza qué tipo de funciones son intrínsecas a los olivares andaluces y, en segundo, qué tipo de gestión de estos sistemas agrarios es el adecuado para garantizar su sostenibilidad en el largo plazo.

1.3.1. Carácter multifuncional de los olivares andaluces

El término multifuncionalidad, utilizado institucionalmente por la Comisión Europea por primera vez en 1999 (EC, 1999), hace referencia a las funciones que la agricultura proporciona a la sociedad como añadido a la tradicional producción de materias primas y alimentos (Hodge, 1991; Latacz-Lohmann, 1998). La principal característica de estas funciones consiste en la no-

existencia de un valor de mercado lo cual impide su adecuada provisión en términos de eficiencia económica.). Estas funciones se agrupan en:

- Funciones primarias: Producción de materias primas y alimentos.
- Funciones ambientales: Mantenimiento de la biodiversidad, conservación del suelo, provisión de paisajes agrarios y soporte de actividades recreativas.
- Funciones sociales: Creación de empleo y fijación de la población en el medio rural.

Si bien estas funciones son consustanciales a cualquier producción agrícola, es en el olivar en donde esta triple vertiente se percibe de forma clara, en especial en olivares localizados en zonas de montaña. El modelo general de optimización que se propone no limita su ámbito de actuación a olivares en zonas de montañas sin embargo es en éstos en donde se potencia su valor social como medio de fijación de la población rural y alto valor medioambiental y paisajístico. Por ello, los cambios de gestión derivados del proceso de optimización tienen mayor probabilidad de ocurrencia en estas zonas.

En esta misma línea, Calatrava (1997) y Viladomiu y Rosell (2004) ponen de manifiesto la multifuncionalidad del olivar de montaña, señalando otras funciones además de su función primaria de producción de aceite:

1. *Provisión de productos de saludables y de calidad*, generalmente producidos bajo alguna denominación de origen. En este sentido cabe apuntar que, si bien el conjunto del aceite de oliva es percibido como un producto saludable por la mayoría de la población (Philippidis y Sanjuán, 2004; Oleaga y García, 2006), tal consideración está condicionada por la presencia de residuos de productos fitosanitarios (Raymond *et al.*, 2005) en el producto final, que a su vez dependen del tipo sistema productivo empleado. En esta línea el olivar de montaña se caracteriza por emplear un sistema de cultivo extensivo, donde el uso de estos agroquímicos es muy limitado. Esta circunstancia hace de su producción de aceite resulte con menores niveles de residuos y, por tanto, más saludable.
2. *El mantenimiento de la población y los sistemas de producción locales*. En este línea cabe indicar que la evolución del concepto de desarrollo sostenible ha ido acentuando el carácter territorial del desarrollo económico de las zonas de montaña (Ortuño y Zamora, 2001). En el caso del olivar de montaña, cabe señalar que este sistema de producción se caracteriza por su alta demanda de mano de obra y una estructura basada en explotaciones de tipo familiar. Ambas

características favorecen la fijación de la población rural y permite la diversificación de las actividades económicas rurales, como la artesanía o el turismo rural (Gallardo y Ceña, 2004; Moreno, 2004 y Schmitz *et al.*, 2003).

3. *Limitación de las escorrentías y la erosión*, controlando con ello el régimen hídrico en las cabeceras de las cuencas hidrográficas. Así, debe señalarse cómo los terrenos con pendientes superiores al 10 por ciento de las regiones mediterráneas, dentro de los cuales se localiza el olivar de montaña, presentan un grave problema de erosión. Algunos estudios (e.g. Pastor *et al.*, 1999) consideran que las pérdidas de suelo en estas zonas pueden estar por encima de 80 t/ha-año. Este fenómeno erosivo produce como efecto negativo directo una reducción de la productividad agrícola, a lo que debe sumarse la progresiva desertificación del territorio, la colmatación de embalses, la contaminación de los recursos hídricos, etc. (Beaufoy y Pienkowski, 2000 y Cuesta Aguilar, 2005). En estas condiciones, el cultivo del olivar puede disminuir dicho problema, fijando los horizontes más superficiales del suelo con su sistema radicular. No obstante, el grado de desempeño de esta función ambiental es variable, dependiendo del sistema de cultivo empleado (tipo de labores realizadas, presencia o no de cubierta vegetal entre calles, etc.).
4. *La provisión de paisajes agrarios tradicionales y el mantenimiento de la diversidad ecológica*. En este sentido cabe indicar que las características intrínsecas del olivar de montaña le confieren un alto valor visual y ecológico, debido a su localización en zonas elevadas, al uso de cubiertas vegetales y a la presencia de otras especies arbustivas o arbóreas, especialmente en el caso del olivar ecológico. En este sentido diversos estudios (Daniel y Vining, 1983; Real *et al.*, 2000 y Arriaza *et al.*, 2004) sugieren los efectos positivos para ambas características de la presencia de distintas especies vegetales, en contraposición al monocultivo de olivar tradicional en muchas zonas productoras.

1.3.2. Hacia sistemas agrarios sostenibles

Ya en 1990 el programa de apoyo al sector agrario estadounidense¹ introducía el concepto de sostenibilidad agraria haciendo referencia a un sistema de producción integrado de plantas y animales con base territorial que en el largo plazo:

- Satisface las necesidades de la Sociedad de alimentos y fibras.

1 "Farm Bill" [Food, Agriculture, Conservation, and Trade Act of 1990 (FACTA)].

- Mejora la calidad del medioambiente y de los recursos naturales sobre los cuales depende la economía agraria.
- Hace el uso más eficiente de los recursos no renovables e introduce, cuando es posible, métodos naturales de control.
- Permite la viabilidad económica de la explotación.
- Mejora la calidad de vida del productor y de la Sociedad en su conjunto.

Desde un punto de vista formal, el concepto de agricultura “sostenible” tiene varios significados. Hansen (1996) le atribuye dos acepciones básicas: La primera, de carácter normativo (prescriptivo), surgida como respuesta a los impactos negativos generados por la agricultura “convencional” y que apuesta por la implementación de enfoques “alternativos” de la agricultura (agricultura ecológica, agricultura de conservación, etc.), como opción ideológica al objeto de alcanzar determinados valores que, según los seguidores de este enfoque, deben caracterizar al sector. La segunda acepción es de carácter positivo (descriptivo), centrándose en analizar la capacidad que tienen los sistemas agrarios para satisfacer determinadas necesidades de forma continuada en el tiempo.

No obstante, es necesario apuntar que el concepto de sostenibilidad adoptado no está exento de problemas para su formulación operativa. En primer lugar están los problemas derivados de su carácter temporal. En segundo lugar, está la dificultad de determinar qué demandas concretas debe satisfacer la actividad agraria para ser sostenible, cuestión sobre la cual pueden existir multitud de opciones. En este sentido la sostenibilidad debe entenderse en buena medida como una construcción social, cambiante en función de las demandas de la ciudadanía (específica, por tanto, para cada ámbito geográfico y temporal). Ambos problemas han dificultado durante largo tiempo el empleo práctico del concepto de sostenibilidad como herramienta operativa para guiar el desarrollo agrario.

Al objeto de superar las dificultades antes comentadas, desde una perspectiva eminentemente pragmática, se ha ido consolidando la idea de que la sostenibilidad se fundamenta en una triple dimensión: medioambiental, económica y social (Douglass, 1984; Yunlong y Smit, 1994). Así, puede admitirse que un sistema agrario es sostenible cuando las tasas de intercambio entre los objetivos considerados para la evaluación pública de su desempeño (*objetivos económicos* –como el crecimiento del ingreso y el mantenimiento de la estabilidad macroeconómica–, *objetivos sociales* –como la equidad o la cobertura de las necesidades básicas–, y *objetivos ecológicos* –como la protección de ecosistemas o la regeneración de los recursos naturales–) alcanzan valores aceptables para el conjunto de la sociedad (Hediger, 1999; Kates *et al.*, 2001; Stoorvogel *et al.*, 2004).

En el presente estudio, esta triple perspectiva de la sostenibilidad de la agricultura se aplica al olivar de montaña del territorio andaluz. Para este sistema agrario, y a partir de las preferencias declaradas por la población sobre las funciones que debe cumplir el mismo, el problema de la búsqueda del sistema de gestión en cada zona que maximiza el bienestar de la Sociedad implica la consideración simultánea de:

- La capacidad de la explotación para mantener su viabilidad económica.
- La mejora de la biodiversidad de las zonas de mayor valor ecológico.
- El control de los incendios.
- El control de la erosión del suelo y la mejora de sus características edáficas.
- Provisión de paisajes culturales.

Cada uno de estos aspectos es analizado individualmente a partir de las opiniones de los expertos sobre la relación entre el tipo de gestión y la optimización del mismo. Posteriormente, y basándonos en las preferencias de la Sociedad sobre la importancia de cada uno de ellos, son integrados en un modelo general de optimización, tal y como se detalla en el siguiente capítulo.

1.4 | Organización del estudio

Tras este primer capítulo introductorio sobre el objeto y el ámbito de análisis del trabajo, el **Capítulo 2** presenta la base metodológica de la Teoría de la Decisión Multiatributo que ha sido aplicada para la determinación de los pesos que la Sociedad asigna a cada objetivo y el grado de contribución de cada tipo de gestión a dichos objetivos. Asimismo, se detalla el origen, el tipo y el nivel de integración de la información utilizada en los modelos parciales y el modelo general.

En el **Capítulo 3** se describe la zona de estudio, el término municipal de Montoro, en la provincia de Córdoba y las alternativas de gestión del olivar, esto es, el sistema convencional, integrado y ecológico, además del posible abandono de la actividad agrícola y la restauración de olivares menos productivos hacia el bosque mediterráneo.

El **Capítulo 4** se inicia con una introducción a los Sistemas de Información Geográfica, herramienta fundamental para determinar cómo se modulan los efectos de los distintos elementos del territorio sobre cada objetivo según las características del terrero. A continuación se explica el procedimiento de generación de los mapas parciales de optimización y la agregación de

los mismos en el modelo general. En este capítulo se analiza el territorio olivarero, en primer lugar, considerando de forma individual cada objetivo, para posteriormente continuar con el modelo general que pondera cada capa según las preferencias declaradas por la Sociedad.

En el **Capítulo 5**, se muestran los resultados de la investigación. En primer lugar se presentan los mapas parciales de optimización del territorio:

- (a) Modelo de evaluación de visibilidad de la zona de estudio;
- (b) Modelo de evaluación de potencialidad de recuperación de hábitat para la flora y fauna silvestre;
- (c) Modelo de evaluación de riesgo de erosión de los suelos con olivar;
- (d) Modelo de evaluación de riesgo de incendios en el olivar; y
- (e) Modelo de evaluación de producción de aceite de oliva.

A continuación se generan los cuatro mapas de idoneidad para cada una de las cuatro alternativas de gestión y posteriormente su agregación en el modelo general. Es en este mapa final en donde cada unidad de análisis (10x10 m) recibe la asignación de la alternativa de mayor utilidad social.

Finalmente, en el **Capítulo 6** se incluyen las conclusiones más relevantes del estudio así como algunas recomendaciones para el diseño de políticas agrarias que promuevan la transición de los sistemas agrarios hacia sistemas productivos sostenibles.

Los **Anexos 1 y 2** contienen los cuestionarios AHP utilizados para los ciudadanos y para los expertos, respectivamente. En el primer caso para determinar el peso de las funciones que debería cumplir un olivar sostenible, en el segundo, cómo los diferentes tipos de gestión, o de abandono de la actividad agrícola, contribuyen a la consecución de estas funciones. En dicho cuestionario se plantean todas las funciones, si bien cada grupo de expertos se limitaba a responder sobre su área de conocimiento.

Los **Anexos 3 y 4** se vinculan con los mapas parciales de optimización. El primero de ellos incluye las fotografías utilizadas para la valoración paisajística de las zonas olivareras de la zona de estudio. El segundo presenta parte del cuestionario ANP utilizado para la valoración del riesgo de erosión del territorio analizado.

Con un propósito de ampliación teórica para el lector interesado, en el **Apéndice 1** se profundiza sobre la técnica multicriterio seleccionada, el método AHP, para la agregación de las preferencias individuales de los ciudadanos y de los expertos. El **Apéndice 2** presenta diversas alternativas informáticas de gestión de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) así como la estructuración de los modelos parciales y el modelo general de ordenación del territorio. El **Apéndice 3** recoge la modelización de los diferentes factores que forman parte del modelo de riesgo de erosión, el modelo parcial de mayor complejidad de todos los generados.



Enfoque metodológico

Capítulo II

II. ENFOQUE METODOLÓGICO

II.1 Consideración matemática de los sistemas agrarios sostenibles

2.1.1. Enfoque multicriterio del problema de optimización

Considerando esta triple perspectiva, económica, social y ambiental, de la sostenibilidad del olivar de montaña, la cuantificación y agregación de objetivos en conflicto puede abordarse dentro del paradigma multicriterio de la teoría de la decisión. En el presente estudio es la Sociedad quien determina, por ejemplo, hasta qué punto una reducción de renta del productor se ve compensada con una mejora de la biodiversidad. Esta compensación entre objetivos implica que es la misma Sociedad quien debe implementar los instrumentos necesarios para compensar a los colectivos que pierden con las alternativas de cambio propuestas; siguiendo con el ejemplo anterior, esa mejora de la biodiversidad implicará una compensación económica para el oliviero por su lucro cesante.

Frente a un problema multicriterio es necesario decidir qué técnica es la más adecuada. De acuerdo con Massam (1988), los tres enfoques más comunes de las Técnicas de Decisión Multicriterio son:

- a. *La programación multiobjetivo.* En este tipo de programación el número de alternativas es infinito y tiene como fin la obtención de un conjunto de soluciones eficientes desde un punto de vista Pareto¹ (Steuer, 1986; Romero y Rehman, 1989, Malczewski, 1999).
- b. *La programación multiatributo.* A diferencia de la programación multiobjetivo, en la programación multiatributo el conjunto de alternativas es finito y el fin consiste en determinar cuál de ellas obtiene la mayor valoración agregada con respecto a una serie de atributos (Yoon y Hwang, 1995).
- c. *La teoría de elección pública.* Intenta llegar a una situación de acuerdo entre diferentes grupos sociales (Hollis *et al*, 1985).

Este trabajo se centra en la programación multiatributo ya que el conjunto de alternativas que se considera es finito, el tipo de gestión del olivar. Munda (1994), usando la terminología de *métodos discretos* en alusión al conjunto finito de alternativas, clasifica las técnicas multiatributo en seis categorías:

1 Una solución es Pareto óptima si no podemos encontrar ninguna solución que mejore al menos uno de los criterios sin empeorar alguno, o varios, del resto de criterios.

- Teoría de la utilidad, con dos enfoques:
 - Teoría de la utilidad multiatributo. Se asume que el sujeto guía sus decisiones maximizando una función de utilidad con varios atributos (Keeney y Raiffa, 1976. Este es el enfoque seguido en este estudio.
 - Evaluación cualitativa multicriterio. Todos los atributos son medidos en escala nominal u ordinal (Vansnick, 1990; Nijkamp *et al*, 1990).
- Métodos de concordancia. Basados en la reducción del conjunto eficiente en un subconjunto de alternativas más favorables para el centro decisor (Romero, 1993). El método más utilizado es el ELECTRE (Roy, 1968, 1990).
- Modelos lexicográficos. Las alternativas son ordenadas según un criterio, en caso de indiferencia entre dos de ellas, se recurre al segundo criterio, y así sucesivamente (Isermann, 1982). Un ejemplo conocido es la ordenación alfabética de un diccionario.
- Enfoque punto ideal (programación compromiso). Se minimiza la distancia del punto óptimo al punto ideal (Zeleny, 1982; Romero, 1993). El punto ideal es, por definición, inalcanzable, ya que los valores de todos los atributos logran su mejor valor (o valor ideal). Por ejemplo, obtener simultáneamente el máximo beneficio, el mínimo riesgo y el máximo tiempo libre no resulta posible ya que son objetivos en conflicto.
- Enfoque nivel de aspiración (programación por metas). El centro decisor determina cuáles son los valores aceptables para cada atributo, minimizándose las desviaciones de la solución óptima respecto a dichas metas (Zeleny, 1982; Romero, 1991).
- Proceso analítico jerárquico. Basado en comparaciones dos a dos entre alternativas (Saaty, 1980; Romero, 1993).

En el presente trabajo combina la utilización de una función de utilidad multiatributo con el método AHP. En una primera fase, el proceso analítico jerárquico permite:

- a. cuantificar la influencia de los diferentes elementos del territorio sobre cada objetivo por el grupo de expertos correspondiente;
- b. ponderar las funciones que el olivar de montaña debe cumplir según las preferencias de la Sociedad. En una segunda fase, el modelo general agrega en una función de utilidad toda la información para

determinar qué sistema de gestión es el más adecuado para cada zona del territorio olivarero. Tras una breve descripción del método AHP se detalla el modelo general de optimización.

2.1.2. El proceso analítico jerárquico

El Proceso de Análisis Jerárquico (en inglés *Analytical Hierarchy Process*, o AHP) pertenece a la familia de las técnicas encuadradas en el paradigma multicriterio. Fue desarrollado a finales de los años 70 del siglo pasado por Thomas L. Saaty con el objetivo de apoyar a la decisión de reducción de los armamento nucleares entre la Unión Soviética y los Estados Unidos (Saaty, 1980). Él propuso desarrollar una estructura jerárquica del problema de toma de decisión, con el objetivo de estructurar y ordenar todo el proceso. En los últimos años se han propuesto diferentes actualizaciones del método AHP: AHP multiplicativo, supermatrices ANP, etc. En su último trabajo Saaty (2005) propone una generalización del método AHP, conocido como el Proceso de Análisis de Redes (*Analytic Network Process* o ANP), el cual permite tener en cuenta la interdependencia entre los diferentes niveles de las estructuras del problema de decisión. La revisión de las aplicaciones realizadas a través de este método se puede encontrar en Vaidya y Kumar (2006).

Básicamente, un problema complejo es descompuesto en distintos niveles de forma que el centro decisor solo se enfrenta a una comparación por parejas en cada ocasión. Para la realización de estas comparaciones por pares, y determinar así la intensidad de preferencia entre cada par de opciones, Saaty (1980) propone una escala que va de 1 a 9, tal y como se expone en el Cuadro II.1.

CUADRO II.1. Escala de comparación por pares del AHP

Valoración	Definición
1	Ambos criterios tienen la <i>misma importancia</i>
2	El criterio preferido es <i>algo superior</i> al otro
3	El criterio preferido tiene una <i>importancia ligeramente superior</i> al otro
4	El criterio preferido tiene una <i>importancia mediadamente superior</i> al otro
5	El criterio preferido tiene una <i>importancia moderadamente superior</i> al otro
6	El criterio preferido tiene una <i>importancia superior</i> al otro
7	El criterio preferido tiene una <i>importancia muy superior</i> al otro
8	El criterio preferido tiene una <i>importancia extraordinariamente superior</i> al otro
9	El criterio preferido tiene una <i>importancia absoluta</i> respecto al otro

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha comentado, en este estudio la técnica, AHP se ha utilizado para determinar el peso relativo de cada uno de los elementos del territorio para cada objetivo según la opinión de los expertos así como el peso de las distintas funciones que debería desempeñar el olivar según la opinión de los ciudadanos. Dado que en el análisis se han utilizado elementos “positivos” y “negativos” hemos seguido las recomendaciones teóricas de Saaty y Ozdemir (2003).

Trabajos nacionales recientes que utilizan la misma metodología pueden encontrarse en Parra *et. al.*, (2004), que efectúa una valoración de tres sistemas de gestión del olivar, Mawampagna y Debertain (1996), sobre la valoración multifuncional de sistemas agrarios, Hernández y Cardells (1999), sobre la protección de espacios naturales y Gómez-Limón y Atance (2004) sobre la valoración de los objetivos por parte de la Sociedad que debe perseguir la Política Agraria Común.

En el ámbito internacional cabe resaltar un trabajo recopilatorio de Vaidya y Kumar (2006) con más de cien trabajos en donde se aplica AHP. Asimismo, Saaty y Shang-Jeu (2005) proponen la utilización del método en el campo de la elección de representantes públicos.

La amplitud de las aplicaciones del método AHP en diferentes áreas de la vida humana confirma el éxito del método en los últimos años. No obstante esta metodología sufre cierto nivel de crítica por parte de los investigadores de todo el mundo (Belton y Gear, 1983; Belton, 1986; French, 1988; Dyer, 1990; Holder, 1990; Barzilai y Lootsma, 1997; Barzilai, 1998; Goodwin y Wright, 1998; Leung y Cao, 2001; Wang y Elhag, 2005). Los motivos de las críticas hacen referencia a los siguientes aspectos de AHP:

- La escala de 1 a 9 propuesta por Saaty es potencialmente inconsistente. Por ejemplo:
 - A. ha sido valorada en 3 frente a B,
 - B. ha sido valorada en 5 frente a C. Pero la escala de 1 a 9 hace imposible la valoración adecuada de A frente C (el valor necesario es 15).
- Ausencia de la base teórica entre la escala numérica de 1 a 9 y su correspondiente descripción verbal.
- La introducción de otra opción puede cambiar el ranking entre las opciones anteriores. Este fenómeno suele llamarse “cambio de ranking” (*rank reversal*). Este aspecto ha sido de los más criticados y discutidos en la literatura científica (Wang y Elhag, 2006).
- Los axiomas en los cuales se basa AHP no son suficientemente transparentes como para ser comprobados en la práctica.
- La posible retroalimentación entre diferentes niveles de jerarquía (*feedback*).

- El cálculo del vector de los pesos como el vector principal por la derecha, y no por la izquierda como lo proponen Gass y Rapcsák (2004).
- El nivel de la inconsistencia de las matrices sugerido como deseado ($RC < 10$ por ciento).

No obstante se ha de comentar que la mayoría de estas críticas han sido adecuadamente respondidas por Saaty (2005) y Forman y Selly (2001). El último libro de Saaty (2005) sobre el Proceso Analítico de Redes ya tiene en cuenta la mayoría de las críticas y sugerencias realizadas al método.

En el Apéndice 1, para el lector interesado, se presentan las bases teóricas del método multicriterio AHP. En el Anexo 1 y 2 pueden consultarse los cuestionarios AHP utilizados para la determinación de los pesos de las diferentes funciones que debe cumplir el olivar, según los ciudadanos, y el impacto de cada tipo de gestión del olivar en la consecución de esos objetivos, según los expertos, respectivamente.

2.1.3. Integración matemática en el modelo de optimización general

En el presente estudio hemos seguido el criterio clásico de agregación de preferencias individuales propuesto por Saaty (1980) y confirmado por Xu (2000), Forman, Selly (2001) y Chu y Liu (2002)²: se aplica la metodología de agregación de AIJ a través de la media geométrica con la posterior comprobación de la consistencia de esta nueva matriz agregada. Desde el punto de vista operacional, la obtención del modelo general agregado implica el análisis territorial con las siguientes fases:

- Para cada una de las seis funciones (mejora de la diversidad ecológica, control de incendios, producción de aceite, provisión de paisaje cultural, control de la erosión y fijación de la población rural) se ha obtenido un mapa que caracteriza al territorio. El valor de cada píxel, F_{ni} (píxel n y función i) se encuentra en un rango entre 0 y 1. Por ejemplo, en el caso de la mejora de la diversidad ecológica, el valor 0 indica nula potencialidad del territorio para la mejora de la diversidad de flora y fauna y el valor 1 máxima potencialidad.
- Para cada píxel se calcula el valor de utilidad total que alcanza cada tipo de gestión del olivar. Esta utilidad (U) se obtiene como:

$$U_{n,g} = \sum_{i=1}^6 A_{gi} \cdot P_i \cdot F_{ni}$$

2 Para una explicación detallada del método de agregación ver el Apéndice 1.

en donde n representa cada píxel del territorio (10x10 m), g es el tipo de gestión (convencional, integrado, ecológico o reconversión), A_{gi} representa la importancia del tipo de gestión g para el cumplimiento de la función i , P_i es el peso que la Sociedad asigna a la función i y F_{ni} es el valor obtenido en la fase anterior.

- Finalmente, el uso óptimo recomendado para cada píxel, O_n , se obtiene comparando el valor de utilidad obtenido para cada tipo de gestión, esto es, $O_n = \text{Max}(U_{n,1}, U_{n,2}, U_{n,3}, U_{n,4})$.

En resumen, para cada píxel se analizan las cuatro alternativas de gestión (convencional, integrada, ecológica y restauración del bosque mediterráneo). Cada tipo de gestión agrega su contribución a la consecución de cada uno de los objetivos planteados. Ésta es una suma ponderada por la preferencias declaradas de la Sociedad. El tipo de gestión que obtiene un mayor valor de utilidad es el seleccionado por el modelo general.

II.2 | Fuentes y estructura de la información utilizada

La información primaria obtenida de las encuestas a la población (sobre el peso de las funciones comerciales y no comerciales del olivar y sobre las preferencias visuales del paisaje agrícola) y de los grupos de expertos se integra en un Sistema de Información Geográfica (SIG) en tres niveles:

- Un primer nivel sobre el peso de las funciones analizadas
- Un segundo nivel sobre cómo cada tipo de manejo del olivar contribuye a la consecución de estos objetivos. Este nivel da como resultado cinco mapas de optimización del territorio en función de cada objetivo:
 - Comercial:
 - Producción de aceituna.
 - No comercial:
 - Mejora de la diversidad ecológica.
 - Control de incendios.
 - Control de la erosión.
 - Provisión de paisajes culturales.
- Por último, el tercer nivel integra los dos anteriores determinando qué tipo de manejo del olivar o el abandono de la producción agrícola es el más adecuado según las preferencias de la Sociedad y las opiniones de los expertos.

Desde el punto de vista operacional el modelo general de optimización del territorio se alimenta de diferentes fuentes de información, tal y como muestra el siguiente cuadro:

CUADRO II.2.**Ordenación y origen de la información utilizada en el modelo general de optimización del territorio**

Ordenamiento del modelo	Ámbito de sostenibilidad	Capa de información	Fuente
Nivel 1		Ponderación de las funciones del olivar	<ol style="list-style-type: none"> Grupo de trabajo de expertos de olivicultura y bibliografía existente. Encuesta AHP a la población de Córdoba sobre las funciones seleccionadas
Nivel 2	Económico	Producción de aceite de oliva	Serie histórica georreferenciada de producciones de aceituna
	Social	Fijación de la población rural	Vinculada al mantenimiento de la producción de aceite
		Provisión de paisajes culturales	<ol style="list-style-type: none"> Encuesta AHP a la población sobre preferencias visuales Análisis SIG intrínseco y extrínseco de visibilidad
	Medioambiental	Mejora de la diversidad ecológica	<ol style="list-style-type: none"> Encuesta AHP a expertos sobre la importancia de los diferentes elementos del territorio sobre el hábitat del lince ibérico. Implementación SIG de la capacidad del olivar para regenerar el hábitat adecuado para la dispersión del lince ibérico
		Control de incendios	<ol style="list-style-type: none"> Encuesta AHP a expertos sobre la importancia de los diferentes elementos del territorio sobre el riesgo de incendio. Análisis SIG del riesgo de incendio según las características del terreno y el manejo del cultivo
Control de la erosión		<ol style="list-style-type: none"> Encuesta ANP a expertos sobre la importancia de los diferentes elementos del territorio en la erosión del suelo agrícola. Análisis SIG de la susceptibilidad de erosión del territorio. 	
Nivel 3	Total	Mapa de uso óptimo del territorio agrícola	Integración SIG de todos los mapas parciales de optimización ponderados según las preferencias de la Sociedad

Fuente:

Como se desprende del cuadro anterior, la fijación de la población rural se considera como un objetivo cuya ponderación por parte de la Sociedad no entra en una segunda fase en el análisis territorial, de esta forma, su peso se distribuye uniformemente por todo el territorio. Por ello, no genera un mapa específico de optimización parcial, como sí ocurre en el resto de objetivos. El capítulo siguiente explica con detalle la generación de los mapas parciales y el modelo general de optimización.



**Zona de estudio y
alternativas de
gestión del olivar**

Capítulo III



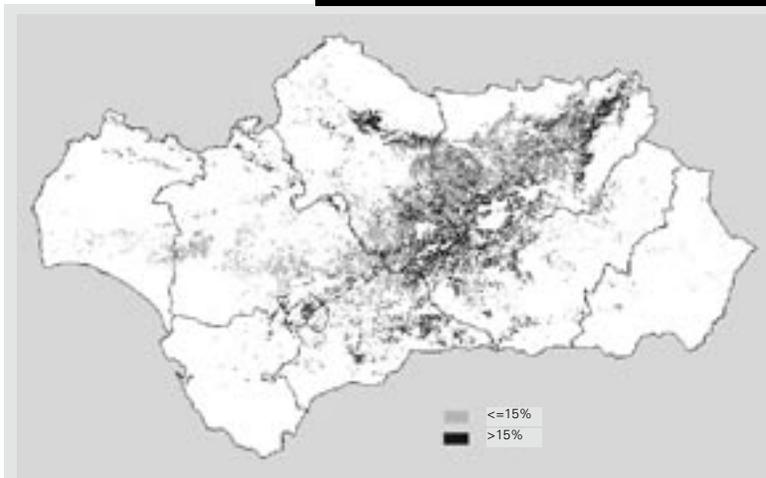
III. ZONA DE ESTUDIO Y ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DEL OLIVAR

III.1 Importancia del olivar de montaña en Andalucía

La zona de estudio seleccionada representa una típica zona de olivar de montaña de Andalucía. Con el fin de ilustrar la situación geográfica de estas plantaciones se ha optado por un umbral del 15 por ciento de pendiente como división para este tipo de plantaciones. En el siguiente mapa se muestra su localización en Andalucía siguiendo este criterio:

GRÁFICO III.1

Situación geográfica del olivar de montaña en Andalucía. *Porcentaje*



Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de usos (Junta de Andalucía, 2001) y modelo digital de elevaciones (Junta de Andalucía, 2004).

Como se puede ver en el mapa representado arriba, el olivar de montaña se encuentra principalmente en las provincias de Jaén, Córdoba, Málaga y Granada, y representa una parte importante de la superficie total olivarera. Según nuestros cálculos, la superficie de olivar con pendiente superior al 15 por ciento ocupa aproximadamente 433.157 ha, frente a una superficie de olivar con la pendiente igual o menor del 15 por ciento de aproximadamente 900.000 ha. Los rendimientos del olivar de montaña normalmente son muy bajos y varían entre los 500 y los 1.500 kg/ha.

El olivar de montaña tiene un carácter social de importancia ya que, ante la imposibilidad de la mecanización de las labores, demanda una gran cantidad de mano de obra para su mantenimiento. Según los cálculos de AEMO (2002) en el olivar de montaña se emplea alrededor de la mitad de toda la mano de obra del olivar, pero la producción sólo representa 1/3 de la producción de olivar en regadío. Otra característica del olivar de montaña es el reducido tamaño de las explotaciones y su alta parcelación.

Es frecuente que el olivar de montaña limite con Espacios Naturales Protegidos, como ocurre en la zona de estudio seleccionada, el término municipal de Montoro linda con el Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro. Este aspecto le confiere al olivar de montaña un valor ecológico específico.

Como hemos mencionado anteriormente, es muy probable que gran parte de este tipo de plantaciones cesen su actividad productiva en los próximos años. Este abandono no se ha producido ya de forma generalizada porque muchos de los agricultores infravaloran su trabajo y utilizan mano de obra familiar (AEMO, 2002).

III.2 Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en el Sur de España, dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía, en la provincia de Córdoba, más concretamente en el término municipal de Montoro. Las plantaciones olivareras de este municipio son el objetivo de la evaluación. Geográficamente, el municipio de Montoro se encuentra entre las longitudes de $-4^{\circ}33'$ a $-4^{\circ}9'$; y las latitudes de $38^{\circ}16'$ a $37^{\circ}57'$. Con un clima típico continental mediterráneo, las precipitaciones se reparten irregularmente durante el año (en invierno 75,5 mm y en verano 8,7 mm), la temperatura media de invierno es de 10,0°C y la de verano de 26,3°C. La superficie del municipio es de 58.573 hectáreas.

Dentro del término municipal se encuentran dos núcleos urbanos importantes: Montoro y Villanueva del Río. El término municipal de Montoro contabiliza 9.690 habitantes.

Las partes central y norte del municipio tienen un relieve muy accidentado con pendientes superiores al 40 por ciento en algunos casos, pertenecientes a la cadena montañosa de Sierra Morena. Sin embargo, el municipio no se destaca por tener altas cotas, siendo la máxima de 800 m sobre el nivel del mar.

La red hídrica está representada por el cauce principal del río Guadalquivir, que atraviesa el municipio de Este a Oeste y separando aproximadamente

GRÁFICO III.2

Localización geográfica del municipio de Montoro



Fuente: Elaboración propia.

un tercio del municipio situado al Sur. El resto de los cauces de agua tienen un tamaño menor y normalmente tienen dirección Norte-Sur (nacidos en Sierra Morena y desembocan en el río Guadalquivir). Dentro del municipio se encuentran varios embalses, entre ellos: el Embalse del Arenoso, el Embalse de Martín Gonzalo y el Embalse de las Yeguas.

El municipio de Montoro es un territorio de tránsito importante dado que está atravesado por una autovía, de Este a Oeste (A-IV), y una nacional, de Norte a Sur (N-420), de gran importancia. La red de los caminos secundarios del municipio está bien desarrollada y permite acceder a la mayoría de las parcelas.

Los suelos del Montoro son tierras pardas meridionales y rankeras que se diferencian entre sí por el tipo de material o litología de su origen. También aparecen los suelos rojos y pardorajizos, y en el sur los suelos son típicos de la zona de valle del río Guadalquivir creados a partir de sedimentaciones. Así los suelos más fértiles se encuentran en la llanura, al sur del municipio.

(valle de Guadalquivir) y resto de los suelos son menos fértiles, por lo general ácidos, pobres en CO_3Ca , deficientes en potasio y en fósforo, con escasa materia orgánica como consecuencia del continuo laboreo (Torres Esquivias *et al.*, 1992).

Es interesante destacar los usos variados del territorio del municipio (ver Gráfico III.3). Dentro de ellos encontramos: cultivos herbáceos, plantaciones olivareras con diferentes grados de intensificación, dehesas, forestal, diversos matorrales y pastizales que hemos incluido en la categoría de vegetación natural. El cultivo del olivar ocupa prácticamente la totalidad de las tierras cultivadas, como indica el siguiente cuadro.

CUADRO III.1 Principales usos del territorio municipal de Montoro

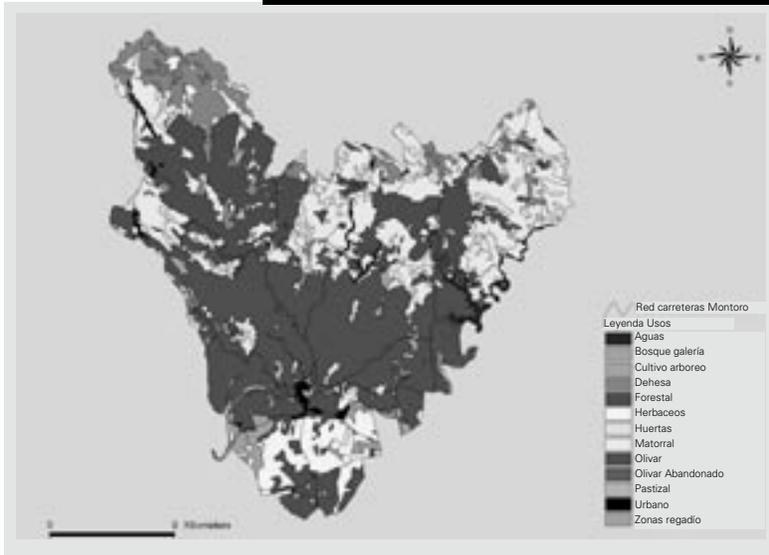
Usos	Superficie (ha)	Porcentaje
Vegetación natural	27.271,9	46,6
Olivar	20.008,8	34,2
Dehesa	4.854,8	8,3
Cultivos herbáceos	3.645,2	6,2
Embalses	627,6	1,1
Urbano e infraestructura	463,1	0,8
Otros	1.702,3	2,9
Total	58.573,5	100,0

Fuente: Elaboración propia.

El olivar objeto de estudio ocupa el 34 por ciento del total de la superficie del municipio. Estas plantaciones olivareras no son homogéneas sino que presentan un diverso abanico de sistemas de manejo de cultivo con diferentes producciones (desde menos de 100 kg/ha hasta 10.000 kg/ha). El grado de parcelación es muy alto: el municipio contabiliza más de 11.200 parcelas olivareras, más las parcelas con otros usos agrícolas. La cantidad de árboles/ha difiere sustancialmente según el tipo de plantación. El uso de la cubierta vegetal no es frecuente en la mayoría de las plantaciones, por el contrario, se observa un laboreo continuo, incluso en zonas con alta pendiente. Las plantaciones del sur del municipio, que se encuentran en las zonas más llanas, tienen más facilidades para el cultivo y presentan técnicas más intensivas, por lo que son las más productivas.

El Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro ocupa la parte Noreste del municipio y representa un 26 por ciento (15.214 ha) del territorio municipal total. La protección del territorio del Parque condiciona en gran medida las actividades agrarias que se hacen tanto dentro del Parque como en sus

GRÁFICO III.3 Usos del territorio del municipio de Montoro



Fuente: Elaboración propia basándose en el mapa de usos.

proximidades. El Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro tiene un gran valor medioambiental y paisajístico. Muchas especies silvestres que se encuentran en peligro de extinción tienen sus hábitat natural en este territorio¹. Entre las especies arbóreas se destaca la presencia del roble melojo (*Quercus pyrenaica*), único en la provincia, la encina (*Quercus rotundifolia*), los quejigos (*Quercus faginea*), los acebuches (*Olea europea var. sylvestris*), etc. Entre las especies carnívoras destacan: el lince Ibérico (*Lynx pardina*), que constituye el símbolo del Parque Natural, así como el lobo (*Canis lupus*) y el gato montés (*Felis sylvestris*), entre otros. Entre los herbívoros de interés cinegético nos encontramos con: el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), la liebre (*Lepus capensis*), el ciervo (*Cervus elaphus*), el gamo (*Dama dama*), el jabalí (*Sus scrofa*) y el muflón (*Ovis musimon*), además de una multitud de aves que encuentran su refugio en este Parque.

¹ La descripción más detallada de la flora y fauna del Parque se va a presentar en el apartado dedicado a evaluación de la potencialidad de recuperación del hábitat para la flora y la fauna silvestre.

La elección de esta zona de estudio se debe a su alto porcentaje de cobertura de olivar de montaña y la existencia de interacciones entre los diferentes usos del suelo, entre los cuales se encuentra la zona protegida del Parque Natural de Sierra de Cardeña y Montoro.

III.3 Alternativas de sistemas de producción y gestión del olivar de Montoro

En este apartado se describen las cuatro posibles alternativas de sistema de la gestión en el olivar de la zona de estudio. Las tres primeras alternativas representan diferentes sistemas de producción y la cuarta un sistema de gestión del territorio con fines de conservación ecológica. La ubicación espacial de cada una de estas alternativas es el objetivo final de esta investigación.

3.3.1. Sistema de producción de tipo convencional

La historia del desarrollo de la agricultura convencional se remonta hasta los tiempos prehistóricos, en la época en la que apareció la agricultura como actividad en Oriente Medio. Por aquel entonces el hombre pasó de una actividad puramente recolectora, cazadora y pescadora, a otra dedicada al aprovechamiento de las plantas cultivadas por él. Esto dio comienzo a la denominada agricultura tradicional ya que es la que ha venido realizándose durante siglos. Este tipo de agricultura fue la precursora de la actual agricultura convencional. No obstante la agricultura tradicional representa un claro ejemplo de agroecosistema manejado con bases ecológicas (Gliessman, 1990), probado por los siglos de su existencia.

Con el desarrollo científico y tecnológico a partir del siglo XIX la humanidad acumula importantes conocimientos en diferentes disciplinas, entre ellas la agronomía, la química, la biología, la genética, etc. Estos avances científicos son la base para la mejora de la productividad de los cultivos agrícolas. En esa época se crearon los cimientos del actual pensamiento productivista ligado a la agricultura convencional.

No obstante, el verdadero comienzo de la agricultura convencional no se efectúa hasta la mitad del siglo XX, con la llamada “revolución verde”. Empujado por la hambruna producida por la Segunda Guerra Mundial se decide una política de inversión en conocimiento y en tecnología para aumentar las producciones. A partir de esta época comienza a introducirse la maquinaria pesada, los fertilizantes de síntesis y los pesticidas químicos para combatir las plagas. La producción agrícola empieza a considerarse como un proceso industrial donde las plantas asumen papel de minifábricas con un *input* considerable de agroquímicos y fertilizantes con el único objetivo

de maximizar el *output*. El suelo ya no se considera como un medio vivo, sino como un medio para las raíces de las plantas. Actualmente el proceso de la producción industrial en la agricultura convencional se basa en las siguientes prácticas básicas: labranza intensiva, monocultivo, irrigación, aplicación de los fertilizantes inorgánicos, manipulación genética de los cultivos, control químico de plagas y de malas hierbas.

Las externalidades negativas que acompañan al sistema de producción convencional han sido aceptadas tanto por parte de los agricultores como por parte del mundo científico. En este sentido, Pastor (2000) apunta como problemática específica del olivar: “el envejecimiento de los olivicultores, la especialización del trabajo, los excedentes de producción, la aparición de nuevas plagas, la aparición de tolerancia hacia los tratamientos en las plagas existentes, el aumento de la contaminación ambiental (suelo, atmósfera y agua), la disminución o la desaparición de entomofauna auxiliar y la contaminación de las aceitunas por los residuos de los herbicidas y los pesticidas.”

Ante esta cantidad de problemas, junto con la posible no sostenibilidad a medio-largo plazo de la agricultura convencional, se han ofrecido diferentes alternativas, entre ellas la agricultura ecológica y la agricultura integrada, siendo esta última una solución intermedia entre la agricultura convencional y la ecológica.

3.3.2. Sistema de producción integrada

La propuesta de este modo integrado de gestión de agricultura viene a paliar las externalidades negativas de la agricultura convencional. A partir de mediados del siglo pasado los científicos observaron la influencia de los agroquímicos y otros métodos empleados en la agricultura intensiva sobre el medio natural. Varias décadas de observaciones han demostrado que las plagas se hacen resistentes a los pesticidas y el suelo se degrada por el laboreo continuo. A la vista de esto, en la década de los 70 se presentó una propuesta para gestionar las actividades agrarias de un modo más racional.

El año 1976 está considerado como la fecha de nacimiento del sistema de producción integrada en la agricultura. En este año en Ovrannaz (Suiza) se reunió un grupo de cinco entomólogos de la Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) para establecer las bases de una nueva concepción de la producción agraria, la producción integrada. Esta reunión fue fruto de 30 años de experiencia en la aplicación práctica e investigación del control integrado de plagas, enfermedades y malas hierbas. En 1977 la OILB impulsó la creación de una Comisión sobre Producción Integrada, al mismo tiempo que se establecía un procedimiento de reconocimiento de las organizaciones de Producción Integrada, refiriéndose a la producción de manzanas.

La finalidad de la producción integrada consiste en conseguir productos agrarios en cantidad similar a la producción convencional pero con una menor utilización de agroquímicos. Según los pioneros de la lucha integrada, el uso de pesticidas contra las plagas debe ser minimizado y dosificado con precisión en los momentos justificados para ello. En la medida de lo posible, deben utilizarse métodos biológicos para combatir o prevenir las plagas. Todas estas medidas están destinadas a proteger el medio ambiente contra la influencia negativa de la agricultura convencional, mejorando así la sostenibilidad de la agricultura a largo plazo (MAPA, 2003).

Caballero-García de Vinuesa (2000) define la Producción Integrada como un sistema de producción de alimentos de alta calidad a través de métodos sostenibles. Los principales hitos de la producción integrada son el respeto hacia el medio ambiente; el sostenimiento de la rentabilidad de las explotaciones; la consideración de las demandas sociales en relación con las funciones de la agricultura; y el respeto de los requisitos establecidos para cada producto en el correspondiente Reglamento Específico de Producción.

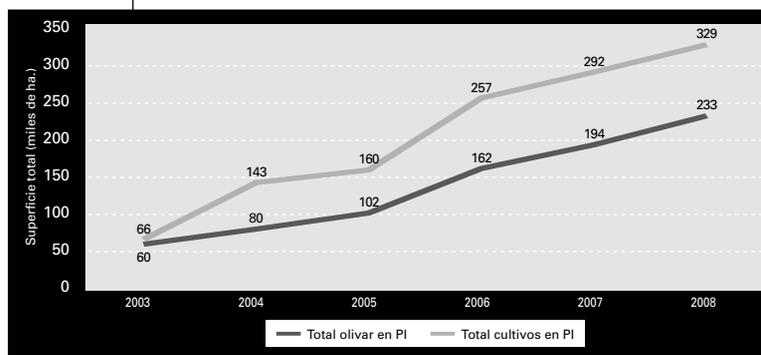
Los objetivos de la producción integrada según Miret-Benet (2004) y OILB son:

- Obtener productos de alta calidad.
- Proteger la salud del productor y del consumidor.
- Aplicar procesos productivos respetuosos con el medio ambiente.
- Favorecer la diversidad del ecosistema agrícola al respetar la fauna y flora autóctonas.
- Justificar y minimizar el uso de productos agroquímicos.
- Potenciar la actividad conservadora del medio rural y el paisaje.
- Producir de acuerdo con las técnicas que tienen en cuenta los conocimientos técnicos y científicos (riego, fertilización, optimización del uso de energía).
- Adaptarse a la forma de producción intensiva de las empresas agrícolas actuales, asegurando su viabilidad económica.
- Conservación de los recursos genéticos a través mantenimiento de variedades agrícolas tradicionales y razas de animales autóctonos.
- Dar preferencia a la lucha biológica contra las plagas siempre que sea posible.

Existe Producción Integrada para los cultivos de: patata, arroz, cultivos en invernaderos, cítricos, frutales de hueso, olivar, fresa, algodón, flor cortada, alfalfa, zanahoria, vid y remolacha. Entre estos cultivos destacan: el olivar con unas 232.707 ha, algodón con unas 45.000 ha y el arroz con unas 30.000 ha.

La Producción Integrada ha experimentado un crecimiento espectacular en los últimos 9 años. Según los datos de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, los cultivos de Producción Integrada ocupaban sólo 12.500 hectáreas en 1997, sin embargo en el año 2008 esta superficie ha alcanzado las 329.119 hectáreas. En el caso del olivar tenemos la misma tendencia creciente, como muestra el Gráfico III.4.

GRÁFICO III.4 Evolución de la superficie de olivar y total de cultivos bajo producción integrada.



Fuente: *Analistas Económicos de Andalucía* y Ministerio de Trabajo e Inmigración.

Desde un punto de vista operacional, el Ministerio de Agricultura, con el fin de promover la implantación de este sistema de producción, en el año 1979 creó las Agrupaciones de Tratamientos Integrados en el Algodón (ATRIA), y posteriormente en 1983 las Agrupaciones de Tratamientos Integrados en Agricultura² con las mismas siglas para todos los cultivos agrícolas. A través de las diferentes ATRIA se fomenta la producción integrada ofreciendo una ayuda económica para los agricultores. En Andalucía la cuantía de la subvención en el primer año de aplicación para una plantación determinada constituye alrededor del 90 por ciento del gasto relacionado con la implantación de este tipo de sistema de producción; en el segundo año el 70 por ciento; en tercer año el 50 por ciento; cuarto año el 20 por ciento y en el quinto año el 10 por ciento.

2 Orden Ministerial de 26 de julio de 1983; actualizada por la Orden de 17 de noviembre de 1989.

En el ámbito andaluz, el Decreto 215/1995, de 19 de septiembre (BOJA núm. 125, de 26/09/95) subraya la necesidad de diferenciar los productos agrícolas obtenidos bajo Producción Integrada. En él se da la siguiente definición de la Producción Integrada: “el sistema agrícola de producción que utiliza los mecanismos de regulación natural, teniendo en cuenta la protección del medio ambiente, la economía de las explotaciones y las exigencias sociales, de acuerdo con los requisitos que se establezcan para cada producto en su correspondiente Reglamento Específico de Producción Integrada”, de igual modo se inicia el distintivo de la marca de garantía y se establece la obligación de redactar los Reglamentos Específicos de Producción Integrada para cada producto con sus respectivos requisitos mínimos de calidad a cumplir. También se propone a informar a los consumidores sobre el distintivo de calidad de Producción Integrada.

La Orden de 26 de junio de 1996 (BOJA núm. 77, de 06/07/96) de la Consejería de Agricultura y Pesca establece los requisitos generales que deben cumplir las Asociaciones que desean acogerse al régimen de la Producción Integrada (API- Asociación de la Producción Integrada) para la utilización de la Marca de Garantía de Producción Integrada. Esta Orden exige la realización de control de cumplimiento de las normas de la PI a través de las Empresas de Control y Certificación de Producción Integrada autorizadas. Las empresas de este tipo deben realizar *monitoring* y control de las producciones de diferentes APIs.

En el año 1997 por la Orden Específica para la Producción Integrada (BOJA núm. 100, de 28/08/97) se aprueba *Reglamento Específico de Producción Integrada de Olivar en Andalucía*. En este reglamento se exponen las prácticas agronómicas obligatorias, las prohibidas y las recomendadas para el cultivo integrado de olivar. Posteriormente en el año 2002 sale un nuevo reglamento específico sobre la producción integrada de olivar (BOJA núm. 88, de 27/07/02) modificando y derogando la anterior.

Las normas actualmente vigentes en Andalucía sobre la concesión de la marca de garantía se ajustan a la Orden de 13 de diciembre de 2004 (BOJA núm. 247 de 21 de diciembre de 2004) y el Decreto 245/2003 de 2 de septiembre que regula la Producción Integrada y su indicación en productos agrarios y sus derivados (BOJA núm. 174 de 10 de septiembre de 2003).

3.3.3. Sistema de producción ecológica

Según el IFOAM (*International Federation of Organic Agriculture Movements*): agricultura ecológica incluye todos aquellos sistemas agrarios que promueven la producción de productos alimentarios y fibras acorde con criterios medioambientales, sociales y económicos. El reciclado de nutrientes y

refuerzo de los procesos naturales ayuda a mantener la fertilidad del suelo y asegura el éxito de la producción. Contando con la capacidad natural de adaptación de las plantas, los animales y el paisaje se consigue optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y el medioambiente. La agricultura ecológica reduce drásticamente los *inputs* externos tales como fertilizantes, pesticidas sintético y el uso de organismos modificados genéticamente. Las plagas y enfermedades se controlan mediante medios naturales de acuerdo con el conocimiento tradicional y científico moderno, lo que incrementa tanto las cosechas como la resistencia de las plantas hacia las enfermedades.

Debido a la aparición del movimiento ecológico y su aplicación en la agricultura en diferentes países, este tipo del sistema de producción también se conoce por el nombre de biológica, orgánica o biodinámica. Sin embargo, actualmente todos estos nombres se engloban en el concepto común de agricultura ecológica.

El fundador del movimiento de la agricultura biodinámica *Rudolf Steiner* fue uno de los pioneros del pensamiento de la agricultura ecológica. Su bien conocido ciclo de ocho conferencias impartidas en una finca agropecuaria propiedad de los condes Keyserlingk, con unas 7.500 ha de cultivo en junio de 1924, estableció las bases que posteriormente dieron lugar al desarrollo de la agricultura biodinámica.

Una de las ideas fundamentales de *Steiner* fue la consideración de la empresa agraria como un organismo o individualidad (Colmenares, 2006). Esta misma postura ha sido tomada por la agricultura orgánica que según Scofield (1986): "La finca se considera una totalidad orgánica, viva y dinámica, una unidad en sí misma, sostenible y ecológicamente estable, completa biológicamente y equilibrada". A partir de este supuesto *Steiner* iba más allá, igualando las diferentes partes de la explotación agraria con los diferentes órganos de cuerpo humano. Por ejemplo los campos de cultivo y los pastos para el ganado se comparaban con el sistema metabólico-motor del cuerpo humano. La sobreexplotación del suelo podría llevar hasta el agotamiento del sistema metabólico. Le daba una importancia relevante a la posición de los diferentes planetas y a la situación del planeta Tierra con respecto a éstos para realizar las diferentes labores en el campo.

Las propuestas de *Steiner* no solo tenían carácter teórico, sino que investigaba su aplicación práctica en la agricultura. Con este propósito, en 1924 se fundó el Circulo Experimental de Agricultores, el cual, en colaboración con el Departamento de Ciencias Naturales de Goetheanum, debía llevar las recomendaciones de *Steiner* a la práctica, dando así lugar a las fincas biodinámicas. Esta institución sigue funcionando hoy en día, organizando

anualmente congresos internacionales de agricultura biodinámica en Suiza. La investigación sobre los efectos positivos de la agricultura biodinámica sobre el suelo, las plantas, los animales y el hombre siempre el objetivo principal de la escuela de *Steiner*.

Una de las novedades introducidas por los partidarios de la producción biodinámica fue la creación en 1928 de una marca distintiva de calidad denominada "Demeter" bajo la cual se comercializan sus productos. En 1955 se creó la Federación Demeter para la administración internacional de la marca y en 1997 se fundó la Asociación Demeter Internacional con 19 organizaciones individuales con su propio sistema de certificación Demeter, estas organizaciones se ubican en Europa, América, África y Nueva Zelanda. Según afirma Colmenares (2006), el actual reglamento CEE 2092/91 sobre la denominación y el mercado de los productos de la Agricultura Ecológica en Europa se inspiró en las normas establecidas por la Federación Demeter.

Por supuesto Steiner no ha sido único promotor del pensamiento de la agricultura ecológica. Existen otros como son el escritor inglés *Sir Albert Howard* en la década de los cuarenta del siglo XX y los suizos *Hans Peter Rush* y *Müller*, todos ellos definieron y promovieron la agricultura ecológica (orgánica o biológica) en sus respectivos países.

En este contexto, en el ámbito científico nace una nueva disciplina científica, la *Agroecología*, con el fin de aportar las bases teóricas y técnicas de la Agricultura Ecológica. La agroecología, como su nombre sugiere, integra dos disciplinas: la agronomía y la ecología, las cuales sufrieron un alejamiento durante el siglo XX (Gliessman, 2002). En un principio la ecología se dedicaba sólo al estudio de los ecosistemas naturales, frente a la agronomía que se limitaba a los sistemas agrarios. Ya a finales de los años 20 del siglo XX se intenta fusionar ambos enfoques dando lugar a la "ecología de los cultivos", proponiéndose a finales de los 30 el concepto de agroecología.

Durante la Segunda Guerra Mundial se frenó el desarrollo de la mayoría de las ciencias no relacionadas con la guerra. No obstante la hambruna de la posguerra fomentó las investigaciones en el campo de la agronomía culminando en la llamada "Revolución verde". Los éxitos de la agronomía se medían por su creciente productividad basada en el uso creciente de agroquímicos. La ecología a su vez seguía dedicando su atención al estudio de los ecosistemas naturales.

En los años 60 y 70, debido al crecimiento de la conciencia medioambiental de la población y el aumento de las investigaciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas en general y los agrarios en particular, se intensifica el interés por la aplicación de estos conocimientos en la agricultura. Como

resultado de esta interacción, a principios de los años 80 el concepto de agroecología emerge de nuevo. El desarrollo de los estudios en el campo de la agroecología ha contribuido notablemente al avance del concepto de sostenibilidad en la agricultura. Las investigaciones llevadas a cabo en agroecología confirmaron una interesante observación: los métodos de cultivo de la agricultura tradicional se asimilan muy bien con los métodos recomendados para la producción ecológica.

La agroecología ofrece a los agricultores unos modelos de producción nuevos basados en las técnicas sostenibles a largo plazo, flexibles en sus usos, heterogéneos, capaces a adaptarse a las condiciones particulares del medio y profundamente integrados en su entorno.

En 1972, tras varios congresos y exposiciones internacionales en Versalles, se creó el *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM), organismo no gubernamental cuya principal función era la de coordinar las diversas organizaciones e instituciones relacionadas (tales como asociaciones de agricultores, centros de investigación y organismos de control) con la producción ecológica a nivel mundial. El borrador del actual Reglamento Comunitario sobre la agricultura ecológica ha sido elaborado y discutido dentro del organismo IFOAM. Según la IFOAM, los objetivos de la agricultura ecológica son:

- Producir alimentos de elevada calidad nutritiva en suficiente cantidad.
- Fomentar e intensificar los ciclos biológicos dentro del sistema agrario, considerando los microorganismos, la flora y la fauna del suelo, las plantas y los animales.
- Mantener e incrementar a largo plazo la fertilidad de los suelos.
- Emplear, en la medida de lo posible, recursos renovables en sistemas agrarios organizados localmente.
- Minimizar todas las formas de contaminación producidas por las prácticas agrícolas.
- Permitir que los productores agrarios lleven una vida acorde con los derechos humanos reconocidos, cubran sus necesidades básicas, obtengan unos ingresos adecuados, reciban satisfacción de su trabajo y dispongan de un entorno natural sano.
- Proporcionar al ganado unas condiciones de vida que le permitan realizar todos los aspectos de su comportamiento natural.
- Evitar cualquier contaminación derivada de las técnicas agrarias.

- Evitar la incorporación a los alimentos de sustancias o residuos que resulten perjudiciales para la salud o disminuyan su capacidad alimenticia, tales como fertilizantes de síntesis, plaguicidas, hormonas, etc.
- Preservar la diversidad genética del sistema agrario y de su entorno, inclusive la protección de los hábitats de plantas y animales silvestres.
- Tener en cuenta el impacto social y ecológico del sistema agrario.

Centrándonos en la producción ecológica del olivar (Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, 2004), el manejo del suelo representa un aspecto fundamental de este tipo de agricultura. Las técnicas desarrolladas para el manejo del suelo en el olivar ecológico deben prevenir los principales problemas de degradación del suelo: erosión hídrica, degradación física y degradación biológica. El primero de ellos es abordado en el presente estudio dando lugar a un mapa de riesgo de erosión de la zona de estudio. La degradación física y biológica se entiende como la degradación de la estructura física del suelo y la pérdida de la actividad biológica de sus microorganismos lo que acaba en una severa pérdida de la fertilidad e incluso llegando a la esterilidad. Para evitar estos fenómenos no deseados, la agricultura ecológica exige evitar una serie de actuaciones que se realizan en la agricultura convencional, y fomentar otros métodos de manejo respetuosos con el suelo. Entre las actuaciones que deben evitarse en el olivar ecológico se encuentran las siguientes:

- Exceso de laboreo.
- El uso exclusivo de abonos minerales y la destrucción de los residuos vegetales.
- La utilización de plaguicidas.
- El mantenimiento desnudo del suelo.
- La compactación del suelo debido al excesivo paso de maquinaria o pisoteo del ganado.

Entre las prácticas de manejo del suelo que se recomiendan en el olivar ecológico se encuentran:

- Laboreo superficial y disminución del mismo.
- Zanjas o acequias de infiltración.
- Terrazas en las pendientes.

- Control de cárcavas.
- Uso de las cubiertas vegetales.
- Uso de las cubiertas inertes.
- Adición de la materia orgánica.

Estas medidas de actuación permiten una mejora de la fertilidad del suelo a corto, medio y largo plazo.

Respecto a la fertilización, sólo se permiten los fertilizantes orgánicos no solubles en el suelo. Los productos químicos solubles están prohibidos ya que disminuyen la actividad de los microorganismos del suelo. Todos los fertilizantes permitidos en la agricultura ecológica tienen que fomentar la actividad de dichos organismos. Por otra parte, el agricultor debe intentar practicar el ciclo cerrado en la explotación utilizando como fertilizante toda la materia orgánica disponible en su finca. La fertilidad y actividad biológica del suelo se aconseja mantenerla mediante las siguientes prácticas:

- El cultivo de leguminosas, abono verde y rotación plurianual adecuada.
- La utilización de estiércol procedente de la producción ganadera sin superar 170 kg de nitrógeno por hectárea y año.
- Tratamiento del suelo y activación del compost con preparados a base de microorganismos no OGM.
- Se permite la utilización de fertilizantes orgánicos procedentes de otra explotación con la condición de que éstos cumplan con las exigencias de la AE. Por lo general se pretende fomentar el ciclo cerrado de la explotación utilizando los recursos renovables locales.
- También se permite la utilización de los fertilizantes de origen mineral pero no solubles en el suelo.

Por lo general, la fertilización en el olivar ecológico es la segunda operación más costosa después de la recolección. Para abaratar su coste es imprescindible aprovechar los restos de poda y compost del alperujo de la almazara. Tiene una especial importancia y doble utilidad el cultivo de leguminosas entre los olivos utilizándolo como cubierta vegetal, en donde la utilidad es doble: como abono verde y como protección contra la erosión hídrica.

La lucha contra las plagas y enfermedades se realiza a través de la utilización de las siguientes prácticas:

- Selección de variedades y especies adecuadas.
- Un adecuado programa de rotación.
- Utilización de los medios mecánicos para el cultivo.
- Protección y fomento del desarrollo de los enemigos naturales de las plagas.
- Quema de malas hierbas (no se debe confundir con la quema de rastrojos que está prohibida) como medida complementaria a la lucha mecánica.
- En la medida de lo posible, llevar a cabo la utilización de prácticas culturales naturales de lucha.
- Limitación del uso de insecticidas a las materias activas permitidas por las autoridades.

El material de reproducción tiene que estar producido de acuerdo al método de producción ecológica, sin embargo se permite utilización de semillas y material de producción convencional que cumple con las siguientes exigencias:

- Que no esté tratado con productos no autorizados.
- Que no sea transgénico.
- Con la autorización de la autoridad de control para su empleo.
- Que no haya disponibilidad de esa especie y variedad de producción ecológica en el mercado.

El regadío en la producción ecológica también tiene sus restricciones. Normalmente se prohíbe la utilización de agua depurada de origen urbano debido al alto contenido de metales pesados y otras sustancias no deseadas en ella. No obstante se puede tolerar el regadío con agua de un sistema de depuración por lagunaje, plantas acuáticas o filtración del agua residual de la vivienda del agricultor siempre y cuando éste no realiza vertidos de sustancias prohibidas. Y por supuesto se exige el uso racional de agua para el regadío.

Existe un régimen especial para la reconversión del cultivo de producción convencional a la producción ecológica. El periodo de reconversión normalmente dura al menos dos años para los cultivos anuales y tres años para los cultivos perennes antes de conseguir la primera cosecha con

derecho a ser comercializada con la indicación “agricultura ecológica”. El plazo se cuenta a partir de la fecha de solicitud de inscripción si no se puede comprobar la fecha de realización de algún tratamiento con productos no autorizados. Durante el primer año de reconversión los productos del cultivo de la explotación se comercializan como si fuera convencional. La producción de segundo y tercer años puede ser etiquetada como “reconversión a la agricultura ecológica”.

El sistema de producción ecológica está regulado por normativa europea, nacional y regional. En el ámbito comunitario el Reglamento vigente se promulgó en 1991 (Reglamento CEE 2092/91 del Consejo, de 24 de junio, DOCE nº L 198 de 22/07/1991) “sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimentarios”, determina el concepto de agricultura ecológica, sus técnicas de producción, los procedimientos de control y garantía, las posibilidades y condiciones de utilización de una marca de garantía, las ayudas destinadas al desarrollo de este tipo de producción dentro del marco de la PAC. Este reglamento ha sufrido ligeras modificaciones entre las cuales podemos destacar el Reglamento (CE) 1073/2000 de la Comisión, de 19 de mayo (DOCE de 20/05/2000). La regulación de ayudas para la agricultura ecológica se realiza a través del Reglamento (CE) 1257/99 del Consejo sobre ayudas al desarrollo rural a cargo del FEOGA (Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrarias). La regulación de la producción animal en esta materia se recoge en el Reglamento (CE) 1804/1999, del Consejo, de 19 de julio.

En el ámbito nacional podemos destacar que la legislación española se había adelantado a la europea en materia de producción ecológica. Así el MAPA vía el Real Decreto 759/1988 de 15 de julio (BOE nº 174 de 21/07/1988), acogía los “productos agroalimentarios obtenidos sin empleo de productos químicos de síntesis” en el marco de las denominaciones genéricas. Otros decretos nacionales a destacar es el Real Decreto 1852/1993, de 22 de octubre (BOE nº 283 de 26/11/1993) sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimentarios. Y por supuesto la Orden de 28 de diciembre de 1993 (BOE nº 7 de 1994) por lo que se desarrollaban las normas de Real Decreto 1852/1993, y correspondían a la aplicación de la normativa comunitaria 2092/91 en el ámbito nacional. Las ayudas financieras para la agricultura ecológica en España se regulan en el marco del Reglamento Comunitario (CE) 1257/99 sobre “ayudas al desarrollo rural a cargo del FEOGA (Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrarias), y por el Real Decreto 4/2001 (BOE nº 12, de 13/01/2001) sobre “ayudas a la utilización de métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente”.

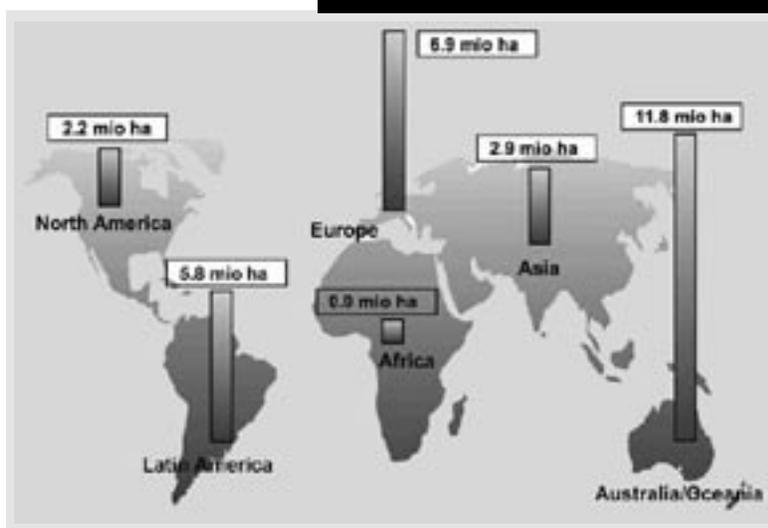
La primera normativa de Andalucía apareció en la Orden de 5 de Junio de 1996 (BOJA núm. 71 de 22/06/1996) sobre “la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimentarios y el Comité Andaluz

de Agricultura Ecológica” y fue la adaptación de la normativa europea. En el Decreto 166/2003, de 17 de junio (BOJA núm. 117, de 20 de Junio de 2003) sobre la producción agrícola ecológica en Andalucía, se actualiza la normativa anterior vigente y se añade nuevos mecanismos de control.

El mecanismo de control del cumplimiento de las normas comunitarias de la producción ecológica se preveía mediante dos procedimientos: (a) por las autoridades de control públicas, y (b) por organismos privados autorizados. En España actualmente conviven ambas formas de control.

Según IFOAM (2007) la agricultura ecológica se está desarrollando en un ritmo bastante rápido y actualmente se practica en más de 120 países del mundo (Gráfico III.5). Las mayores tasas de crecimiento en la agricultura ecológica se han registrado en América del Norte y en Europa, comparándolo con los datos de 2004, ambos continentes han aumentado la superficie dedicada a AE en medio millón de hectáreas cada uno.

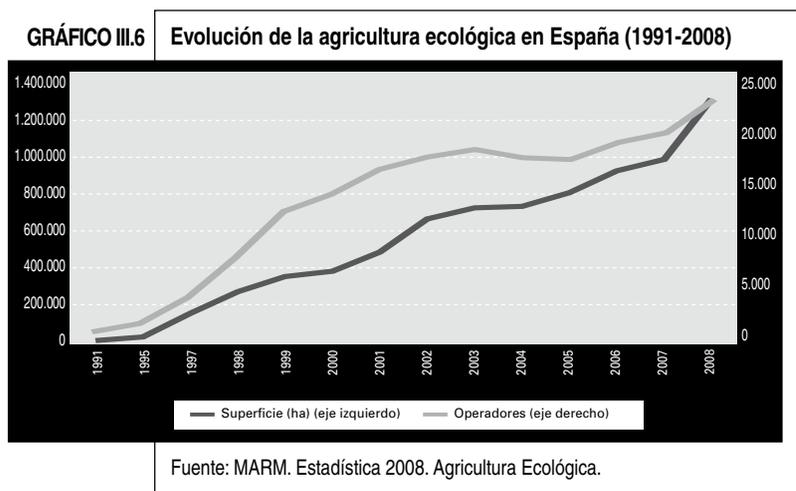
GRÁFICO III.5 Agricultura ecológica en el mundo



Fuente: IFOAM, SOEL-FIBL Survey 2007, Graph: Minou Youssefi, SOEL.

Se puede afirmar que la agricultura ecológica se practica en más países aún, pero sin poseer una certificación, por lo general existen problemas para conseguir los datos en algunos países. La superficie que ocupa la agricultura ecológica actualmente en el mundo ronda los 31 millones de hectáreas (IFOAM, 2007). Esto corresponde al 0,7 por ciento del suelo

agrícola de los países analizados por IFOAM. Actualmente el país con la mayor superficie dedicada a la agricultura ecológica (AE) es Australia con 11,8 millones de hectáreas, seguido por Argentina con 3,1 millones, China con 2,3 millones y Estados Unidos con 1,6 millones. Sin embargo, los países europeos en la comparación Agricultura Ecológica *versus* Agricultura Convencional presentan el mayor porcentaje de dedicación a la agricultura ecológica. La figura siguiente revela el incremento notable de la superficie y de operadores en producción ecológica en España en los últimos años.



Respecto al **olivar ecológico**, los países líderes en superficie son Italia, España y Túnez. La superficie total de olivar ecológico en Andalucía es de 41.557 ha (MARM, 2008), lo cual representa el 41 por ciento de la superficie de agricultura ecológica en España (101.275 ha). Extremadura es la segunda Comunidad Autónoma por la superficie de olivar ecológico con 35.294 ha.

En el ámbito andaluz es interesante comentar dos casos del desarrollo de la AE en olivar. El primero localizado en el olivar de la Sierra de Segura (Jaén) por un grupo de productores de Génave. Según Pajarón-Sotomayor (2001), los productores de aquella zona, empujados por la declaración del territorio como Parque Natural, deciden encontrar un camino para compatibilizar la viabilidad económica del cultivo de olivar con las exigencias medioambientales. Los trabajos de reconversión hacia la producción ecológica comienzan en otoño de 1987 bajo la supervisión y control de la Asociación “Vida Sana” ya que aún no existían sistemas públicos de certificación. Los primeros resultados fueron bastante negativos: la producción había disminuido y el aceite producido no generaba las ventas

esperadas en el mercado. Esto produjo la segregación de la cooperativa y sólo algunos socios que en suma poseían un tercio de las tierras de la cooperativa anterior mantuvieron el acuerdo de seguir con la producción ecológica organizándose en una nueva cooperativa “Sierra de Génave” (año 1989). La dirección de la nueva cooperativa consiguió atraer la innovación tecnológica y la ayuda de los investigadores del proyecto ECLAIR-209 (Desarrollo de Sistemas de Control de Plagas inocuos para el olivar), lo cual supuso un nuevo sistema de lucha ecológica contra la mosca del olivo. El uso de compostaje de subproductos de la almazara mejoró notablemente la fertilidad de suelo y como consecuencia la productividad de los olivos. Actualmente la cooperativa ha aumentado su número de socios así como la superficie de olivar ecológico y comercializa sus productos bajo una Denominación de Origen Protegida.

El segundo caso sobre el desarrollo de olivicultura ecológica en Andalucía se sitúa en el Valle de los Pedroches (Córdoba). En el año 1996 se establecen las ayudas para la producción ecológica en Andalucía (Reglamento 2078/92) al tiempo que un conjunto de olivicultores, socios de la Cooperativa Olivarera Los Pedroches SCA, deciden abrir camino hacia un nuevo modelo de agricultura compatible con ganadería y respetuosa con el medioambiente (Barea y Ruiz Avilez, 2002). La decisión de acogerse al marco de la agricultura ecológica les obligó a resolver satisfactoriamente diversos problemas de este territorio: disminuir la erosión plantando una cubierta vegetal y reducir el número de los frutos dañados por la mosca del olivo. Respecto a este último problema los miembros de Cooperativa realizaron ensayos con trampas para la mosca. Ambas medidas, junto con la mejora de elaboración y envasado del aceite que se comercializa con marca propia, han conseguido que el olivar de los Pedroches acogido al marco de AE sea totalmente rentable.

Quizás el segundo caso expuesto de la experiencia positiva en la producción ecológica ha sido la causa de que la provincia de Córdoba es la que posee la mayor superficie de olivar ecológico de Andalucía con 18.589 ha (datos de 2006). La segunda provincia por superficie de olivar ecológico es Sevilla con 9.403 ha, seguida por Huelva con 3.505 ha, Granada con 3.205 ha, Jaén con 2.961 ha, Cádiz con 2.208 ha, Málaga con 1.491 ha y Almería con 786 ha.

3.3.4. Reconversión al bosque mediterráneo como un sistema alternativo de gestión

Dado que en la presente investigación se aborda la multifuncionalidad del olivar de montaña se ha decidido incluir esta alternativa de gestión con el fin de maximizar los beneficios medioambientales a través de la misma.

En un sentido amplio, esta alternativa de gestión pretende preservar la biodiversidad y la naturaleza, reducir la contaminación, del agua y de los suelos, y combatir el efecto invernadero. Sin embargo dentro del marco de la presente investigación sólo se incluye el objetivo de la mejora del hábitat para la flora y fauna silvestre, y más específicamente la mejora de hábitat del lince ibérico. Se considera esta mejora como una variable proxy del objetivo general de preservación de la biodiversidad y diversidad ecológica de la zona de estudio.

Las medidas de protección de hábitats para la flora y fauna silvestre se remontan al año 1992 con la aprobación de la Directiva de Hábitats en Europa. Un año más tarde la UE ratifica la Convención sobre Diversidad Biológica. Sin embargo, los objetivos específicos de la conservación de la biodiversidad agraria en Europa no se formulan hasta el año 2001 (Comisión Europea, 2001). La distinción de la biodiversidad de otros aspectos tales como cambio climático, la salud, gestión sostenible de los recursos y residuos, etc., se realiza en el sexto programa marco comunitario de acción en materia de medio ambiente 2001-2010.

La actividad agraria tiene ciertas externalidades negativas que han sido objeto de atención por parte numerosos investigadores (Brouwer, 2002; Díaz *et al.*, 1988, Varela y Sumpsi, 2002). Sin embargo, las externalidades positivas de la agricultura relativas a la biodiversidad no son consideradas hasta 1996 dentro del seminario de Helsinki organizado por la OCDE (OCDE, 1997a).

En relación con el olivar de montaña, objeto de nuestro estudio, los trabajos sobre biodiversidad son escasos, y los únicos existentes corresponden a aves (Suárez, 2004). En este sentido, se destaca la importancia de los frutos del olivo para la alimentación de túrdidos, sílvidos, y fringílidos y otras especies frugívoras (Muñoz-Cobo, 1992). En la zona concreta de estudio se destaca el valor ecológico del olivar como un posible hábitat para el lince ibérico.

La consideración de esta alternativa en el modelo asume que genera todas las externalidades positivas respecto a la biodiversidad y suprime todas las negativas. A diferencia de las tres alternativas expuestas en los apartados anteriores, una de las características de ésta es el abandono de la actividad agraria olivarera, lo que conlleva el cese en la prestación de las funciones productivas. Además, la reconversión al bosque mediterráneo de una parte del olivar de montaña pretende mejorar la prestación de las funciones no comerciales relacionadas con el medio ambiente, entre ellas las paisajísticas, como se desprende de la valoración que la Sociedad hace de las distintas escenas rurales y que también han sido tenidas en cuenta en el modelo general de optimización del uso del territorio olivarero.

Las actuaciones generales que se pretenden implantar dentro del marco de esta alternativa son los siguientes:

- Cese de las actividades agrarias.
- Recuperación del bosque mediterráneo de un modo natural y espontánea o a través de programas específicos de reforestación.

Una de las posibles estrategias de reconversión al bosque mediterráneo es seguir las recomendaciones de Fernández *et al.* (2006) e implementar medidas favorables a la restauración del hábitat para lince ibérico: mantenimiento de los árboles maduros y de un matorral bien conservado que ocupe una superficie superior al 15 por ciento. En el caso de la reforestación sólo deben ser utilizadas especies autóctonas. No obstante, concretar las estrategias de reconversión al bosque mediterráneo no entra en los objetivos de la presente investigación.

Debido a la particularidad de esta alternativa, el abandono de la actividad productiva, su implantación real sólo podría efectuarse con ayuda de compensaciones monetarias para los agricultores que la adoptaran. En este sentido, este tipo de actuaciones encajan dentro del nuevo paquete de medidas encuadradas en el segundo pilar de ayudas al desarrollo rural y plasmadas en el nuevo Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural FEADER 2007-2013 (Reglamento CE 1698/2005), en el que se incluyen tres ejes básicos:

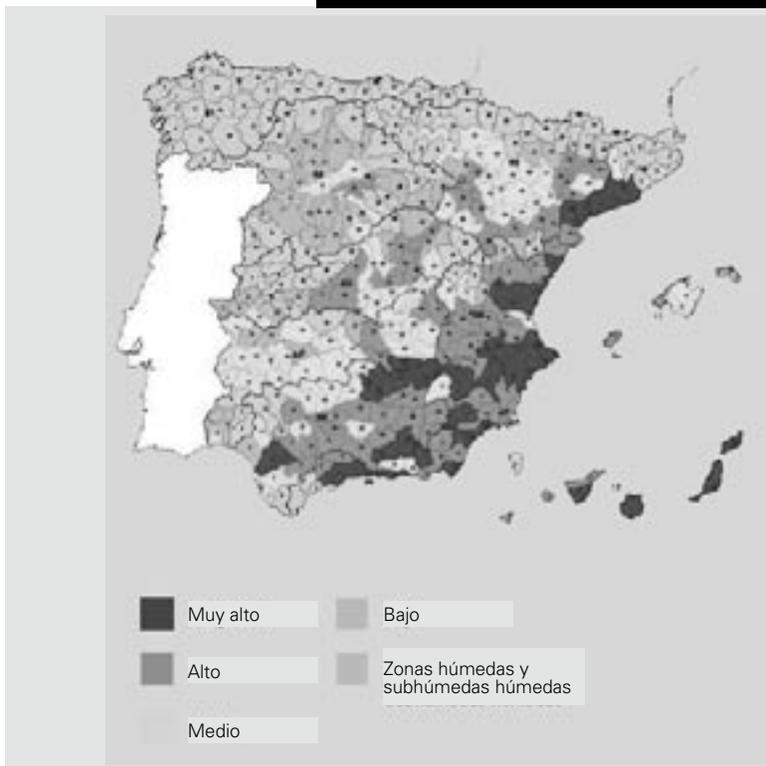
1. Aumentar la competitividad de la agricultura y la silvicultura mediante la ayuda a la reestructuración, el desarrollo y la innovación
2. Mejorar el medio ambiente y el medio rural mediante ayudas a la gestión de las tierras
3. Mejorar la calidad de vida en las zonas rurales y fomentar la diversificación de la actividad económica.

Dentro del segundo eje, se incluyen dos objetivos básicos. El primero se refiere a la *gestión sostenible de las explotaciones agrarias*, mediante acciones incluidas en el programa agroambiental: introducción de prácticas más respetuosas con el medioambiente (cuyos principales ejemplos serían la agricultura ecológica, la agricultura de conservación o la producción integrada) y la conservación de razas ganaderas en peligro de extinción, a lo que habría que añadir las acciones de reforestación de tierras agrícolas. El segundo objetivo está relacionado con la *gestión sostenible de los territorios a través de la Red Natura 2000* (red de espacios europeos donde se imponen ciertas restricciones al aprovechamiento agrícola de los mismos, condicionando la actividad de los agricultores cuyas explotaciones estuvieran ubicadas en el entorno de tales espacios naturales).

El objetivo de mejora de la biodiversidad propuesto en la presente investigación se enmarca dentro del Eje 2 del FEADER. Asimismo, la propia conexión de los sistemas agrarios, en este caso el olivar de montaña, con espacios pertenecientes a la Red Natura 2000, junto con la prevención de incendios, aspectos ambos considerados en el modelo general propuesto, también encajan en el conjunto de medidas elegibles por el nuevo FEADER.

Asimismo, el Marco Nacional de Desarrollo Rural incluye entre sus medidas horizontales la prevención de la desertificación mediante la prevención de incendios forestales. Como puede apreciarse en el gráfico III.7, la zona de estudio, así como gran parte del olivar de montaña de Andalucía, un riesgo alto de desertificación derivada del alto riesgo de erosión y de incendios. En este sentido, el posible abandono de la actividad agrícola de estos olivares de montaña podría acogerse a este tipo de medidas por su proximidad a un Espacio Natural Protegido.

GRÁFICO III.7 Mapa de riesgo de desertificación por cuencas hidrográficas



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Por último, cabe mencionar que, dado el carácter local de aplicación de esta medida de mejora de la biodiversidad, la implicación de las administraciones autónomas y locales también es imprescindible para su correcta implementación.

An aerial photograph of a hillside covered with a regular grid of olive trees. The trees are small and green, spaced out on a reddish-brown soil. The background shows a clear blue sky and a distant horizon line. The image is framed by a solid green border at the top and bottom.

Modelos espaciales y modelo general

Capítulo IV

IV. **MODELOS ESPACIALES PARCIALES Y MODELO GENERAL**

IV.1 **Los Sistemas de Información Geográfica**

4.1.1. Introducción

Existen varias definiciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Ordóñez-Galán y Martínez-Alegría (2003) definen los SIG como “Un conjunto de herramientas diseñado para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de los datos espaciales”. La definición de los SIG que puede ser encontrada en Georgiadou et al. (2004) sería la siguiente: “Los SIG representan un sistema computarizado que facilita las fases de introducción, análisis y representación de los datos especialmente en los casos cuando se trata de información georeferenciada”. En el Tutorial de ArcGis 9.1 (Santiago, 2005) los SIG se definen como “un sistema de información especializado en el manejo y análisis de información geográfica (geoespacial), e información geográfica como una abstracción o representación de la realidad geográfica (paisaje)”. También se puede encontrar una definición de los SIG más específica en (Aronoff, 1989): “Los SIG son un sistema basado en el uso de la computadora que posibilita la realización de los siguientes cuatro operaciones con datos georeferenciados:

- Recogida y preparación de los datos.
- Gestión de los datos (almacenamiento y mantenimiento).
- Análisis y manejo de los datos.
- Presentación de los datos.

Los SIG tienen su origen en la cartografía y representan una forma modernizada de representación de la información espacial. Uno de los primeros ejemplos conocidos de aplicación de los *pre-SIG* se remonta al año 1854. En este año un pionero de la epidemiología, el Dr. John Snow, cartografió la incidencia de los casos de cólera en el mapa del SoHo (Londres). Analizando el mapa pudo con precisión localizar el pozo contaminado por brote de cólera como origen de la infección.

En los años ochenta el número de aplicaciones de los SIG creció básicamente gracias a los esfuerzos de los primeros vendedores de software. Sin embargo no es hasta los años noventa, con la modernización de la tecnología de los ordenadores personales, cuando comienza el rápido crecimiento de las aplicaciones realizadas a través de los SIG.

La utilidad de los Sistemas de Información Geográfica es alta en todos proyectos relacionados con el territorio. Al principio la única aplicación que se les asignaba era como registrador de dominios catastrales, planificación urbana o trazado de las líneas eléctricas, gaseoductos, oleoductos, carreteras, etc. No obstante, actualmente sus aplicaciones se han ido extendiendo hacia agricultura, medioambiente, biología, epidemiología, gestión de negocios, medicina, criminología, arqueología y otros muchos campos donde es necesario el análisis de los datos espaciales.

De su propia definición se pueden derivar los componentes principales de un SIG: una base de datos espaciales, un sistema gestor de bases de datos, un sistema de análisis espacial, un sistema de representación cartográfica y un equipo (*hardware*) capaz de gestionar todo ello. La mayoría de los *software* desarrollados y disponibles actualmente incluyen éstos y otras opciones, como podrían ser el análisis geo-estadístico (ArcGis) y/o tratamiento de las imágenes (IDRISI), entre otros. En el Apéndice 2 pueden consultarse con más detalle los componentes de los SIG. Asimismo, el lector interesado en profundizar en los SIG puede dirigirse a Star y Eastes (1990), Bosque-Sendra (1992), Burrough y McDonnel (1998), ESRI (2001), Eastman (2003), Bosque-Sendra y Moreno-Jiménez (2004) y Santiago (2005).

4.1.2. Creciente aplicación de los SIG en conjunción con los métodos multicriterio

La localización espacial óptima de las actividades humanas ha sido siempre una de las cuestiones de importancia de la geografía como disciplina académica. No obstante, la posibilidad de incluir técnicas de análisis multicriterio en un SIG ha venido condicionada por las insuficiencias detectadas en este último a la hora de resolver aquellos problemas espaciales que no tienen su origen en procesos relacionados directamente con los fenómenos geográficos.

Los SIG disponen de herramientas muy potentes para el manejo de datos espaciales y territoriales, entre las que destacan la posibilidad de superposición de mapas y el cálculo de distancias y de áreas de influencia. No obstante, los SIG han visto limitado su uso por la imposibilidad de inclusión de aspectos socioeconómicos en el análisis territorial. Estas deficiencias y la necesidad de la fusión entre ambos enfoques, el puramente territorial y el socioeconómico, son abordadas por diferentes autores, entre los que cabe mencionar a Barredo Cano (1996), Malczewski (1999) y Bosque-Sendra *et al.*, (1995, 2001 y 2004).

Existen numerosos estudios previos que presentan un enfoque similar al empleado en el presente estudio, entre ellos, encontramos al realizado por Strager y Rosenberger (2005), en la cuenca del río Cacapon en Virginia Occidental (Estados Unidos), en el que se incorporan las opiniones de

diferentes expertos, así como de población local, en un modelo espacial de evaluación del territorio para la conservación ecológica. Dai *et al.* (2001) realizan una evaluación del territorio urbano para indicar los usos más adecuados en la zona de ciudad Lanzhou (China). Los autores evalúan el territorio urbano para cinco posibles usos: construcción de rascacielos; construcción de edificios altos; construcción de edificios bajos; situación de vertederos y situación de espacios de protección natural.

Otros ejemplos los encontramos en Store y Kangas (2001), evaluando el territorio con el objetivo de determinar su susceptibilidad como hábitat para la fauna silvestre. Dragan *et al.* (2003) analizan la posibilidad de cambio de gestión de diferentes cultivos en Etiopía para la protección de los suelos contra la erosión. Thirumalaivasan *et al.* (2003) elaboran un índice territorial utilizando el método AHP para valorar la vulnerabilidad de los acuíferos por la contaminación derivada del uso de herbicidas. También Muñoz-Robles *et al.* (2005) combinan los SIG con el método AHP para la determinación del riesgo de incendios en un bosque del estado de Nuevo León (México), al igual que Wu y Wang (2007), que elaboran un procedimiento integrado de evaluación del riesgo de erosión hídrica en un territorio de China.

Para la resolución del presente estudio se han utilizado varios programas de uso general así como un *software* específico, ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*), en concreto su módulo SMCE (*Spatial Multi Criteria Evaluation*). Entre los programas de uso general se han utilizado ArcView 3.2 y ArcGis 9 de fabricación ESRI como plataforma para representación y manejo de los datos espaciales, Excel de Microsoft para la realización de cálculos matemáticos sencillos, y una extensión de MATLAB para la resolución del algoritmo AHP. En el Apéndice 2 se detallan otras posibilidades de *software* así como el procedimiento seguido en el presente estudio para la planificación y solución del proceso de la toma de decisiones.

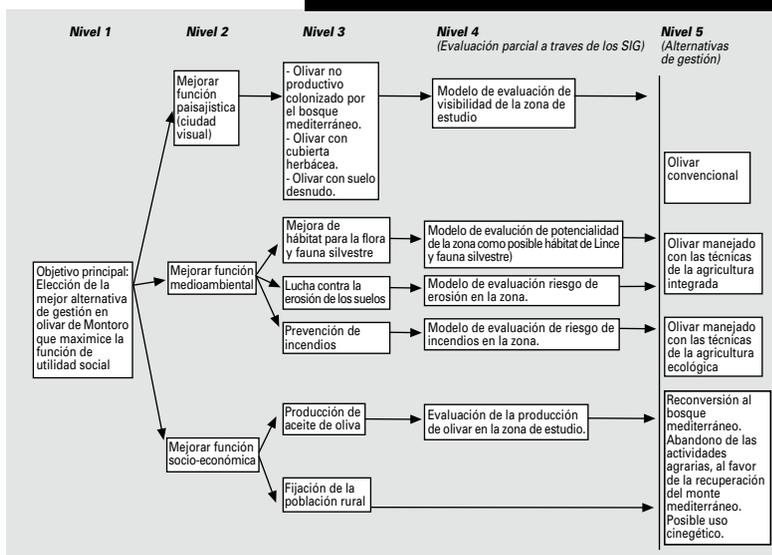
4.1.3. Estructura jerárquica del modelo general

El Gráfico IV.1. muestra la estructura jerárquica del modelo general, la cual consta de cinco niveles (objetivo general y alternativas inclusive). La creación de la esta jerarquía responde a los pasos recomendados para la ejecución del método AHP (véase el Apéndice 1). Una vez elaborada la estructura jerárquica, el diseño del experimento conlleva cuatro fases:

- Encuesta a la población sobre la importancia de distintas funciones seleccionadas del olivar de montaña (se corresponde con los niveles 1, 2, y 3 de la estructura jerárquica).
- Realización de modelos espaciales (nivel 4).
- Encuesta a los expertos.

- Cálculo de la importancia relativa de cada alternativa aplicada al territorio de la zona de estudio, y obtención de la mejor alternativa de actuación dependiendo de las características de la zona.

GRÁFICO IV.1 Estructura jerárquica del modelo general



Fuente: Elaboración propia.

En una primera fase se ha realizado una encuesta a la población teniendo en cuenta solamente los tres primeros niveles. La población encuestada pertenece a la provincia de Córdoba y el objetivo de dicha encuesta ha sido la ponderación de las distintas funciones que cumple el olivar de montaña. En el cuestionario (ver Anexo 1) se han realizado las comparaciones por pareja entre diferentes funciones de olivar de montaña siguiendo el método AHP. A la hora de realizar las entrevistas personales se ha seguido un muestreo por cuotas proporcional al tamaño del municipio, edad y sexo. Como resultado se obtuvieron 473 cuestionarios válidos.

Para evaluar la función paisajística se le presentaban al entrevistado tres fotografías de los siguientes tipos de gestión del olivar:

- olivar convencional sin cubierta vegetal.
- olivar ecológico e integrado con cubierta vegetal.
- olivar en el proceso reconversión al bosque mediterráneo.

Para evitar la subjetividad sobre la “calidad” de la escena concreta, se prepararon 10 fotografías de cada tipo de gestión y se iban presentando en tríos de continua rotación aleatoria. De esta forma, la misma combinación de fotografías tenía una probabilidad baja de repetición. Las fotos presentadas durante las entrevistas se encuentran en el Anexo 3.

En una segunda fase se han realizado los modelos espaciales correspondientes al Nivel 4. Los modelos espaciales realizados han sido los siguientes:

- Evaluación del potencial productivo por parcela.
- Evaluación del riesgo de incendios en la zona de estudio.
- Evaluación del riesgo de erosión en la zona de estudio.
- Evaluación de la potencialidad de la zona como posible hábitat para el lince ibérico (como un representante emblemático de la diversidad ecológica).
- Evaluación de la visibilidad de la zona de estudio.

El objetivo de la fijación de la población rural se ha considerado como criterio no espacial. La descripción detallada de cada uno de estos modelos se encuentra más adelante en este capítulo. El modelo de potencialidad de la zona para la recuperación del hábitat y el de visibilidad han sido realizados en ILWIS SMCE, para el resto de mapas se ha utilizado ArcGIS 9 de fabricación ESRI.

En una tercera fase se ha realizado la encuesta a los expertos sobre la evaluación de las alternativas de gestión del olivar en relación con los subcriterios de nivel más bajo. El número de expertos consultados fue de 15, si bien no todos se manifestaron sobre todos los objetivos, centrándose en su área de conocimiento. El cuestionario aplicado puede consultarse en el Anexo 2.

Tras la obtención de los pesos iniciales se volvió a contactar con los expertos para evaluar su grado de acuerdo con los mismos. En el siguiente capítulo aparecen los resultados de esta encuesta así como la divergencias encontradas en sus opiniones. Los expertos entrevistados pertenecen, o están vinculados a los siguientes organismos:

- Departamento de Ecología. Universidad de Granada.
- Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba.
- Área de Economía y Sociología Agrarias. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Junta de Andalucía.

- Área de Producción Agraria. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Junta de Andalucía.
- Área de Producción Ecológica y Recursos Naturales. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Junta de Andalucía.
- Instituto de Agricultura Sostenible. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- División Planificación y Gestión de la Biodiversidad. Planificación y Gestión de Flora y Fauna. EGMASA.
- Departamento de Economía Agraria. ETSIA. Universidad de Valladolid.

En la cuarta y última etapa se ha realizado el cálculo de la importancia relativa de cada una de las alternativas aplicándolo a la zona de estudio a través de los SIG. A grandes rasgos, esta etapa es común para todos los problemas que se resuelven con el método AHP. La única diferencia en el presente estudio consiste en la inclusión de la vertiente territorial. En esta fase se ha utilizado ILWIS modulo SMCE. Por tanto, se ha calculado la importancia relativa de cada una de las alternativas en cada píxel (área 10x10 metros) de la zona de estudio. De este modo se generan cuatro mapas (uno para cada alternativa de gestión del olivar o su reconversión al bosque mediterráneo). Posteriormente se calcula un único mapa resultado que indique la alternativa con la mayor importancia relativa para cada píxel. Esta última operación ha sido ejecutada con la herramienta “*map algebra*” (álgebra de mapas) de ArcGIS 9. El funcionamiento de esta herramienta consiste en la comparación de los valores relativos de los cuatro mapas entrantes (representan las cuatro alternativas del estudio) haciéndolo píxel por píxel.

Como *output* de esta operación se ha obtenido un mapa resultado indicando el nombre de la alternativa ganadora en cada píxel. Así cada píxel de la zona de estudio ha sido evaluado y luego comparado en relación de cada una de las alternativas. La diferencia con el AHP ordinario consiste en la múltiple comparación entre los valores de los píxeles. En AHP ordinario este proceso solo se realiza una vez y se conoce como “*Ranking*” de las alternativas. Este último mapa calculado representa el resultado final de nuestro estudio.

Para evaluar la función paisajística hemos seguido un procedimiento diferente debido a su naturaleza específica.

Al carácter específico de esta función. Como muestra el gráfico III.1, la función paisajística en el Nivel 3 contiene tres opciones, a diferencia del resto de objetivos que solo tienen una. En la encuesta a la población se consideran estas tres opciones visuales del olivar: suelo desnudo, suelo con cubierta vegetal y olivar no productivo. Como aportación adicional,

la valoración de las distintas opciones visuales no tiene una traducción directa en el territorio, por ejemplo, un olivar con cubierta es preferible visualmente en cualquier localización, sino que su traslación se filtra por un modelo previo de visibilidad, de forma que las zonas de mayor visibilidad de la zona de estudio, el municipio de Montoro, son las que reciben mayor ponderación de esta función paisajística.

La explicación detallada del Nivel 4, los mapas parciales, se desarrolla en los siguientes apartados de este capítulo.

IV.2 Modelos parciales de ordenación del territorio olivarero

El proceso de optimización general implica la obtención de modelos parciales para cada uno de los objetivos analizados en el estudio, a saber:

- Producción aceite de oliva.
- Estado del territorio para hábitat para la flora y fauna silvestre.
- Riesgo de erosión de los suelos.
- Riesgo de incendios.
- Visibilidad de la zona de estudio.

El análisis del territorio según estos objetivos se lleva a cabo a través de la evaluación multicriterio expuesta anteriormente. Cada uno de ellos presenta su propia especificidad, resultado de otros estudios de diversa complejidad sobre el estado de territorio con respecto al objetivo correspondiente. Por esta razón, cada uno, excepto el mapa de producción de aceite de oliva, tiene su propia estructura jerárquica, por lo que se desarrollan de forma separada para ser posteriormente agregados en el modelo general.

4.2.1. Modelo SIG sobre la producción de aceite de oliva

Mediante el programa ILWIS 3.4 se reclasifica la zona de estudio en varias clases dependiendo de la productividad de las parcelas olivareras, asignándoles un peso relativo a cada una de estas clases, como aparece en el siguiente cuadro:

CUADRO IV.1

Clasificación de la zona de estudio según rendimientos y pesos relativos

Rendimiento (kg aceituna/ha)	Peso relativo
1. 0-1000	0,17
2. 1001-2000	0,33
3. 2001-3000	0,50
4. 3001-4000	0,67
5. 4001-5000	0,83
6. >5000	1,00

Fuente: Elaboración propia.

El mapa resultado de esta clasificación del territorio zona de estudio se encuentra en el siguiente capítulo junto con el resto de mapas de resultados. El carácter simple de esta ordenación, a diferencia del resto de objetivos, no requiere de ninguna estructura jerárquica.

4.2.2. Modelo SIG para el objetivo de mejora del hábitat para la flora y fauna silvestre

La zona de estudio, adyacente al Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro, presenta una excepcional riqueza de flora y fauna, teniendo al lince ibérico como especie emblemática. Precisamente esta riqueza es la que cualifica a las zonas olivereras como posibles zonas de invasión de estas especies de flora y fauna. Entre las especies que podemos encontrar destacan:

Especies vegetales: el roble melojo o rebollo (*Quercus pyrenaica*), encina (*Quercus rotundifolia*), quejigos (*Quercus faginea*), acebuches (*Olea europea var. sylvestris*), y en menor proporción alcornoque (*Quercus suber*). En muchos lugares el bosque autóctono se encuentra degradado y sustituido por un denso matorral de madroño (*Arbutus unedo*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), coscoja (*Quercus coccifera*), jaras (*Cistus sp*) y brezo (*Erica arborea*). Alrededor de los cursos de agua se observa un *subclimax* constituido por bosques hidrófilos que necesitan un nivel de humedad más alto, compuestos por álamo blanco (*Populus alba*), álamo negro (*Populus nigra*), adelfa (*Nerium oleander*), etc. El estrato herbáceo está formado por pastizales oligotrofos mediterráneos, ocupando los espacios libres de matorral. Por lo general son pastizales muy pobres y en lugares áridos y erosionados están representados por *Psilurus incurvus*, *Evax pigmaea*, etc.; en lugares con más humedad encontramos malla anual (*Bellis annua*), tréboles (*Trifolium spp.*), etc.; y en lugares húmedos y pastoreados poa (*Poa bulbosa*), trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), etc. En la zona del Parque también se encuentran repoblaciones de pino (*Pinus pinea*) y eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*), si bien ninguno de ellos son especies autóctonas de la zona.

Mamíferos: lince ibérico (*Lynx pardina*), como símbolo del parque, lobo (*Canis lupus*), del que sólo quedan en la región 10-12 parejas; gato montés (*Felis sylvestris*); Meloncillo (*Herpestes ichneumon*) y Nutria (*Lutra lutra*); Gineta (*Genetta genetta*) y Zorro (*Vulpes vulpes*). Micromamíferos: la Musaraña común (*Crocidura russula*) y la Musarañita (*Suncus etunscus*), las dos especies protegidas. El conejo (*Oryctolagus cuniculus*), la liebre (*Lepus capensis*), el ciervo (*Cervus elaphus*), gamo (*Dama dama*), jabalí (*Sus scrofa*) y muflón (*Ovis musimon*), especies de interés cinegético.

Aves: destacamos las rapaces: Águila imperial (*Aquila adalberti*), Águila real (*Aquila chrysaetos*), Águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*), Águila calzada (*Hieraetus pennatus*), Águila culebra (*Circaetus gallicus*), Ratonero (*Buteo buteo*), Azor (*Accipiter gentilis*), Buitre leonardo (*Gyps fulvus*), Alimoche (*Neophron percnopterus*) y Buitre negro (*Aegypius monachus*) etc., si bien estos tres últimos no anidan en este territorio, lo visitan con frecuencia en busca de alimentos.

Reptiles: la víbora hocicuda (*Vipera latastei*), el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), el galápago leproso (*Clemys caspica*), el eslizón de cinco dedos (*Chalcides bedriagai*), la culebrilla ciega (*Blanus cinereus*), etc.

Tal riqueza de diversidad ecológica en el territorio adyacente a la zona de estudio incrementa la posibilidad de reconvertir una parte de los olivares menos productivos en un estado natural favorable para la flora y fauna silvestre. No obstante, la evaluación de este objetivo presenta una gran complejidad. Las actividades agrarias, en especial la agricultura convencional y la intensiva, interfieren fuertemente en el hábitat para la flora y fauna silvestre (Donald *et al.*, 2006; Osinski, 2003; Santelmann *et al.*, 2006; Waldhardt 2003). La influencia negativa de las actividades agrarias sobre hábitat natural esta bien documentada por Pimentel *et al.* (1992) y Sullivan y Sullivan (2006).

En este sentido, está claro que existe una clara necesidad de encontrar algunos indicadores para evaluar las zonas agrícolas con respecto a la potencialidad que tienen éstas para recuperar el hábitat para la flora y fauna silvestre. La mayoría de los indicadores desarrollados para evaluar la biodiversidad y la diversidad ecológica hacen referencia a la abundancia de especies y/o el requerimiento de alguna especie en particular (Büchs, 2003; Duelli y Obrist, 2003; Jeanneret *et al.*, 2003; Waldhardt, 2003).

En el presente estudio ha sido adoptado este último enfoque metodológico, utilizando al lince ibérico como especie emblemática. Esta especie es actualmente la más amenazada de todos los felinos, reconocida como una especie que se encuentre en peligro de extinción por WCU (IUCN, 2002) y la especie carnívora más amenazada de Europa (Ferrerías, 2001). Se encuentra al borde de la extinción debido al número reducido de individuos existentes y al hábitat altamente fragmentado. La Península Ibérica es el único lugar en el mundo donde se encuentra esta especie.

En la actualidad se dedican muchos esfuerzos para recuperación de esta especie a nivel europeo, nacional y regional. El Proyecto “Life-Nature Project” (LIFE02NAT/E/8609) financiado por la Comisión Europea y titulado “Recuperación de las poblaciones de Lince en Andalucía” es un claro ejemplo. También existe una extensa legislación que protege a lince en el marco europeo, portugués, español y andaluz.

Desde punto de vista científico se han realizado numerosos estudios sobre esta especie: Fernández y Palomares (2000), Palomares *et al.* (2000), Palomares (2001), Rodríguez y Delibes (2003), Johnson *et al.* (2004), Fernandez *et al.* (2006), Pertoldi *et al.* (2006) y Fernández *et al.* (2007), son algunos ejemplos. En Andalucía actualmente solo existen dos núcleos de población del lince: el Parque Natural de la Sierra de Cardeña - Parque Natural Sierras de Andujar y el Parque Nacional de Doñana. El primer núcleo tiene la mayor población y la menor fragmentación, sin embargo la mayoría de los estudios y observaciones sobre el lince se han realizado en el Parque Nacional de Doñana.

La zona de estudio se encuentra muy próxima al núcleo del lince del Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro. Un estudio llevado a cabo en Andalucía (Junta de Andalucía, 2004) corrobora que las áreas cercanas al municipio de Montoro potencialmente son aptas para recuperar las poblaciones del lince. Otro estudio independiente llevado a cabo por Fernández *et al.* (2006) demuestra una alta validez de áreas situadas cerca del olivar de Montoro como hábitat para lince. Por esta razón los territorios actualmente ocupados por olivar son muy importantes como hábitat “fronterizo” que facilita su migración. Siendo así la recuperación del hábitat necesario para la vida del lince es una de las acciones mas importantes dirigidas a conservar esta especie (Delibes *et al.*, 2000; Ward, 2004).

Existen varias posibilidades de evaluar la potencialidad del territorio como hábitat par la flora y fauna silvestre. Entre ellas se encuentran las siguientes: análisis geoestadístico de probabilidades (Bayliss *et al.*, 2005), análisis de los escenarios (Santelmann *et al.*, 2006) y evaluación multicriterio (Store y Kangas, 2001; Store y Jokimaki, 2003). Éste último método es el escogido para el presente estudio.

La metodología utilizada conlleva tres fases:

- Inventario de los requerimientos de especie con respecto al hábitat.
- Aplicación del método AHP. La información necesaria para la ejecución del método se obtiene de las respuestas de los expertos en materia del lince.
- Uso de los SIG con el objetivo de aplicar la información obtenida en las fases anteriores al territorio objeto de estudio.

En relación con el inventario de los requerimientos de especie, las causas principales de desaparición del lince ibérico son:

- Alteración y desaparición de su hábitat.
- Brusca disminución de los conejos (la presa principal del lince) en las décadas anteriores.
- Actividades humanas ilegales como la caza y la puesta de trampas (Delibes *et al.* 2000; Ward 2004).

En este estudio se abarca solamente una de ellas: la alteración y desaparición del hábitat.

Alteración y desaparición del hábitat del lince

Desde los tiempos prehistóricos el paisaje de la Península Ibérica ha sido alterado por las actividades humanas. Los antiguos pobladores dedicaban sus esfuerzos a la quema y la tala de los bosques mediterráneos, que por aquél entonces cubrían toda la Península, convirtiéndolos en pastos y tierras de cultivo. Este tipo de actividades favorecían al lince ya que el paisaje transformado era capaz de soportar una mayor población de conejos (*Oryctolagus cuniculus*). Sin embargo estas actividades humanas eran beneficiosas mientras quedaban parches de bosque y matorral suficientemente grandes para soportar las poblaciones del lince. Inicialmente sólo pequeñas parcelas de bosque eran eliminadas, dejando áreas grandes inalteradas. Con el paso del tiempo este paisaje tradicional comienza a cambiarse: los terrenos limpiados para pastos y cultivos incrementan su tamaño al mismo tiempo que las zonas boscosas se hacen cada vez más pequeñas. A mediados del siglo XX se introducen las prácticas de la agricultura intensiva en España, lo que a su vez provoca unos cambios en el paisaje a escala industrial. Desde entonces el hábitat del lince ibérico ha disminuido dramáticamente. La reciente tendencia hacia el abandono de las actividades agrarias no han mejorado la calidad del hábitat.

Otra importante amenaza para el hábitat del lince procede de la construcción de las autopistas, carreteras, embalses, minería abierta, centrales eléctricas y grandes plantas industriales.

Numerosos estudios previos afirman que el bosque mediterráneo de matorral y pastos es el hábitat preferido por el lince. Está confirmado que el lince se refugia en el bosque y en el matorral, pero caza sus presas en las áreas de pastizal abierto. Otro aspecto de importancia es la tranquilidad de la zona: el lince es muy sensible a la presencia humana y a cualquier tipo de perturbación producida por la presencia humana (Palomares *et al.*, 2001). Por lo general el lince intenta evitar cualquier tipo de contacto con

el hombre. Sin embargo el tráfico es una de las causas más importantes de su mortalidad, por esto a la hora de plantear la recuperación del hábitat es importante tenerlo en cuenta.

Como una contribución de importancia a los estudios sobre evaluación y modelización del hábitat para el lince es interesante comentar el trabajo de Fernández *et al.* (2006), que considera siete variables paisajísticas ligadas a la distribución del territorio de apareamiento para diferentes grupos de lince. Los objetivos principales de aquel estudio fueron: evaluar las relaciones entre la presencia de los elementos paisajísticos necesarios para el lince en Sierra Morena, evaluar la cantidad de hábitat disponible para la especie en el área y evaluar las medidas de gestión del paisaje con el fin de preservar el hábitat para el lince. Los dos últimos objetivos tienen cierta similitud con el presente estudio.

Siguiendo las recomendaciones de los estudios anteriores se han seleccionado varios elementos del paisaje para su consideración en el análisis:

CUADRO IV.2

Principales elementos del paisaje relacionados con los requerimientos del hábitat para el lince ibérico

Elementos de paisaje	Definición
Zonas urbanas	Las principales zonas urbanas situadas en el área de estudio.
Caminos asfaltados	Todas las carreteras existentes en la zona de estudio.
Olivar con o sin cubierta vegetal	Representan el área de estudio objeto de evaluación. Tiene forma de mosaico de las parcelas olivareras con diferente nivel de intensificación con o sin presencia de cubierta vegetal.
Formaciones de vegetación actualmente existentes	Bosque mediterráneo, matorral, pastos.
Parque Natural de la Sierra de Cardena y Montoro	Consideración de la influencia positiva del Parque Natural.
Aguas	Arroyos, ríos y embalses.
Influencia de las zonas urbanas	Limitación
Autovía Córdoba-Madrid (área de 500 m a ambos lados)	Limitación
Carretera nacional con destino a Ciudad Real (área de 250 m a ambos lados)	Limitación
Embalses	Limitación

Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía existente.

Las limitaciones consideradas en el estudio han sido las siguientes:

- Zona del olivar de Montoro.
- La influencia perturbadora de las zonas urbanas.
- Los terrenos ocupados por embalses.
- Las zonas alrededor de los dos caminos asfaltados con un alto nivel de tráfico de vehículos.

Zonas de influencia de los elementos del paisaje seleccionados

La evaluación realizada sigue las recomendaciones de Delibes *et al.* (2000) y Junta de Andalucía (2004) sobre la influencia de los elementos del paisaje sobre el hábitat del lince.

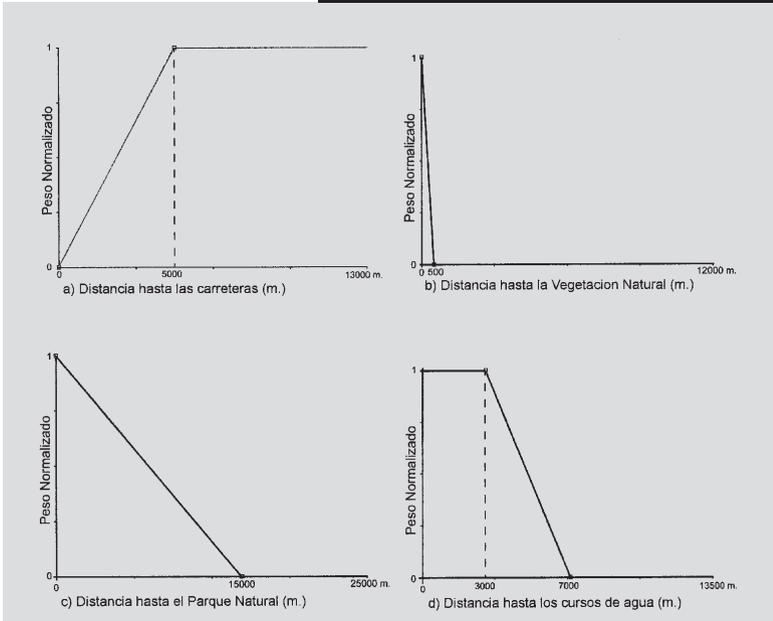
Las áreas urbanas, dada su actividad perturbadora, tienen una influencia claramente negativa sobre el hábitat del lince. Estudios previos (Palomares *et al.* 2001; Junta de Andalucía, 2004) indican que esta especie evita acercarse a los núcleos urbanos a menos de 2-2,5 km. Por esta razón este elemento del paisaje se tiene en cuenta como factor limitante, esto es, un criterio que no se puede compensar con el efecto positivo de otro elemento. De esta forma, una franja de 2 km alrededor de los núcleos urbanos ha sido excluida de la evaluación asignándoles utilidad cero para este criterio.

Las carreteras representan otro elemento del paisaje con una clara influencia negativa sobre el hábitat del lince dado el riesgo de atropellos y la reducción de la posibilidad de dispersión para la especie. Todas las carreteras existentes en el municipio de Montoro se dividen en tres grupos:

- La autovía Córdoba-Madrid con un nivel elevado de tráfico;
- La carretera nacional con el destino a Ciudad Real con un nivel de tráfico medio;
- El resto de caminos asfaltados con un nivel de tráfico bajo;

De acuerdo con el informe de la Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía, 2004), se tiene en cuenta un área de influencia de 5 km como área menos deseada para el hábitat del lince (Gráfico IV.2.a). Además, para reflejar el alto nivel de tráfico en los dos primeros grupos de vías se considera el espacio de 500 m, para primer grupo, y 250 m, para el segundo grupo, como factor limitante, por lo que a estas áreas se les asigna una utilidad cero (igual influencia que las áreas urbanas).

GRÁFICO IV.2 Funciones de prioridad



Fuente: Elaboración propia.

Esta función es de tipo “beneficio” (ascendente) esto es, con el alejamiento del elemento la utilidad aumenta. No obstante, a partir de la distancia de 5 km la función de utilidad se estabiliza con un valor máximo de 1, esto es, se considera extinguida la influencia negativa de estas vías sobre el hábitat del linco.

El olivar representa el área objeto de evaluación en donde se solapan las zonas de influencia del resto de los elementos de paisaje. Todas las parcelas de olivar de la zona de estudio han sido reclasificadas según la presencia o ausencia de cubierta vegetal herbácea. Las parcelas olivareras con dicha cubierta se consideran como un hábitat más favorable que aquellas otras donde no existe. Esta decisión se justifica porque la cubierta vegetal favorece la presencia de conejos, el principal alimento del linco. De esta forma, a las parcelas con cubierta vegetal se les ha asignado el valor estandarizado de 1, y al resto un valor de cero de utilidad con respecto a este criterio.

La vegetación natural considerada en el estudio es: bosque mediterráneo, matorral y vegetación riparia. El área repoblada por pinar en el Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro fronteriza con el olivar es

excluida del grupo de vegetación natural dado a su bajo interés para el hábitat del lince (Palomares *et al.*, 2001). La importancia de cada tipo de vegetación natural depende de las condiciones locales. Por ejemplo, si el paisaje dominante es matorral, la importancia del bosque y pastos se incrementa considerablemente. No obstante, en el presente estudio se asume una importancia igual para cada tipo.

Un hábitat menos fragmentado y de mayor tamaño es mejor para el lince y otras especies silvestres, asimismo, es mucho más fácil ampliar los parches de vegetación natural existentes que crear nuevas zonas de vegetación natural. El modelo incluye estos aspectos mediante las siguientes consideraciones:

- La superficie mínima necesaria para soportar a un individuo adulto de la especie.
- La distancia máxima de dispersión y colonización de la especie.
- La posibilidad de regeneración de vegetación natural a partir de las formaciones naturales existentes.

Respecto al primer factor, Delibes *et al.* (2000 p. 18) indica que un lince adulto normalmente necesita ocupar un territorio estable que varía entre 4 y 20 km². Este mismo autor añade que el tamaño del área para un individuo generalmente depende de la densidad de la población de los conejos. Palomares *et al.* (2001) confirma estas observaciones para el caso de Parque Nacional de Doñana, donde la densidad de conejos es baja y por consiguiente el territorio ocupado por un individuo hembra es de 12,6 km². Según las observaciones, en Sierra Morena el tamaño del territorio ocupado por un lince adulto es de 5,4 km², debido a la densidad de conejos relativamente más alta que en Doñana. Por esto, a la hora de proponer el área de restauración hay que tener en cuenta las exigencias de la especie con respecto al tamaño del hábitat. Al mismo tiempo, el potencial de dispersión del lince varía entre 3 y 30 km de distancia desde el territorio materno. Debido a la proximidad del área de estudio al núcleo poblacional del lince esta exigencia no representa limitación alguna en nuestro caso. Según la bibliografía existente, la vegetación tiene un papel crucial para la calidad del hábitat. En este sentido, para establecer las distancias alrededor de los elementos del paisaje de Montoro, se ha seguido el enfoque planteado por Guzmán-Álvarez (2004). Así, se utiliza la distancia de 500 metros como aquella a partir de la cual la probabilidad de regeneración natural a partir de vegetación espontánea arbustiva y arbórea se puede considerar próxima a cero. La función de prioridad de potencial de dispersión para este elemento de paisaje se expone en el Gráfico IV.2b. Como se observa en la figura la función es de tipo "coste" (descendiente), esto es, su valor disminuye con el incremento de la distancia a las manchas existentes de vegetación natural. El valor mínimo de esta función se alcanza a la distancia de 500 m.

Otro elemento del paisaje considerado en el estudio es la *influencia del Parque Natural* de la Sierra de Cardeña y Montoro. Existe un marco legislativo sobre los Parques Naturales que restringe ciertas actividades humanas con el objetivo de proteger el medio ambiente y la vida silvestre. Por esta razón, el Parque Natural puede ser considerado como un hábitat bueno y su incremento tendría una influencia positiva. Otro aspecto de importancia es el hecho de la ausencia de alambres entre los diferentes usos agrícolas dentro del Parque Natural lo que facilita la migración y dispersión de las especies animales silvestres. El carácter positivo de la figura de protección del Parque Natural ha sido observado para el caso de Doñana (Palomares *et al.*, 2001), y por esto es lógico suponer una influencia positiva para el caso del Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro. Debido a la falta de estudios previos que cuantifiquen este efecto positivo durante las entrevistas con expertos se ha intentado clarificar este aspecto a partir de las siguientes cuestiones:

- ¿Está usted de acuerdo con que el Parque Natural produce una influencia positiva para el hábitat del lince en los territorios adyacentes?
- ¿De qué tipo es esta influencia?
- ¿Qué extensión territorial tiene?

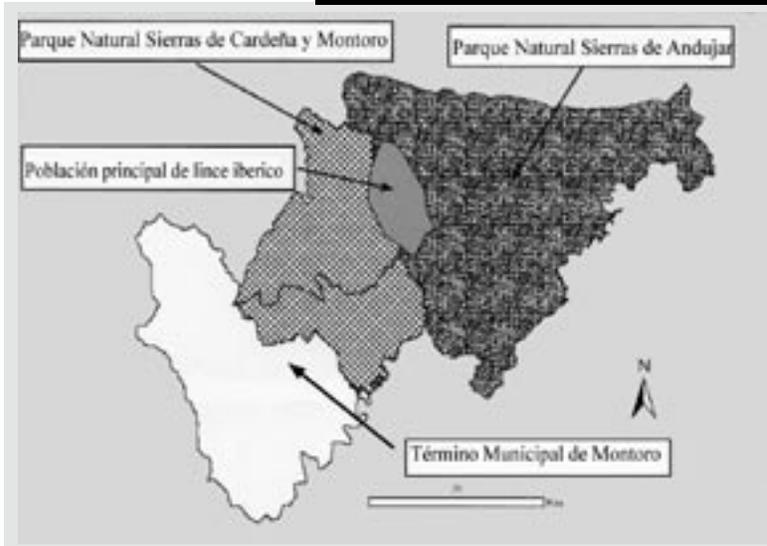
Las respuestas de los expertos fueron muy diferentes. La idea general expresada por todos los expertos fue que el Parque Natural ayuda a la dispersión de la especie. Por consiguiente se tiene en cuenta este elemento del paisaje como un territorio donde ya existen poblaciones del lince, los cuales pueden migrar a los territorios vecinos. Así, como punto de referencia se considera el potencial de dispersión de la especie que varía entre 3 y 30 km. Según las observaciones en Sierra Morena el principal núcleo poblacional del lince se encuentra en el Noreste del territorio municipal de Montoro (ver Gráfico IV.3).

En el caso de migración, un lince debería atravesar la mitad de Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro para llegar al olivar de Montoro, lo cual implica un desplazamiento de, aproximadamente, la mitad de su potencial de dispersión. Por esta razón la distancia de 15 km ha sido seleccionada como la máxima distancia de influencia del Parque Natural. El gráfico 4.2c representa función de prioridad para el área de influencia del Parque Natural. Como puede observarse, es una función de tipo "coste" (descendiente). Los valores máximos se encuentran en la proximidad inmediata del Parque, y los mínimos se encuentran a una distancia de 15 km.

El último elemento del paisaje considerado en nuestro estudio es la *distancia hasta las masas de agua*. Este criterio se ha incluido con el objetivo de tener en cuenta la necesidad fisiológica de la especie (Palomares *et al.*, 2001).

GRÁFICO IV.3

Localización de la población de lince ibérico



Fuente: Elaboración propia.

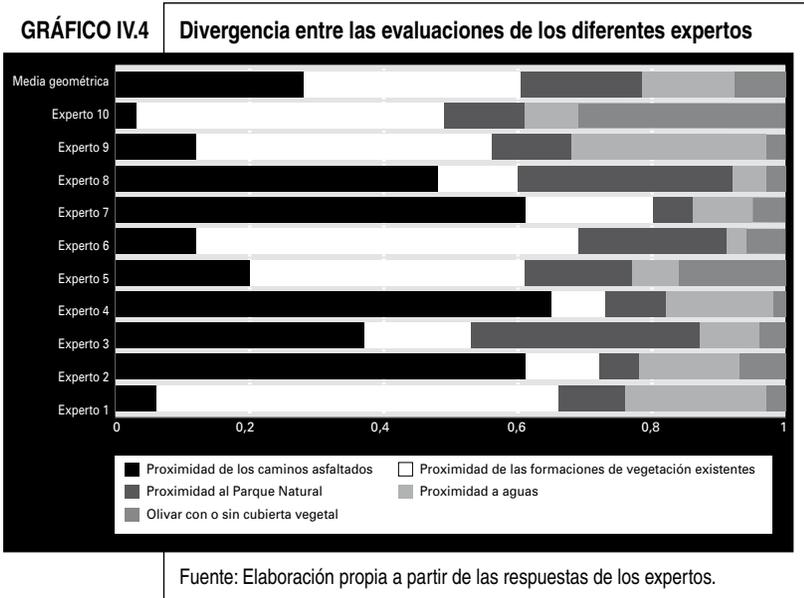
Las observaciones realizadas indican que la distancia hasta 3 km es óptima, mientras que si la fuente de agua se encuentra a más de 7 km la especie se encuentra con dificultades para encontrarla especialmente en periodo de sequía (Gráfico IV.2d). Esta función es de tipo “coste” (descendiente) que mantiene su máximo valor hasta la distancia de 3 km, y después disminuye su valor, llegando al mínimo a los 7 km de distancia.

Con las funciones de prioridad presentadas para cada elemento del paisaje se logra el objetivo de la estandarización, necesario para proseguir con el análisis multicriterio aplicado al territorio.

Entrevistas con los expertos y cuestionario utilizado

Se ha recogido la opinión de 10 expertos en materia del lince ibérico mediante el clásico cuestionario AHP adaptado para el caso de nuestro estudio. Las respuestas fueron obtenidas durante la entrevista personal con cada experto por separado, o por correo electrónico. En este último caso, el cuestionario principal estaba acompañado con toda la información necesaria. Una vez realizadas las entrevistas se utilizó el algoritmo AHP para derivar los pesos relativos de cada elemento del paisaje seleccionado, tras lo cual se contactó nuevo con los expertos para contrastar sus respuestas

con los resultados obtenidos, permitiéndoles variar, si así lo consideraban, sus respuestas iniciales. Una vez el experto daba por válidos los pesos relativos obtenidos se proseguía con el análisis territorial multicriterio. Este doble procedimiento fue necesario debido a los altos valores de ratio de consistencia (CR, *Consistency Ratio*), una medida del grado de consistencia lógica derivada de las comparaciones por parejas. Las divergencias entre las respuestas de los diferentes expertos se puede observar en el Gráfico IV.4.



Dentro de los expertos se puede distinguir dos grupos:

- Grupo 1, formado por los expertos 2, 3, 4, 7 y 8, los cuales asignaron una importancia relativamente alta a la influencia de las carreteras (como mínimo un 37 por ciento).
- Grupo 2, formado por los expertos 1, 5, 6, 9 y 10, los cuales asignaron una importancia relativamente alta a la influencia de la vegetación existente (como mínimo un 41 por ciento).

Durante la realización de análisis de sensibilidad se consideran las opiniones de los dos expertos representativos de cada grupo. Con el fin de obtener un resultado único se ha utilizado el método de la media geométrica (ver apéndice teórico segundo).

Como se puede observar en la figura presentada, las divergencias entre las respuestas de los expertos han sido bastante significativas. Este hecho aconsejaba la realización de un análisis de sensibilidad, el cual aparece en el capítulo de resultados.

Los pesos obtenidos a través de la media geométrica (ver Cuadro IV.3) sugieren que el elemento más importante del paisaje es la influencia de la vegetación natural (32 por ciento), seguido por la influencia de las carreteras (28 por ciento), la influencia del Parque Natural (18 por ciento) y la proximidad a las fuentes de aguas (18 por ciento). El olivar con o sin cubierta vegetal (8 por ciento) obtiene el valor relativo más bajo de todos los elementos del paisaje considerados.

CUADRO IV.3

Resultado de agregación de los pesos relativos a través de la media geométrica

Elementos del paisaje	Pesos relativos
Influencia de las carreteras	0,280
Olivar con o sin cubierta vegetal	0,078
Influencia de las formaciones de vegetación actualmente existentes	0,323
Influencia del Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro	0,182
Distancia hasta fuentes de Agua	0,137
Influencia de las zonas urbanas	Limitante
Autovía Córdoba-Madrid (área de 500 m en ambos lados)	Limitante
Carretera nacional de Ciudad Real (área de 250 m a ambos lados)	Limitante
Embalses	Limitante
Total	1,000

Fuente: Elaboración propia.

Utilización de los SIG

Se ha utilizado ArcGIS 9.1 (ESRI) e ILWIS (ITC). El análisis espacial multicriterio se ha realizado en el módulo SMCE de ILWIS. La información cartográfica utilizada ha sido la siguiente: mapa de usos de suelos (1999; 1:50.000) para el área de estudio (EGMASA, 2001); ortofotografías aéreas en blanco y negro (2001-2002; 1:5.000)¹; ortofotografías aéreas en color (2005;

1 Ortofotografía en blanco y negro, provincia de Córdoba Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejería de Agricultura y Pesca, Consejería de medio Ambiente ISBN: 84-95083-94-9.

1:10.000)²; mapa de parcelario y rendimiento de las parcelas olivereras (2004; 1:25.000); mapa de la infraestructura viaria (1999; 1:25.000). Todos los materiales cartográficos están representados en *European Datum* 1950, 30N (España y Portugal). Para detectar posibles fallos en la información SIG, se realizaron varias salidas al campo con un dispositivo GPS. Como método adicional de comprobación se han utilizado las ortofotos. De este modo se introdujeron algunas modificaciones: nuevas carreteras, polígono industrial (considerado como uso urbano) y corrección en el tamaño de algunas parcelas olivereras.

Después de haber revisado la precisión de la información cartográfica, el próximo paso consiste en reclasificación de todos los tipos de usos en cuatro grupos: áreas ocupadas por la vegetación natural, olivar, áreas urbanas y lagos y embalses. Las áreas de vegetación natural se han dividido en tres clases: bosque mediterráneo, matorral y pastizal. Las tres clases de vegetación natural obtienen la misma importancia para el caso de estudio. Otros usos considerados en el modelo (ríos, arroyos y carreteras) han sido tratados como elementos lineales del paisaje. Los usos no olivereros han sido excluidos del estudio dados los objetivos formulados. Las parcelas olivereras se han dividido en dos clases: con y sin cubierta vegetal.

A continuación, a partir de una estructura jerárquica sencilla con cinco criterios y cuatro limitaciones, se ha utilizado el mapa de usos reclasificado para generar las áreas de influencia alrededor de los elementos del paisaje seleccionados. Una vez generadas, se estandarizan las distancias para todos los criterios siguiendo el procedimiento explicado anteriormente. Seguidamente se realiza la asignación de los pesos relativos a cada elemento del paisaje. Estos pesos, a su vez, se obtienen de la media geométrica de los juicios de los expertos. Al terminar todas estas operaciones se realiza una superposición de los mapas en formato raster con el fin de obtener un resultado donde se computa un valor relativo para cada celda raster. En este computo se utiliza la fórmula de suma lineal ponderada recomendada por Saaty (1980) para el análisis AHP y Malczewski (1999) para el desarrollo de análisis multicriterio en SIG. El resultado se presenta en formato raster con el tamaño de celda de 10 m.

4.2.3. Modelo SIG para el objetivo de lucha contra la erosión

En el presente estudio hemos limitado el estudio de la erosión a la producida por el agua. La erosión provocada por el viento no se tiene en cuenta ya que su impacto es relativamente pequeño en la zona de estudio. Así, en adelante utilizando el término de erosión nos referimos a erosión hídrica.

2 | Ortofotografía en color, provincia de Córdoba Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejería de Agricultura y Pesca, Consejería de medio Ambiente ISBN: 84-95083-94-9.

Metodología

La metodología utilizada para la evaluación del riesgo de erosión consiste en la utilización de los parámetros de RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), adaptados a las condiciones locales de la zona, como *input* para modelo de ANP (*Analytic Network Process*). Para ejecutar el método ANP se ha utilizado la opinión de los expertos mediante comparaciones por parejas de los parámetros considerados.

El método ANP pertenece a la familia de los métodos multicriterio y concretamente es la actualización del método AHP. La descripción completa de las bases teóricas del método ANP aparece en Saaty (1996 y 2005). La exposición del método presentado a continuación es similar a las realizadas por Erdogmus *et al.* (2005), Cheng *et al.* (2005), Promentilla *et al.* (2006) y Neaupane y Piantanakulchai (2006).

Con el desarrollo del método ANP (también conocido con el nombre de “método de súper matrices”) Saaty pretende superar las limitaciones de AHP derivadas de la estructura lineal de la jerarquía y el supuesto de la independencia entre los factores (Saaty y Takizawa, 1986; Saaty, 1996 y 2005). La principal innovación del método es la estructura de redes, la cual permite tener en cuenta las interacciones entre los criterios del problema. Se crean así las denominadas súper matrices, compuestas por los pesos relativos obtenidos de las comparaciones por pareja entre los objetivos que componen el problema de la toma de decisión. Un ejemplo de la estructura de redes sencilla es la estructura elaborada para evaluar el riesgo de erosión en el caso de estudio.

Saaty (2001) divide la ejecución del método en cuatro etapas:

- A. Realización de las comparaciones por pareja con posterior cálculo de pesos relativos. Para llevar a cabo esta etapa primero es necesario elaborar una estructura de redes. La elaboración de una estructura de redes es una fase creativa y de gran importancia. Una vez elaborada la estructura de redes para el problema tienen que reunirse los expertos y discutir todos los elementos que la componen, el tipo de interacción e interdependencias que existen entre ellos así como comprobar si todos los elementos del problema se han tenido en cuenta. La consideración de todos los aspectos comentados es clave para llegar a una solución correcta. Después de haberse elaborado la estructura de redes se hace un cuestionario con las comparaciones por pareja entre los elementos que la componen. Esta parte es común tanto para ANP como para AHP, sin embargo la pregunta genérica en ANP difiere bastante de AHP y se formula: “Con respecto al elemento de control, dado los elementos de la red y considerando la pareja de los elementos ¿en qué medida es uno dominado o domina al otro?”. En AHP la pregunta se limita al dominio de un objetivo sobre otro con respecto al nodo “padre”.

- B. En esta etapa los pesos obtenidos de las comparaciones por pareja se introducen en la súper matriz que contiene todos los elementos de clusters de la red que de este modo representa sus relaciones de dependencia. Esta primera súper matriz se denomina *súper matriz inicial*.
- C. Durante esta etapa se calculan los pesos relativos de los cluster. El objetivo de este cálculo es normalizar la súper matriz inicial. Una vez generada la matriz con los pesos de los clusters se normaliza la súper matriz inicial multiplicando la primera por la segunda. De este modo se obtiene la *súper matriz estocástica o normalizada*.
- D. La última etapa consiste en la multiplicación de la súper matriz normalizada por sí misma n veces con el fin de llevar ésta al límite. La matriz resultado se denomina *súper matriz limitada*. La formulación matemática de esta operación es la siguiente: $\lim_{n \rightarrow \infty} W^n$. Algunas súper matrices pueden tener un efecto cíclico, lo cual lleva a la obtención de dos o más súper matrices limitadas. Si se da este caso hace falta realizar el siguiente cálculo:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{F} \right) \sum W_i^n$$

La característica principal de la *súper matriz limitada* es la igualdad entre todas sus columnas, las cuales representan prioridades (pesos) globales.

Como se ha mencionado antes, optamos por una estructura de redes simple. No obstante para los casos de un problema más complejo Saaty (1996 y 2005) propone utilizar cuatro subredes: Beneficios, Costes, Oportunidades y Riesgos. Estas subredes permiten tener en cuenta todas las dimensiones del problema de decisión. En el caso de un problema que considere las alternativas de decisión, es necesario incluir una subred con estas alternativas.

Durante los últimos años se ha observado un incremento de los trabajos científicos que usan el método ANP (Saaty y Takizawa, 1986; Blair *et al.*, 2002; Niemira y Saaty, 2004; Shang *et al.*, 2004; Chung *et al.*, 2005; Ulutas, 2005; Jharkharia y Shankar, 2007). Por este motivo, en nuestra opinión, la consideración de las interdependencias entre los factores de erosión utilizando la opinión de los expertos para su estimación es un método válido para la evaluación del riesgo de erosión en la zona de estudio. Una aplicación previa del modelo ANP utilizado en este estudio puede encontrarse en Nekhay *et al.* (2007).

Factores de erosión considerados en el estudio

La mayoría de los modelos actuales que realizan evaluación de las pérdidas de suelos por la erosión consideran tres fases de este proceso: arranque de partículas del suelo, su desplazamiento y su deposición (Rose, 1993; Haan *et al.*, 1994).

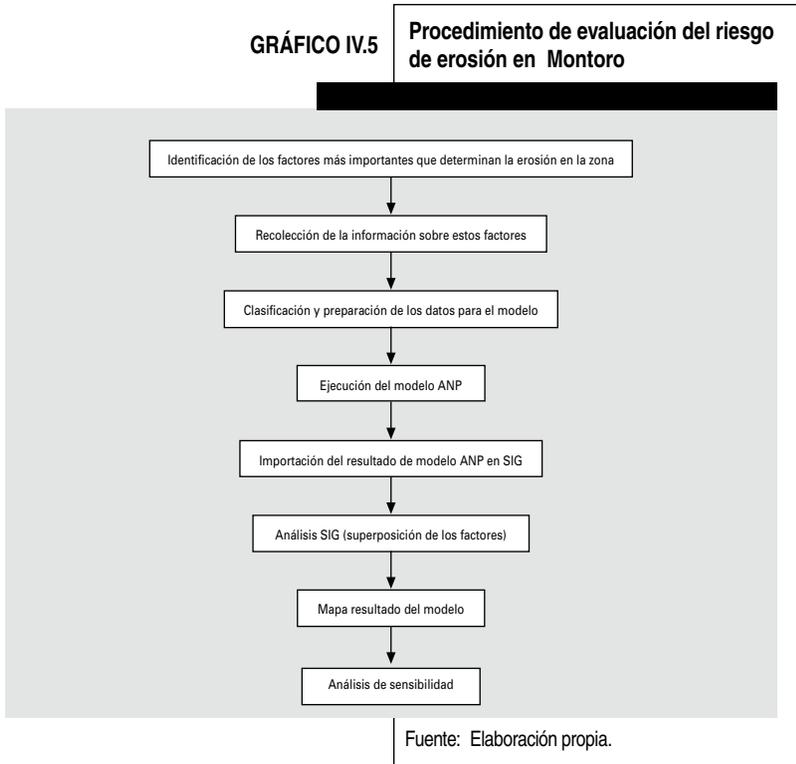
Los principales tipos de erosión que se distinguen actualmente son: laminar, erosión por escorrentía, el abarrancamiento y erosión en arroyos. La mayoría de los modelos se basan en la erosión laminar. Bajo este concepto se comprende el proceso de arranque de las partículas desde la superficie por la energía de las gotas de lluvia (Hairsine y Rose, 1992). La erosión por escorrentía se caracteriza por la formación de las corrientes de agua en las laderas. Estas corrientes de agua pueden formar arroyos que arrastran las masas del suelo. Los cambios provocados por este tipo de erosión pueden ser corregidos a través de técnicas adecuadas de manejo de suelo (Loch y Silburn, 1996). El abarrancamiento se manifiesta en forma de canales más profundos de escorrentía de agua que pueden provocar barrancos. Las consecuencias de este tipo de erosión no son fáciles de corregir sólo con el uso de buenas técnicas agrícolas. La erosión en arroyos se refiere a la erosión y deposición de las partículas movidas en el lecho y las riveras de los arroyos y ríos. Normalmente se observan varios tipos de erosión a la vez. Dependiendo del tipo de paisaje pueden dar lugar unos u otros tipos de erosión.

El presente estudio solo aborda aquella parte del proceso de erosión que corresponde al arranque de las partículas del suelo. Esta simplificación es totalmente justificada para el caso de nuestro estudio ya que solo pretende evaluar el riesgo de erosión en el olivar. Como elementos del paisaje relacionados con la erosión de los suelos han sido elegidos los componentes de USLE/RUESLE (Wischmeier y Smith, 1978; Renard *et al.*, 1997) adaptados a las condiciones locales de la zona.

La erosión hídrica depende de muchos factores, sin embargo se realizó una sinterización de todos estos factores resultando en la propuesta del modelo USLE/RUSLE. Este modelo de erosión es uno de los más conocidos y utilizados y se expresa matemáticamente como: $A=R*K*L*S*C*P$, donde A representa las pérdidas del suelo total (normalmente en un año); R es la erosividad de la lluvia; K es la erodibilidad del suelo; L es la longitud de ladera; S es el grado de pendiente de ladera; C es factor que representa tipo de la cubierta vegetal o manejo del suelo; P es un factor que presenta las medidas contra erosivas existentes. A pesar de su amplio uso y el éxito de las aplicaciones iniciales este modelo es objeto de una crítica severa (Zhang *et al.*, 1995; Larson *et al.*, 1997) debido a sus limitaciones. Una de las mayores críticas del modelo es que USLE ha sido preparado para utilizarlo en la condiciones de los Estados Unidos (Loch y Rosewell, 1992). A consecuencia de esto, la aplicación de USLE fuera de los Estados Unidos puede llevar a unas estimaciones erróneas. La interdependencia entre los factores es otro aspecto que no considera USLE/RUSLE.

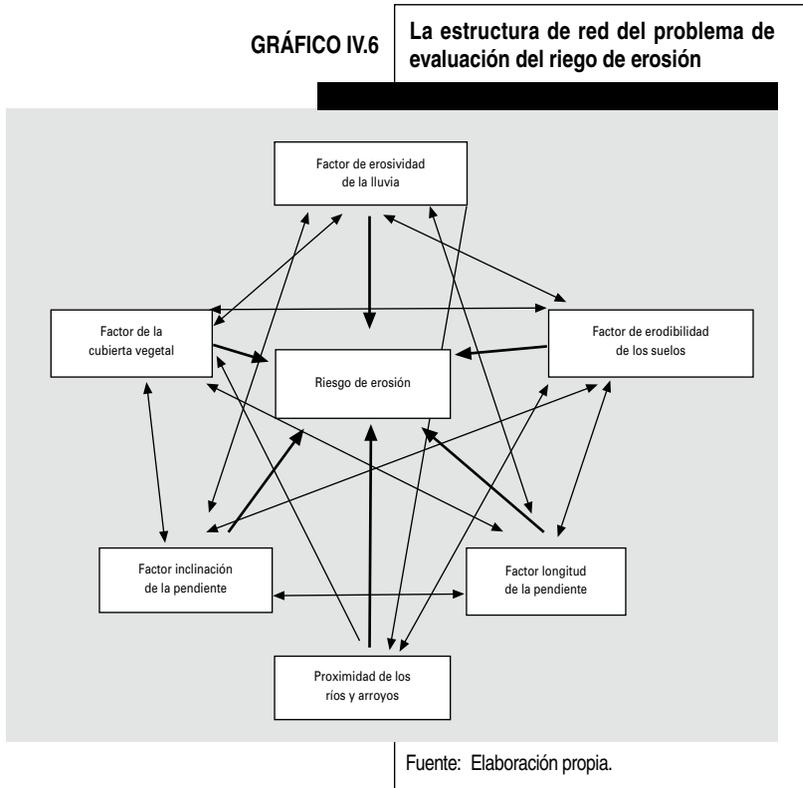
Por estas razones se han utilizado los factores que componen USLE/RUSLE adaptados a las condiciones locales de Montoro añadiendo el factor de la proximidad de los ríos y arroyos, en la ejecución del método ANP.

Como indica el Gráfico IV.5, en una primera fase se procedió a analizar los elementos más importantes en la consideración del riesgo de erosión así como sus posibles interrelaciones. El siguiente gráfico muestra ambos aspectos.



Como se puede observar la estructura de red elaborada es una estructura simple con solo un subnivel. La dirección de las flechas indica la interdependencia entre los factores. Si la flecha tiene solamente una dirección esto indica que un factor domina al otro (la flecha apunta al factor dominado). Las flechas con dobles direcciones indican una influencia mutua entre los factores. Las dependencias internas dentro de los clusters no se manifiestan en el caso de estudio.

En el siguiente gráfico se presentan todos los submodelos y sus interrelaciones realizados para la evaluación de la erosión de la zona de estudio.



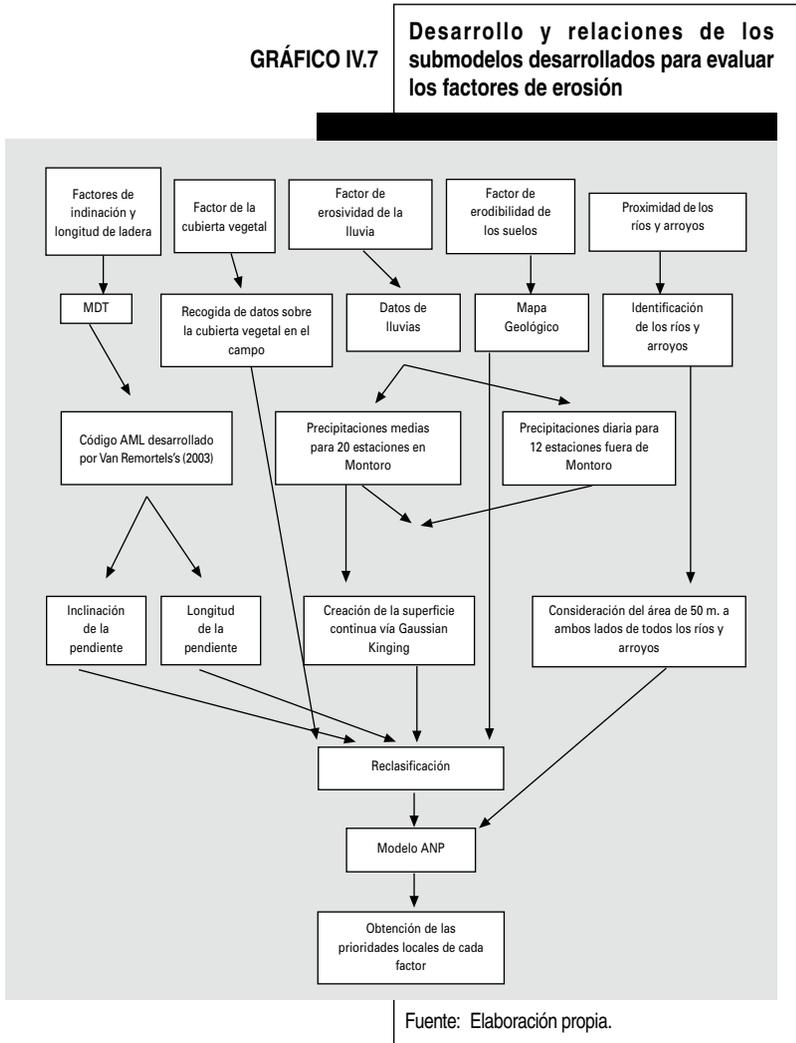
En el Apéndice 3 se detallan todos los submodelos y el tipo de datos utilizados para la modelización del riesgo de erosión en el municipio objeto de estudio.

Aplicación del método ANP

Una vez evaluados los factores considerados en la estructura de la red elaborada (Gráfico IV.7.) comienza la aplicación del método ANP. En el siguiente cuadro se presentan todos los clusters y sus nodos correspondientes considerados en el modelo.

GRÁFICO IV.7

Desarrollo y relaciones de los submodelos desarrollados para evaluar los factores de erosión



CUADRO IV.4 Clusters y nodos considerados

Clusters	Nodos
Presencia/ausencia de cubierta vegetal	Olivar con cubierta vegetal
	Olivar sin cubierta vegetal
Erosividad de la lluvia	Potencial de lluvia muy pequeño (menos de 537mm)
	Potencial de lluvia pequeño (537-619 mm)
	Potencial de lluvia medio (619-742 mm)
	Potencial de lluvia alto (más de 742 mm)
Proximidad de los ríos y arroyos	Área de 50 m alrededor de los cursos de agua
Longitud de las pendientes	Pendientes largas (más de 160 m)
	Pendientes de longitud media (50-160 m)
	Pendientes cortas (menos de 50 m)
Inclinación (ángulo) de las pendientes	Pendientes suaves (menos de 15 por ciento)
	Pendiente medias (15-30 por ciento)
	Pendientes altas (30-45 por ciento)
	Pendientes muy altas (más de 45 por ciento)
Erodibilidad de los suelos	Difícilmente erosionables
	Poco erosionables
	Erodibilidad media
	Fácilmente erosionables
	Muy fácilmente erosionables
Fuente: Elaboración propia.	

A continuación se elabora un cuestionario de comparaciones por pareja para todos los clusters y nodos. Una página del cuestionario ANP, de un total de 56, puede consultarse en el Anexo 4. El gran consumo de tiempo que implica esta metodología reduce la utilidad del ANP, característica que se agrava a medida que se incrementan el número de factores y de interrelaciones.

El método ANP ha sido resuelto utilizando el programa Super Decisions 1.6.0. Este programa permite elaborar las redes de diferente nivel de complejidad y crea automáticamente un listado de las comparaciones por pareja necesarias a realizar dependiendo de la estructura de la red. El cuestionario con las comparaciones por pareja ha sido completado por el grupo de trabajo involucrado en la ejecución del proyecto de acuerdo con la opinión de los expertos en materia de erosión y después de haber consultado la bibliografía disponible. Las dudas y desacuerdos manifestados durante el proceso de cumplimentación del cuestionario posteriormente han sido consideradas en el análisis de sensibilidad.

Este tipo de procedimiento permite combinar la información objetiva representada por los factores de erosión con las opiniones subjetivas de los expertos (comparaciones por pareja). Los pesos (o prioridades) obtenidos de las comparaciones por pareja han sido introducidos en dos matrices: la primera es la matriz de comparación entre los nodos (súper matriz inicial) y la segunda la de comparaciones de los cluster.

La última etapa en el algoritmo ANP consiste en llevar al límite la Súper matriz normalizada. Debido a las limitaciones del programa *Super Decisions* que solo soporta la estructura simplificada de los clusters, esta operación se ha realizado en MATLAB, obteniendo como resultado la Súper matriz limitada. En el cuadro siguiente se muestra el resultado final de la Super matriz limitada con los pesos de cada factor.

CUADRO IV.5		
Peso relativo de cada factor del modelo erosivo		
Clusters	Nodos	Erodibilidad
Presencia/ ausencia de la cubierta vegetal	Olivar con cubierta vegetal	0,0364
	Olivar sin cubierta vegetal	0,1986
Erosividad de las lluvias	Potencial de lluvia muy pequeño (menos de 537mm)	0,0114
	Potencial de lluvia pequeño (537-619 mm)	0,0215
	Potencial de lluvia medio (619-742 mm)	0,0428
	Potencial de lluvia alto (más de 742 mm)	0,1095
Proximidad de ríos y arroyos	Área de 50 m alrededor de los cursos de agua	0,1714
Longitud de las pendientes	Pendientes largas (más de 160 m)	0,0399
	Pendientes de longitud media (50-160 m)	0,0156
	Pendientes cortas (menos de 50m)	0,0076
Inclinación (ángulo) de las pendientes	Pendientes suaves (0-15 por ciento)	0,0075
	Pendiente medias (15-30 por ciento)	0,0127
	Pendientes altas (30-45 por ciento)	0,0270
	Pendientes muy altas (más de 45 por ciento)	0,0626
Erodibilidad de los suelos	Difícilmente erosionables	0,0172
	Poco erosionables	0,0238
	Erosibilidad media	0,0318
	Fácilmente erosionables	0,0612
	Muy fácilmente erosionables	0,1011
Fuente: Elaboración propia.		

Como muestra el cuadro anterior, el factor más importante es la ausencia de cubierta vegetal (0,1986), seguido por la proximidad de los cursos de agua (0,1714) y el potencial de las lluvias (0,1095).

Utilización de los SIG

El programa SIG utilizado en este estudio ha sido ArcGIS 9.1 (ESRI). Los datos de entrada han sido los siguientes: mapa de usos de suelos (1999; 1:50.000) para el área de estudio (EGMASA, 2001); ortofotografías aéreas en blanco y negro (2001-2002; 1:5.000)³; ortofotografías aéreas en color (2005; 1:10.000)⁴; mapa de parcelario y rendimiento de las parcelas olivareras (2004; 1:25.000); mapa geológico (2003-2006; 1:50.000); y Modelo Digital de Terreno (MDT) de la resolución espacial de 10 m.

Las prioridades finales obtenidas a través de ANP se asignan a las coberturas correspondientes. Después utilizando la herramienta de álgebra de mapas se aplica una función aditiva (Saaty, 2003, pp. 104-108) y se calculan los valores finales de índice de riesgo de erosión para cada celda raster.

4.2.4. Modelo SIG para el objetivo de prevención de riesgo de incendios en Montoro

Se pretende calcular el índice de riesgo de incendios para toda la zona de estudio (termino municipal de Montoro) con el objetivo de incluirlo en el modelo final y que tenga así en cuenta la mayoría de las variables explicativas (Mathur *et al.*, 1984; Marcozzi *et al.*, 1994; Mandallaz y Ye, 1997; Wybo *et al.*, 1995; Gouma y Chronopoulou-Sereli, 1998; Leathwick y Briggs, 2001).

Dado que la zona de nuestro estudio se encuentra en un territorio montañoso que linda con el monte mediterráneo, el modelo elaborado para la evaluación del riesgo de incendios ha tenido en cuenta el riesgo de abandono de la actividad agraria en las parcelas olivareras de baja producción.

Se han revisado diferentes metodologías desarrolladas al respecto en diferentes países del mundo. En este sentido se destacan los siguientes: *Canadian Forest Fire Danger Index* (Lee *et al.*, 2002), el sistema *Forest Fire Danger Index* desarrollado en Australia (CSIRO Forestry and Forest Products 2000) y el *National Fire Danger Rating System*, desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos de América (Deeming *et al.*, 1978). Es interesante comentar el trabajo de Muñoz-Robles *et al.* (2005) sobre la evaluación del peligro de incendios en la Sierra Madre Oriental de México. Los autores de este trabajo usaron el método multicriterio AHP para calcular un índice de peligro de incendios para la zona de estudio.

3 Ortofotografía en blanco y negro, provincia de Córdoba Consejería de Obras Publicas y Transportes, Consejería de Agricultura y Pesca, Consejería de medio Ambiente ISBN: 84-95083-94-9.

4 Ortofotografía en color, provincia de Córdoba Consejería de Obras Publicas y Transportes, Consejería de Agricultura y Pesca, Consejería de medio Ambiente ISBN: 84-95083-94-9.

En el ámbito español hemos acudido al trabajo de Ordóñez y Martínez-Alegría (2003) que determinan las zonas con riesgo de incendios para la provincia de Valladolid.

A partir de esta revisión bibliográfica arriba comentada han sido escogidas las siguientes variables explicativas de riesgo de incendios:

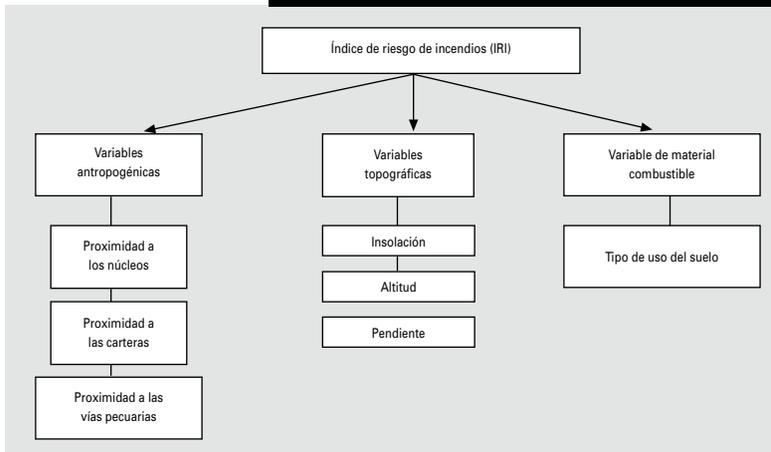
- Proximidad a los núcleos urbanos.
- Proximidad a las carreteras.
- Proximidad a las vías pecuarias.
- Insolación.
- Altitud.
- Pendiente.
- Tipo de vegetación (tipo de uso de suelo).

Las primeras tres variables reflejan la influencia humana sobre el riesgo de aparición de incendios. Las variables 4, 5 y 6, de índole topográfica, han sido generadas a partir del modelo digital del terreno. La última variable representa el uso del suelo. Con el objeto de incluir el posible abandono de las parcelas olivereras de bajo rendimiento, se ha tenido en cuenta este aspecto a la hora de asignar los valores espaciales al territorio dentro de la capa temática de los usos del suelo.

La evaluación de estas variables ha sido realizada a través del método AHP. La sumatoria de los pesos se ha calculado según la función aditiva propuesta por Saaty (1980). Para ordenar las variables arriba mencionadas se ha seguido la siguiente jerarquía:

La valoración de la importancia de los criterios ha sido realizada a través del método multicriterio AHP. En la encuesta se ha recogido la opinión de seis expertos (miembros del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera –IFAPA– y del departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba). Se ha aplicado el método de la media geométrica para agregar los juicios recogidos, los cuales posteriormente han sido redondeados al número entero más próximo. A continuación se representan las matrices de comparación por parejas de las variables explicativas de riesgo de incendios.

GRÁFICO IV.8 Jerarquía del modelo de riesgo de incendios



Fuente: Elaboración propia.

Según la opinión de los expertos, las variables explicativas de índole humana y de material combustible (lo que corresponde a los usos de los suelos) tienen mayor peso que el factor topográfico. Los pesos derivados del método AHP confirman este punto.

CUADRO IV.6

Comparación de las variables explicativas del riesgo de incendios (nivel 2)

Variables explicativas	Variables antropogénicas	Variables topográficas	Material combustible	Pesos
Variables antropogénicas	1	8	1	0,4706
Variables topográficas		1	1/8	0,0588
Material combustible			1	0,4706

CR=0

Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas de los expertos.

Como sugiere el Cuadro IV.7, entre los factores antropogénicos, la proximidad a las carreteras tiene una importancia mayor que las dos variables restantes.

CUADRO IV.7

Comparación de las variables explicativas antropogénicas (nivel 3)

Variables explicativas	Proximidad a los núcleos	Proximidad a las carreteras	Proximidad a las vías pecuarias	Pesos	Pesos globales
Proximidad a los núcleos	1	1/9	1	0,0909	0,0428
Proximidad a las carreteras		1	9	0,8182	0,3850
Proximidad a las vías pecuarias			1	0,0909	0,0428

CR=1,0685e⁰⁰⁹

Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas de los expertos.

CUADRO IV.8

Comparación de las variables explicativas topográficas (nivel 3)

Variables explicativas	Insolación	Altitud	Pendiente	Pesos	Pesos globales
Insolación	1	3	4	0,6301	0,0370
Altitud		1	1/2	0,1515	0,0089
Pendiente			1	0,2184	0,0128

CR=0,1037 que es ligeramente superior que 0,1.

Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas de los expertos.

En este grupo, la variable de insolación es la de mayor importancia entre todas las variables topográficas consideradas en el modelo.

Los valores espaciales de variables explicativas han sido recopilados a partir de Thompson *et al.* (2000), Ordóñez y Martínez-Alegría (2003), Muñoz-Robles *et al.* (2005), los cuales aparecen en el siguiente cuadro:

CUADRO IV.9

Valores espaciales de riesgo de incendio para siete variables explicativas

Factores de riesgo	Valores de los factores								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Proximidad a los núcleos (m)					800-900	700-800	600-700	500-600	Menos de 500
Proximidad a las carreteras (m)			400-500	300-400	200-300		100-200		Menos de 100
Proximidad a las vías pecuarias (m)					400-500	300-400	200-300	100-200	Menos de 100
Insolación (orientación)	Norte	Noreste; Noroeste	Este; Oeste	Suroeste; Sureste				Sur	
Altitud (m)	Más de 650					500-650			0-500
Pendiente		0-6°		6°-13°		13°-20°		20°-27°	Más de 27°
Tipo de uso de suelo		Olivar productivo			Cultivo herbáceo	Dehesa y Pastizal		Olivar con riesgo de abandono-no	Bosque y matorral

Fuente: Elaboración propia.

El factor de riesgo de insolación ha sido excluido en zonas planas, asignándole en el modelo un valor cero. Para el factor “tipo de uso de suelo” en los usos urbanos y aguas se les ha asignado también el valor cero.

El cálculo final del Índice de Riesgo de Incendios ha sido realizado como una suma lineal ponderada, cuya formulación se ha comentado en los apartados anteriores (Saaty 1980-2005), a través de la superposición de todas las variables explicativas representadas por las capas temáticas. Como resultado se ha obtenido una nueva clasificación del territorio según el grado de peligro de incendios. Este mapa resultado se utiliza posteriormente en la valoración final de las medidas de actuación propuestas para el olivar de montaña.

A modo de conclusiones de este apartado ha de comentarse que todos los estudios citados como antecedentes al nuestro en el ámbito de prevención de incendios están aplicados a zonas forestales. El presente estudio es un caso específico de evaluación del riesgo de incendio en el territorio agrícola con riesgo de abandono cercano a zonas forestales. Dadas las características de estas plantaciones, el riesgo de incendios es menor que en una zona forestal de similares condiciones.

4.2.5. Modelo SIG para el objetivo de mejorar la función paisajística

A través de la elaboración de este modelo SIG se pretende evaluar la visibilidad de la zona de estudio. Dado que el modelo global incluye la calidad visual del paisaje derivada de cada actuación propuesta, el análisis previo de la visibilidad del territorio forma parte de esta función paisajística. Este criterio se corresponde con el Nivel 4 del modelo general SIG y tiene los siguientes objetivos: incluir la dimensión espacial de la función paisajística en el modelo; aumentar la importancia de la función paisajística en las zonas visibles desde los posibles puntos de observación y disminuir la importancia de la función paisajística en las zonas no visibles en favor de otras funciones del olivar.

El estudio de las zonas más visibles dentro de la zona de estudio está conformándose como un aspecto fundamental de la valoración de la calidad visual (MOPTMA, 1995; Mata *et al.*, 2002; Martínez-Vega *et al.*, 2003; Montoya-Ayala *et al.*, 2003; Hernández *et al.*, 2004). Son numerosos los trabajos que abordan la integración de la visibilidad dentro de la valoración paisajística, entre ellos, Hernández *et al.* (2004), los cuales ofrecen una metodología de integración de las construcciones rurales en el paisaje, donde la evaluación de visibilidad de la zona es uno de los componentes de importancia.

Martínez-Vega *et al.* (2003) realizan una valoración del paisaje en una zona de especial protección de aves (Aranjuez, España) considerando las cuencas visuales como parte de la metodología para definir la belleza de las vistas. Es interesante comentar que los autores incluyeron una estimación de la fragilidad del paisaje lo cual implica un concepto opuesto al de visibilidad, y se utiliza para caracterizar la capacidad de un determinado paisaje de absorber los cambios sin crear efectos negativos visibles.

En el *Plan Nacional de Cartografía Temática y Ambiental* (MOPTMA, 1995) se contempla la variable de paisaje como una de las estratégicas. La evaluación de las cuencas visuales forma parte de la metodología global de evaluación paisajística con el fin de considerar la incidencia visual sobre los elementos paisajísticos destacados.

Mata *et al.* (2002) realizan un estudio SIG para el Plan de Ordenación de isla de Menorca (catalogada como Reserva de la Biosfera por la UNESCO). A través del uso de las herramientas SIG habituales los autores consiguen un mapa de espacios propuestos para su protección. Los datos de entrada se evalúan desde dos puntos de vista: morfológico y perceptivo; luego se delimitan 24 unidades irregulares y homogéneas de paisaje. Con el objetivo de destacar las áreas de interés paisajístico los autores elaboraron una serie de cuencas visuales a partir de las carreteras, como los sitios de constante travesía.

Montoya-Ayala *et al.* (2003) valoran la calidad y fragilidad visual del paisaje en el valle de Zapotitlán de las Salinas (Puebla, México). Para esta evaluación incluyen los siguientes aspectos: calidad visual, fragilidad y vulnerabilidad visual del paisaje. A su vez, para valorar la calidad visual del paisaje los autores consideran las siguientes componentes: calidad fisiográfica (desnivel y complejidad de formas), calidad de la cubierta vegetal (diversidad de las formaciones y calidad visual de las formaciones), presencia de laminas de agua y grado de humanización (carreteras, núcleos urbanos). Para la fragilidad y vulnerabilidad visual del paisaje los autores consideran aspectos como: vegetación y usos de suelo, pendiente, fisiografía, forma y tamaño de las cuencas visuales, compacidad de la unidad de paisaje y distancia a vías y núcleos urbanos. Como se puede observar, el estudio sobre la fragilidad y vulnerabilidad del paisaje ocupa un lugar importante dentro de la metodología general de estudio.

Como se deriva de los estudios anteriores, la consideración de visibilidad del paisaje se revela como un aspecto fundamental en la valoración paisajística de un sistema agrario. De esta forma, el modelo planteado, siguiendo a Martínez-Vega *et al.* (2003), incluye:

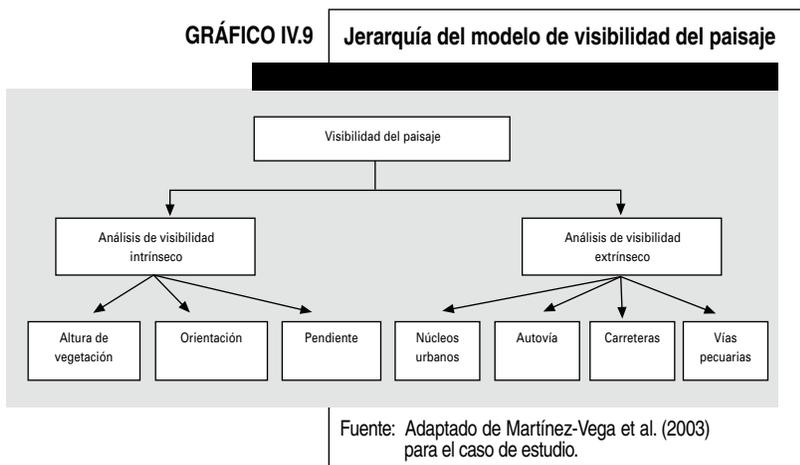
- El análisis de visibilidad intrínseco. Determinado por las características ambientales del espacio tales como:

- La altura de la vegetación.
- La orientación.
- La pendiente.

■ El análisis de visibilidad extrínseco. Hace referencia a la mayor o menor susceptibilidad de un territorio a ser observado y ello depende de la accesibilidad visual de dichas zonas. Como espacios principales de observación se han considerado los siguientes:

- Núcleos urbanos.
- Autovía.
- Carreteras.
- Vías pecuarias.

Al igual que en los apartados anteriores, se ha decidido utilizar la metodología de análisis multicriterio AHP aplicada a las decisiones espaciales explicada en los apartados anteriores. Con el objetivo de ordenar las variables de las cuales depende la visibilidad de la zona se construyó la siguiente estructura jerárquica:



Según la metodología AHP (Saaty, 1980 y 2005) se realizan las comparaciones por pareja para determinar los pesos de los factores.

CUADRO IV.10**Comparación de las variables explicativas del modelo de visibilidad (nivel 2)**

Variables explicativas	Análisis de visibilidad intrínseco	Análisis de visibilidad extrínseco	Pesos
Análisis de visibilidad intrínseco	1	1/4	0,2
Análisis de visibilidad extrínseco	4	1	0,8

C.R.=0

Fuente: Elaboración propia.

La preferencia de un factor sobre otro ha sido derivada de la bibliografía citada al principio de este apartado. Según la opinión de Martínez-Vega *et al.* (2003) y Montoya-Ayala *et al.* (2003) el análisis de visibilidad extrínseco tiene mucha más importancia que el análisis de visibilidad intrínseco. Esto se refleja en el cuadro anterior (0,8 y 0,2, respectivamente). A continuación se ponderan cada uno de los elementos que las componen.

CUADRO IV.11**Comparación de las variables explicativas correspondientes al análisis de visibilidad intrínseco (nivel 3)**

Variables explicativas	Altura de la vegetación	Orientación	Pendiente	Pesos
Altura de la vegetación	1	3	1	0,4161
Orientación		1	1/4	0,1260
Pendiente	1		1	0,4579

C.R.=0,0088.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que en el cuadro anterior, la importancia de las variables ha sido recogida a partir de la bibliografía existente (Martínez-Vega *et al.*, 2003, Montoya-Ayala *et al.*, 2003). Según estos autores, la altura de la vegetación y la pendiente tienen casi la misma importancia. Sin embargo la orientación del territorio tiene una importancia inferior (0,4579 y 0,4161 frente a 0,1260, respectivamente).

CUADRO IV.12

Comparación de las variables explicativas correspondientes al análisis de visibilidad extrínseco (nivel 3)

Variables explicativas	Núcleos urbanos	Autovías	Carreteras	Vías pecuarias
Núcleos urbanos	1	2,5	4	7
Autovías		1	2	3
Carreteras			1	2,5
Vías pecuarias				1
Pesos	0,5488	0,2372	0,1430	0,0709

C.R.= 0,0104

Fuente: Elaboración propia.

En nuestro caso, los núcleos urbanos tienen mayor peso dado que toda la población y visitantes son los observadores potenciales. La autovía es el segundo factor valorado dada la cantidad de tráfico que representa y los posibles observadores. Dos factores de menor importancia son las carreteras y las vías pecuarias, debido a la menor cantidad de posibles observadores.

Cada variable considerada ha sido evaluada en el espacio y posteriormente estandarizada a través de las funciones de prioridad en ILWIS SMCE. Su valoración ha sido realizada siguiendo las sugerencias de la bibliografía existente (Hernández *et al.*, 2004; Martínez-Vega *et al.*, 2003; MOPTMA, 1995; Mata *et al.*, 2002; Montoya-Ayala *et al.*, 2003).

La evaluación espacial y estandarización de cada variable se ha realizado siguiendo las siguientes pautas:

- *Altura de la vegetación.* Esta variable ha sido considerada como no espacial ya que los olivos tienen más o menos la misma altura. Sin embargo en el caso de considerar otros usos esta variable obtendría un valor según la altura de la vegetación en cada uso.
- *Orientación.* Se han calculado las orientaciones de las pendientes en el área de estudio. Las pendientes orientadas hacia el sur obtienen valores máximos debido a su mayor iluminación; frente a las orientadas al norte con valores mínimos. El resto de orientaciones (noreste, noroeste, este, oeste, sureste y suroeste) obtienen valores intermedios. Durante la estandarización se ha seguido el método de valores máximos.
- *Pendientes.* Se han calculado las inclinaciones de las pendientes en el área de estudio. Posteriormente estos valores se estandarizan asignando 1 al valor máximo de pendiente y 0 al mínimo (método de valores máximos).

- Todas las variables dentro del *bloque de visibilidad extrínseco*. Se ha considerado la distancia de 4 km como el alcance máximo de campo de visión de un observador normal (Martínez-Vega *et al.*, 2003). Teniendo en cuenta este criterio se han calculado las cuencas de visibilidad para cada una de las variables (uso de ArcGIS 9). Como *output* de esta operación se obtienen unas coberturas raster con los valores de cada píxel que indica su visibilidad desde los puntos de observación (carreteras y núcleos urbanos). Finalmente, el procedimiento de estandarización consiste en asignar el valor 1 a los píxeles con el máximo valor y 0 a los píxeles no visibles.

El mapa final de la evaluación de visibilidad del paisaje (en el capítulo de Resultados) indica los sitios de mayor visibilidad desde los puntos de observación considerados. El cálculo del valor numérico de la visibilidad del paisaje ha sido realizado a través de la suma lineal ponderada, cuya formulación ha sido propuesta por Saaty (1980 y 2005) y Keeney y Raiffa (1976), de todas las variables influyentes representadas por las capas temáticas. El mapa resultado se utiliza posteriormente como datos de entrada en el modelo global de valoración de las medidas de actuación en el olivar de montaña de Montoro.

Como parte concluyente de este apartado deseamos comentar que los estudios sobre la calidad paisajística son de gran importancia para cualquier propuesta de ordenación del territorio. A su vez, el análisis de visibilidad debe formar parte de ellos y persigue el objetivo de señalar las zonas de mayor visibilidad y, por ello, más vulnerables hacia actuaciones con un impacto visual negativo. Desgraciadamente este tipo de estudios son frecuentes sólo en algunas de especial interés paisajístico y ecológico, dejando sin atención los paisajes cotidianos y tradicionales, como es el caso que nos ocupa del olivar andaluz.

A photograph of an olive grove with a dirt path leading through the trees. The trees are green and the ground is covered with dry grass and some green patches. The sky is overcast.

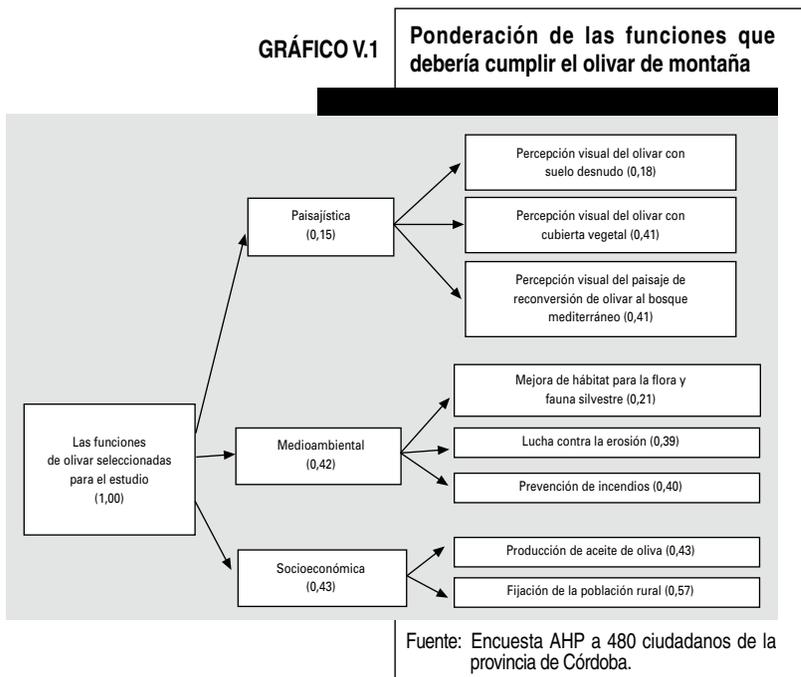
Resultados y discusión

Capítulo V

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1 Opinión de la Sociedad sobre las funciones que debe cumplir el olivar andaluz

Para la obtención del modelo general de optimización del uso del territorio ocupado por plantaciones de olivar se han obtenido modelos parciales relacionados con las funciones comerciales (producción de aceite de oliva) y no comerciales (mejora de la diversidad ecológica, control del riesgo de incendios, control del riesgo de erosión y provisión de paisajes culturales). Para su agregación se ha tenido en cuenta las preferencias de la Sociedad sobre la importancia que debe tener cada una de estas funciones. Basándonos en un muestreo por cuotas que contempla la edad, el sexo y el tamaño del municipio de la población objetivo, la población de Córdoba, se realizaron 480 entrevistas personales siguiendo un clásico cuestionario AHP. El Gráfico V.1 resume la importancia de cada función según los ciudadanos:



Como indican los resultados anteriores, la Sociedad asigna prácticamente la misma importancia a los objetivos socioeconómicos y a los medioambientales. No obstante, el peso de la función puramente estética de estos sistema agrarios también debe ser tenido en cuenta en cualquier análisis de optimización del uso del territorio, tal y como se ha llevado a cabo en la presente investigación.

Desde el punto de vista paisajístico, el ciudadano encuentra más atractivo un paisaje en transición hacia el bosque mediterráneo que uno en gestión convencional sin cubierta. No obstante, el uso de cubiertas vegetales incrementa el valor visual del olivar hasta el mismo nivel que el bosque mediterráneo.

Si analizamos las respuestas de los ciudadanos según el tamaño del municipio en el que viven se puede apreciar ciertas diferencias en la ponderación de las funciones del olivar, como se muestra en el cuadro V.1.

CUADRO V.1 Pesos globales de todos los objetivos según el tamaño del municipio

Objetivos	Total población		Población <10.000		Población entre 10.000 y 25.000		Población >25.000	
	Peso	Ranking	Peso	Ranking	Peso	Ranking	Peso	Ranking
Fijación de la población rural	0,2417	1	0,2741	1	0,2448	2	0,2136	1
Producción de aceite de oliva	0,1830	2	0,1247	4	0,2635	1	0,1965	2
Prevención de incendios	0,1708	3	0,1976	2	0,1524	3	0,1624	4
Lucha contra la erosión de los suelos	0,1621	4	0,1508	3	0,1261	4	0,1797	3
Mejora del hábitat para la flora y fauna silvestre	0,0886	5	0,0729	6	0,0868	5	0,0969	5
Olivar con suelo desnudo y labrado (Fotos A)	0,0273	8	0,0359	8	0,0312	8	0,0220	8
Olivar con cubierta vegetal (Fotos B)	0,0639	6	0,0809	5	0,0562	6	0,0578	7
Olivar abandonado colonizado por el bosque (Fotos C)	0,0626	7	0,0633	7	0,0391	7	0,0711	6

Fuente: Elaboración propia.

Como se desprende de los datos anteriores, no hay diferencias según el tamaño del municipio a la hora de otorgar la mayor importancia a la fijación de la población en el medio rural. Sí hay alguna diferencia en relación con la ponderación del objetivo del control de incendios: las poblaciones de los municipios de menor tamaño valoran más este objetivo, quizás por su mayor concienciación sobre los efectos negativos que este problema tendría en los objetivos de tipo socioeconómico.

V.2 **Determinación de la contribución de cada sistema de gestión del olivar a la consecución de las funciones demandadas por la Sociedad:**

En la evaluación de la importancia de cada sistema de gestión del olivar (convencional, integrado o ecológico) o la reconversión al bosque mediterráneos han participado 15 expertos en materia de olivar tanto desde punto de vista agronómico como medioambiental. La valoración de las funciones también siguió el método AHP de agregación de preferencias:

CUADRO V.2 **Importancia de cada alternativa de gestión del olivar para la consecución de las funciones**

Funciones Alternativas	Producción de aceite de oliva	Fijación de la población rural	Hábitat para la flora y fauna silvestre	Lucha contra la erosión	Prevención de incendios	Mejora de la calidad visual del paisaje
Reconversión al bosque	0,05	0,06	0,46	0,36	0,06	0,51
Olivar convencional	0,33	0,33	0,05	0,07	0,42	0,09
Olivar integrado	0,35	0,29	0,13	0,20	0,27	0,15
Olivar ecológico	0,27	0,32	0,36	0,37	0,25	0,26
Total=	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Encuesta AHP a 15 expertos en materia de olivar.

Seleccionando las funciones más importantes para cada tipo de gestión, la *reconversión al bosque mediterráneo* se recomienda para la mejora de la calidad visual del paisaje y la diversidad ecológica. El *olivar convencional* destaca por su contribución a la fijación de la población rural y la prevención de incendios. El *olivar de producción integrada*, según los expertos, se presenta como una alternativa mejor que el olivar convencional para la producción del aceite de oliva. Por último, el *olivar ecológico* alcanza en el control de la erosión y, en menor medida, la fijación de la población rural los mejores resultados.

En el Cuadro V.3 se indica el tipo de gestión que mejor encaja con las funciones que demanda la Sociedad para el olivar de montaña. Como puede observarse, en el caso de la producción de aceite de oliva es interesante la ponderación algo superior del sistema de producción integrada frente al convencional, siendo este último sistema el recomendado para la fijación de la población rural, y sobre todo para la prevención de incendios, principalmente por la no existencia de vegetación entre la calles. En el caso de querer potenciar la mejora de la biodiversidad o la mejora de la calidad visual de este sistema agrario claramente la opción de reconversión al bosque mediterráneo se presenta como la mejor opción, seguida por el olivar ecológico. Por último, en el caso de centrarnos en la lucha contra la erosión destaca el sistema de producción ecológica seguido por la restauración hacia el bosque mediterráneo.

CUADRO V.3 Selección del sistema de gestión según el objetivo demandado por la Sociedad

Objetivos Alternativas	Producción de aceite de oliva	Fijación de la población rural	Hábitat para la flora y fauna silvestre	Lucha contra la erosión	Prevención de incendios	Mejora de la calidad visual de paisaje
Reconversión al bosque mediterráneo			■	■		■
Olivar convencional		■			■	
Olivar integrado	■					
Olivar ecológico		■		■		

Fuente: Encuesta AHP a 15 expertos en materia de olivar.

V.3 Obtención de mapas parciales de optimización del territorio

Para la determinación del tipo de gestión de olivar o su abandono que optimiza las preferencias de la Sociedad se obtuvieron cinco modelos parciales de optimización, uno por cada objetivo en cuestión, a saber:

- Modelo de evaluación de visibilidad de la zona de estudio
- Modelo de evaluación de potencialidad de recuperación de hábitat para la flora y fauna silvestre
- Modelo de evaluación de riesgo de erosión de los suelos con olivar

- Modelo de evaluación de riesgo de incendios en el olivar
- Modelo de evaluación de producción de aceite de oliva

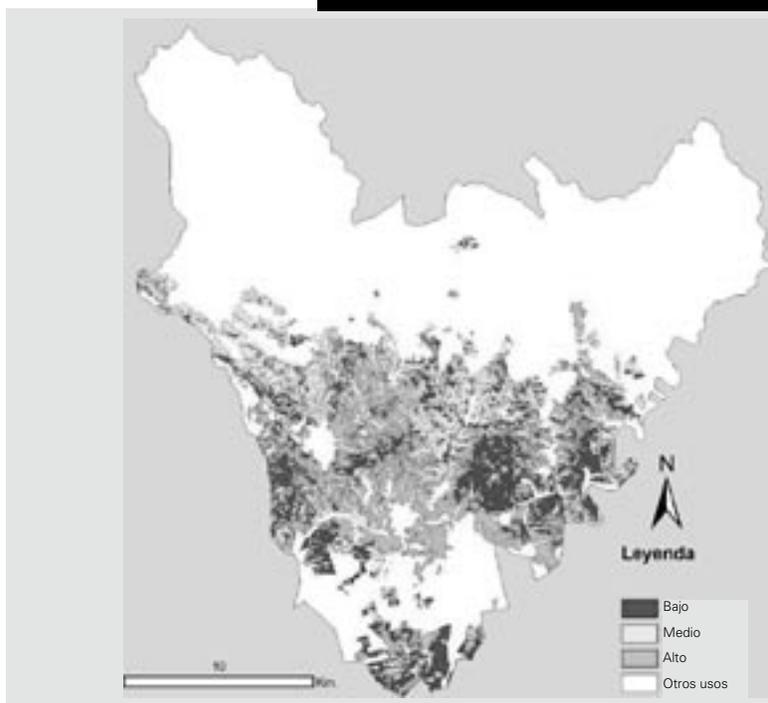
En los siguientes apartados se presentan estos resultados parciales así como, en su caso, el análisis de sensibilidad correspondiente.

5.3.1. Modelo de evaluación de visibilidad de la zona de estudio

La estructura jerárquica del modelo y la ponderación de los elementos del modelo se detallaron en el capítulo anterior. El mapa resultado de este modelo fue el siguiente:

GRÁFICO V.2

Análisis de visibilidad para la determinación del impacto visual



Fuente: Elaboración propia.

Como se ha indicado anteriormente, el modelo parcial de optimización del territorio en función de la calidad visual del paisaje se pondera por la localización de cada área mediante el análisis de visibilidad del territorio. Este enfoque permite asignar mayor importancia a este objetivo en las zonas más visibles y menor en las zonas poco accesibles para el visitante.

El mapa resultado ha sido reclasificado en tres clases (valores de visibilidad baja, media y alta) con el fin de facilitar una representación y comprensión del mismo. Como se puede observar en el mapa, el relieve de la zona tiene un importante impacto en la delineación de las zonas visibles. Los valores obtenidos en el mapa de visibilidad varían entre 0 y 8,399. La clasificación presentada se ha realizado según el método "Quantile" (una de las opciones de clasificación en ArcGIS 9). No obstante, a la hora de ejecutar el modelo general esta capa temática se incluye con valores continuos. No se realiza el análisis de sensibilidad para este estudio dado que la determinación de las cuencas visuales es un procedimiento matemático suficientemente avalado por la bibliografía existente.

5.3.2. Modelo de evaluación de potencialidad de recuperación de hábitat para la flora y fauna silvestre

Para el desarrollo de este modelo utilizamos como especie emblemática indicadora el lince ibérico. Diez expertos en el tema valoraron el efecto de los diferentes elementos del territorio en la mejora del hábitat de esta especie con el fin de favorecer su dispersión en olivares marginales reconvertidos al bosque mediterráneo.

El área roja en el centro del mapa representa el territorio bajo la influencia negativa de las zonas urbanas y al considerarse como limitación se excluye como zona potencialmente recuperable para el bosque mediterráneo. Las franjas rojas que atraviesan este mapa representan la autovía y la carretera nacional con un nivel alto de tráfico.

CUADRO V.4

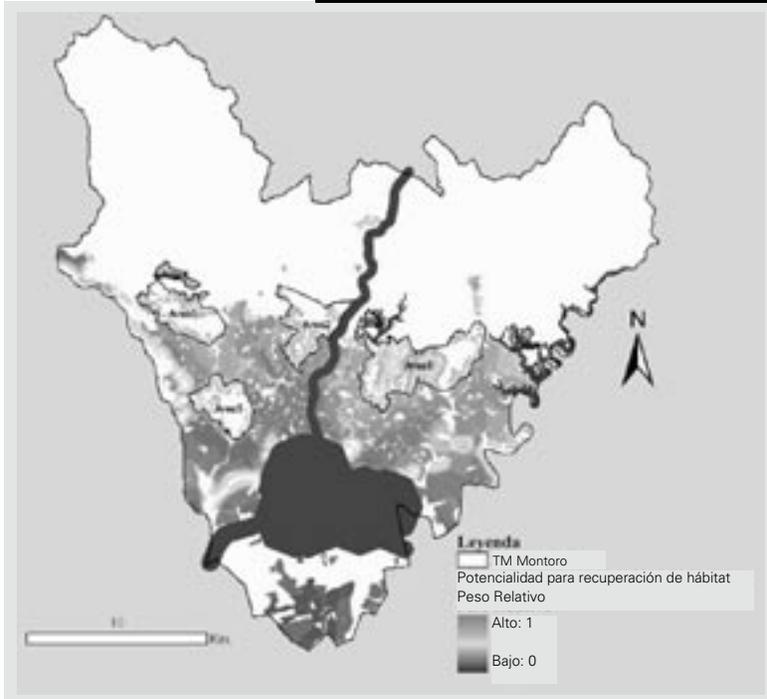
Superficies agregadas con alto potencial de restauración

	Superficie (ha)
Área 1	982
Área 2	874
Área 3	1.830
Área 4	102
Área 5	728
Total	4.516

Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo obtenido en este modelo es de 0,86 y mínimo de 0,14 (escala 0-1). En el mapa se destacan cinco áreas (están marcadas) con un potencial relativamente alto para la restauración de hábitat. Estas cinco áreas ocupan una superficie total de 4.516 ha (ver cuadro V.4).

GRÁFICO V.3

**Potencialidad de recuperación de hábitat
para la flora y fauna silvestre**

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la alta divergencia entre las opiniones de los expertos se consideró apropiado un análisis de sensibilidad. El objetivo de este análisis es responder a la pregunta “¿Qué pasaría si?”. A grandes rasgos, se intenta observar los cambios que se producen en el mapa final a causa de los cambios introducidos en los parámetros iniciales. De forma complementaria se ha propuesto un procedimiento específico con el fin de cuantificar las diferencias entre los diferentes tipos de análisis de sensibilidad que se exponen a continuación. Este procedimiento específico consiste en el tratamiento de cada una de las cinco áreas destacadas como alternativas separadas y mutuamente excluyentes. Cada alternativa se evalúa a través del cómputo de un valor medio de todos los píxeles que la integran (media aritmética). Este cómputo permite establecer un ranking de las áreas. De esta forma se formula una hipótesis: si se conserva el ranking de las áreas destacadas después de haber introducido los cambios en los diferentes tipos de análisis de sensibilidad, el resultado puede ser considerado como poco sensible y robusto. Entre la inmensa cantidad de posibles cambios en los parámetros hemos seleccionado los cinco siguientes:

- Asignación de una importancia igual a todos los criterios-elementos del paisaje. Este tipo de cambio ha sido introducido con el fin de comprobar la respuesta del modelo y su estabilidad al escenario considerado como base.
- Utilización de los pesos relativos obtenidos del Experto 4. Este experto asignó la mayor importancia a las vías de comunicación (0,65).
- Utilización de los pesos relativos obtenidos del Experto 10, el cual le daba la menor importancia al mismo elemento, las vías de comunicación (0,03).
- El área de influencia de la vegetación natural existente se aumenta hasta 1,5 km. En este caso se aborda la dimensión temporal de este tipo de procesos de optimización del territorio suponiendo el aumento del área de vegetación natural mediterránea en el largo plazo.
- La influencia del Parque Natural ha sido reducida hasta las 5 km.

CUADRO V.5

Resultado de análisis de sensibilidad (*valor medio de todos los píxeles integrantes*)

Casos de análisis de sensibilidad	Área 1 (Orden)	Área 2 (Orden)	Área 3 (Orden)	Área 4 (Orden)	Área 5 (Orden)
Resultado (Base line)	0.75(3)	0.75(2)	0.69(4)	0.76(1)	0.63(5)
Primer caso de análisis de sensibilidad	0.66(4)	0.82(1)	0.77(2)	0.69(3)	0.61(5)
Segundo caso de análisis de sensibilidad	0.92(1)	0.61(4)	0.74(3)	0.82(2)	0.51(5)
Tercer caso de análisis de sensibilidad	0.51(5)	0.867(1)	0.69(2)	0.53(4)	0.66(3)
Cuarto caso de análisis de sensibilidad	0.81(2)	0.79(4)	0.80(3)	0.83(1)	0.66(5)
Quinto caso de análisis de sensibilidad	0.71(4)	0.73(2)	0.73(3)	0.83(1)	0.58(5)

Fuente: Elaboración propia.

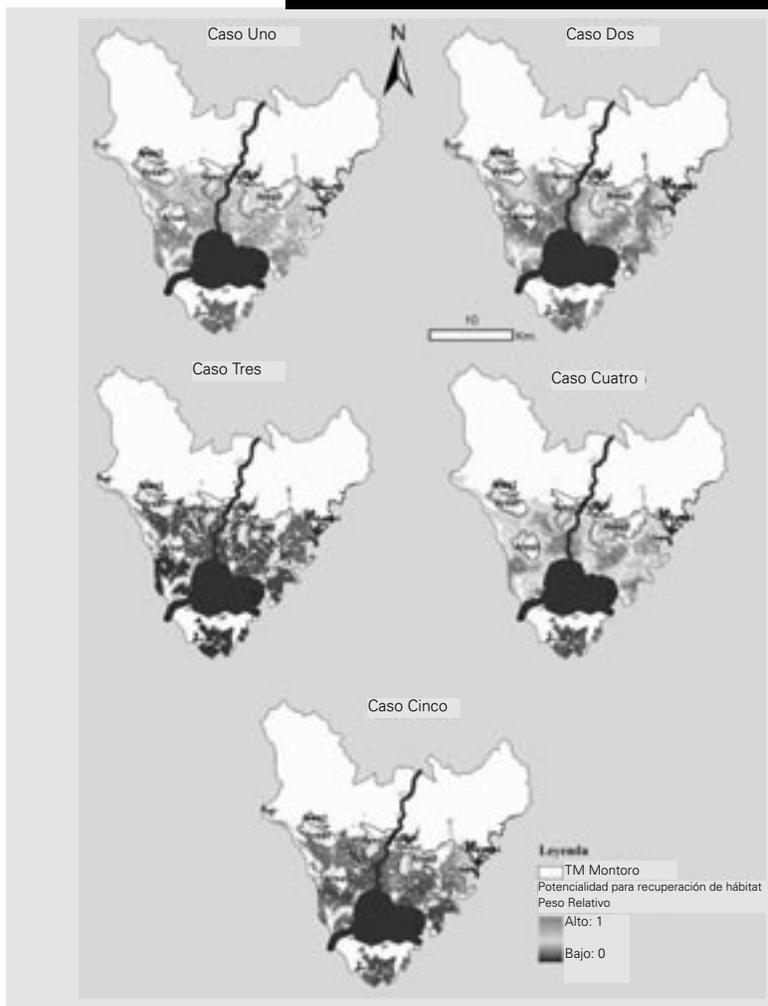
El Gráfico V.4 recoge los mapas correspondientes a los cinco supuestos.

Como se observa en el gráfico, es muy difícil evaluar las diferencias basándose en una simple observación de los mapas. Por esta razón se ha utilizado el procedimiento explicado para cuantificar estas diferencias. El ranking de las cinco áreas seleccionadas como objeto del análisis de sensibilidad se presenta en el cuadro siguiente:

Como sugieren los resultados de los diferentes análisis de sensibilidad, en los primeros tres casos el orden de las áreas seleccionadas se ha cambiado completamente con respecto al resultado original. Sin embargo en los dos últimos casos el orden sufre solo ligeros cambios (por ejemplo Área 4 se

mantiene como la mejor valorada en ambos casos). Resumiendo, se puede concluir que el modelo elaborado es sensible a variaciones en las opiniones de los expertos y menos sensible al tamaño de las áreas de influencia.

GRÁFICO V.4 Análisis de sensibilidad de la evaluación de la potencialidad de recuperación del hábitat



Fuente: Elaboración propia.

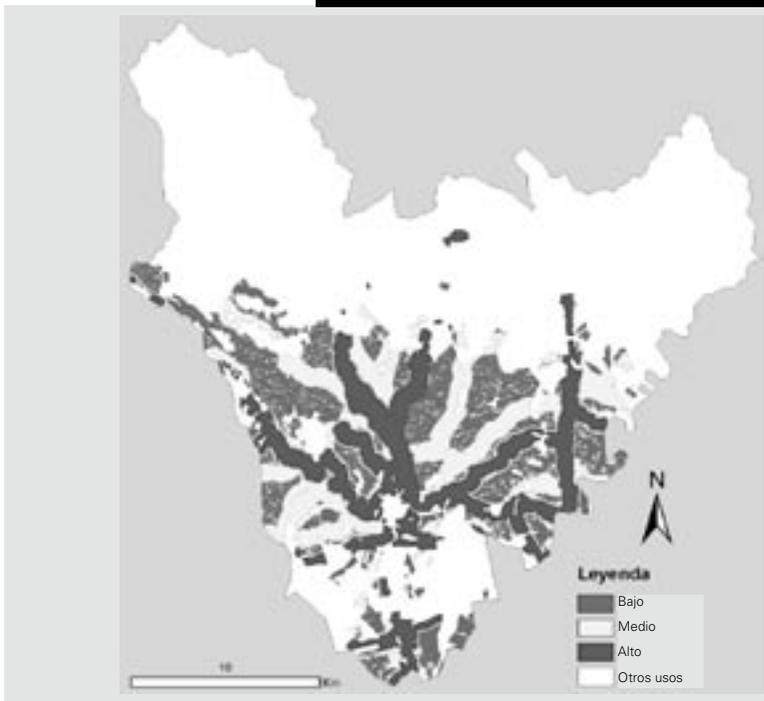
La última conclusión que sugiere el análisis de sensibilidad es la potencialidad de cada una de las áreas para la restauración del hábitat para el lince ibérico. Así, las Áreas 1, 2 y 4 tienen un potencial de recuperación relativamente más alto que las otras zonas evaluadas.

5.3.3. Modelo de evaluación de riesgo de erosión de los suelos con olivar

El estudio sobre la evaluación de riesgo de erosión en la zona de estudio es el más complejo de los estudios parciales de optimización. Utilizando el método ANP de ponderación de los elementos y el modelo USLE/RUSLE de erosión. También en este caso se procedió al análisis de sensibilidad para evaluar la robustez del modelo.

GRÁFICO V.5

Evaluación de riesgo de erosión de los olivares analizados



Fuente: Elaboración propia.

El resultado del modelo parcial ha sido el siguiente mapa. El modelo de riesgo de erosión considera variables antropogénicas (47 por ciento del peso total), topográficas (6 por ciento) y de material combustible (47 por ciento).

Como se puede observar todo el área de estudio es atravesada por franjas de color rojo (riesgo alto) y amarillo (riesgo medio). Estas áreas coinciden con las zonas de influencia de las carreteras, donde el riesgo de incendio es más alto

Las áreas en el noreste de la zona de estudio se destacan por tener un alto riesgo de erosión (están marcadas en color rojo), lo que se debe a una mayor pluviometría, la ausencia de cubierta vegetal y unas pendientes acusadas y largas. El mapa presentado aquí está reclasificado en tres clases con el fin de mejorar la comprensión del mismo. Sin embargo, en el cálculo final se utiliza la cobertura continua sin reclasificar.

Los valores finales en el mapa resultado varían entre 0,0902 y 0,6138. Se ha realizado una estandarización de estos valores de modo que teóricamente el peor valor relativo (máximo riesgo de erosión) se estandariza a 1, y el mejor valor se normaliza a cero. Los valores obtenidos después de la estandarización varían entre 0,0167 y 0,8851 lo que quiere decir que no existe ningún lugar en el área de estudio exento del riesgo de erosión (aunque sea mínimo). Por otro lado, ningún lugar presenta el máximo riesgo de erosión.

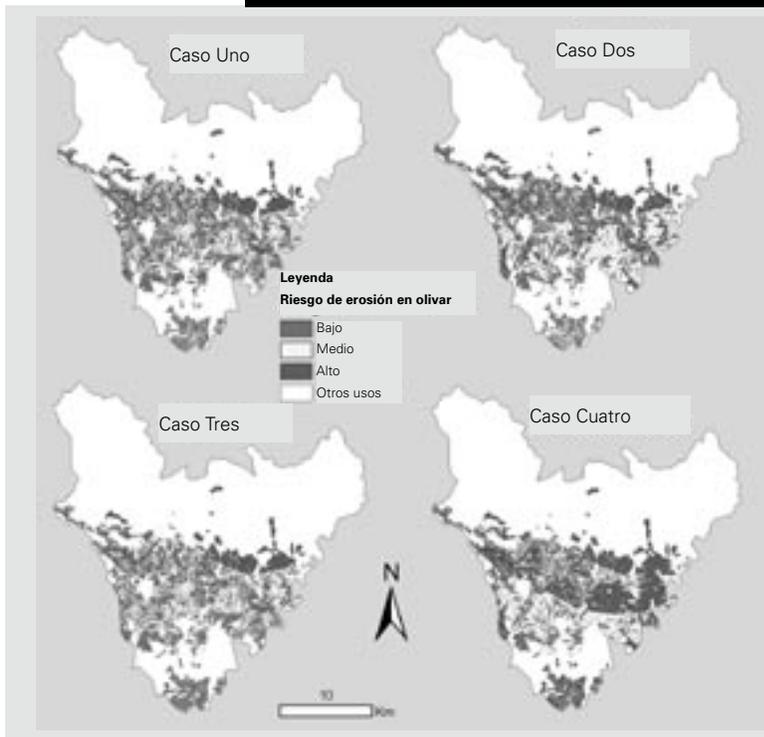
Con el objetivo de resolver dudas y desacuerdos entre las opiniones de los expertos durante la realización de estudio se abordó un análisis de sensibilidad de los resultados. Debido a la complejidad del método ANP, raramente se realiza este tipo de análisis, por lo que este estudio es pionero en este sentido. De esta forma se introducen los cambios en las prioridades finales después de la ejecución del modelo con el fin de observar como varía el resultado. Entre una cantidad innumerable de posibilidades se eligieron cuatro:

- Consideración de una importancia igual de todos los factores incluidos e independencia de cada factor. En este caso se ha intentado simular las condiciones del modelo USLE/RUSLE cuando los factores se consideran como independientes y tienen la misma importancia.
- Intercambio entre los pesos del factor de potencialidad de las lluvias y ángulo de las pendientes. En este caso se ha intentado responder a las dudas manifestadas durante el proceso de cumplimentación del cuestionario ANP.
- Utilización de una estructura simplificada de evaluación de los clusters disponible en el programa *Super Decisions 1.6.0*. El objetivo de este

análisis de sensibilidad ha sido estudiar las ventajas e inconvenientes del procedimiento menos complejo de cálculo de los pesos de los clusters. Las comparaciones complejas durante la evaluación de los clusters son convenientes para cualquier problema ANP, pero esta recomendación debe ser sopesada con el tiempo necesario para su cumplimentación. Si esta mejora través de las comparaciones cluster más complejas es relativamente pequeña, posiblemente sea razonable ahorrar tiempo y realizar solamente comparaciones de los cluster sencillos.

- El último supuesto permite simular el riesgo de erosión en olivar con total ausencia de cubierta vegetal herbácea. Así, en este caso se suspende el factor de la cubierta vegetal. Este caso permite visualizar el riesgo de erosión que corren las parcelas de olivar actualmente protegidas por la cubierta vegetal herbácea.

GRÁFICO V.6 Análisis de sensibilidad del modelo de erosión



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de sensibilidad realizado permite concluir lo siguiente:

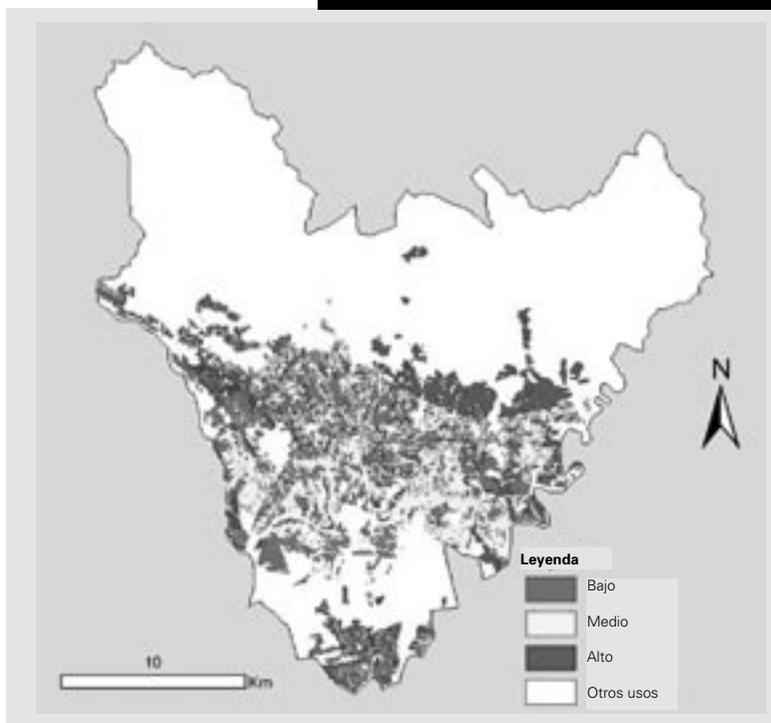
- El mapa obtenido en el primer escenario muestra las mismas tendencias que el mapa resultado. Por consiguiente, la utilización de esta aproximación puede dar una idea inicial sobre el estado de riesgo de erosión en un territorio en el caso de no ser posible la obtención de los datos experimentales u opiniones de los expertos.
- Los cambios propuestos en el segundo caso del análisis de sensibilidad producen unos resultados muy parecidos a los resultados generales.
- Después de la ejecución del tercer caso del análisis de sensibilidad se ha observado la asignación de una importancia excesiva al factor de la cubierta vegetal comparado con el peso del resto de factores. La utilización de la evaluación de los cluster a través del cálculo más complejo permite solucionar este problema y estas diferencias no realistas no se manifiestan.
- La importancia de la cubierta vegetal se demuestra claramente a través de cuarto caso del análisis de sensibilidad.

5.3.4. Modelo de evaluación de riesgo de incendios en el olivar

La metodología utilizada para este estudio parcial es AHP aplicado al problema espacial y su descripción detallada se encuentra en el capítulo anterior. Se ha utilizado ArcGIS 9 como el programa SIG para el análisis y la representación de los datos espaciales.

El mapa resultado ha sido reclasificado en tres clases: riesgo bajo, medio y alto. Como se puede observar todo el área de estudio es atravesada por franjas de color rojo (riesgo alto) y amarillo (riesgo medio). Estas áreas coinciden con las zonas de influencia de las carreteras, principales en primer caso y secundarias en segundo caso, donde el riesgo de incendio es más alto. Los valores de Índice de Riesgo de Incendios antes de estandarizar varían entre 0,106 y 12,155. La clasificación presentada se ha realizado según el método “*Quantile*” (una de las opciones de clasificación en ArcGIS 9). Sin embargo en el cálculo final del modelo general se utiliza esta capa con los valores continuos. No se ha realizado análisis de sensibilidad para este estudio dado el acuerdo relativamente alto entre las respuestas de los expertos.

GRÁFICO V.7 Evaluación del riesgo de incendios



Fuente: Elaboración propia.

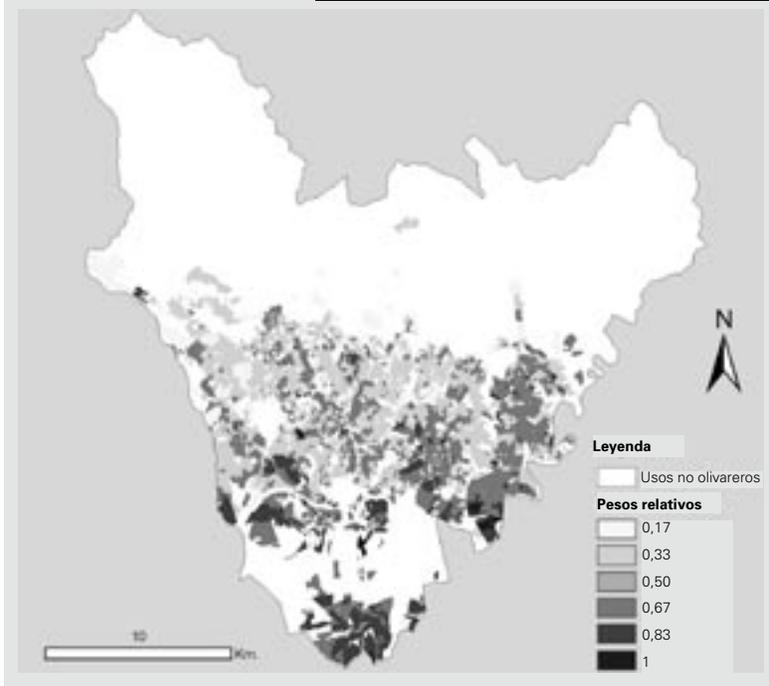
5.3.5. Modelo de evaluación de producción de aceite de oliva

A partir de los rendimientos de aceituna por parcela y durante un periodo de cuatro años se estratificó la zona de estudio en seis categorías (≤ 1000 ; 1001-2000; 2001-3000, 3001-4000; 4001-5000; > 5000 kg de aceituna/ha). El mapa resultado es.

Las superficie ocupada por cada estrato de productividad se muestra en el Cuadro 5.6. El resultado de esta reclasificación indica que las parcelas con productividad entre 1.000 y 2.000kg/ha ocupan el mayor porcentaje de la superficie olivarera del término municipal de Montoro (37,1 por ciento). Las parcelas con productividad mayor de 5.000kg/ha representan sólo el 1,0 por ciento de toda la superficie olivarera.

GRÁFICO V.8

Reclasificación del olivar de la zona de estudio según rendimiento medio



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO V.6 Superficies de olivar clasificados por su productividad

Clasificación	Peso relativo	Superficie (ha)	Porcentaje
1	0,17	3.620	21,4
2	0,33	6.291	37,1
3	0,50	3.987	23,5
4	0,67	1.518	8,9
5	0,83	1.345	7,9
6	1,00	176	1,0
		16.939	100,0

Fuente: Elaboración propia.

V.4 | Modelo general de uso óptimo del territorio de olivar

5.4.1. Agregación de las mapas parciales para cada tipo de gestión

El modelo general calcula la utilidad georreferenciada de cada tipo de gestión ponderada por las preferencias de la Sociedad. Esta utilidad (U) se obtiene como:

$$U_{n,g} = \sum_{i=1}^6 A_{gi} \cdot P_i \cdot F_{ni}$$

n representa cada píxel del territorio (10x10 m)

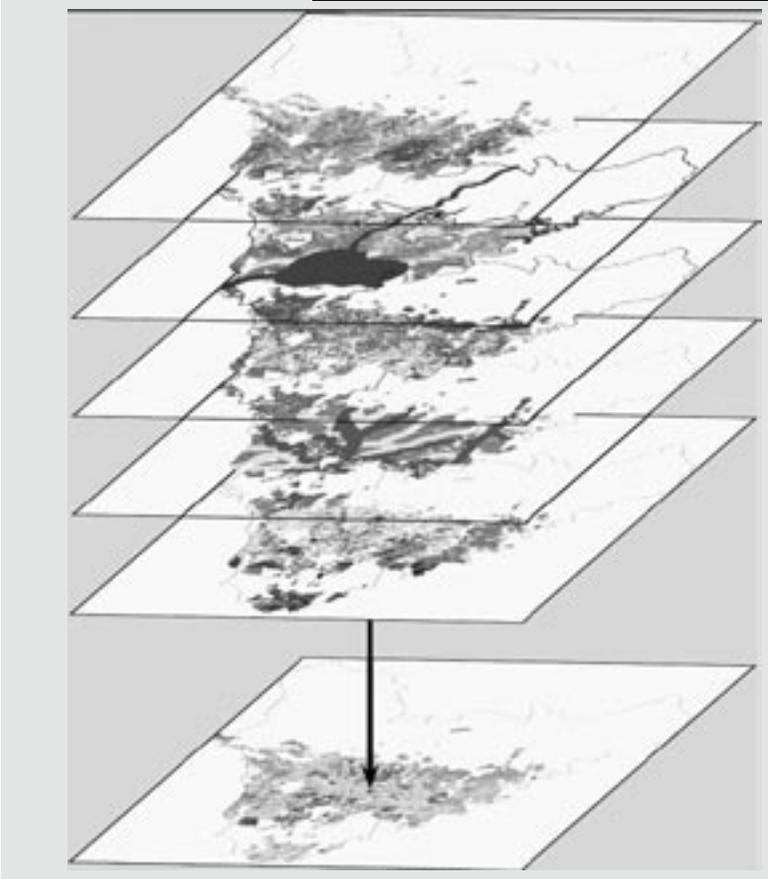
g es el tipo de gestión (convencional, integrado, ecológico o reconversión)

A_{gi} representa la importancia del tipo de gestión g para el cumplimiento de la función i (encuesta a expertos)

P_i es el peso que la Sociedad asigna a la función i (encuesta a la población)

F_{ni} es el valor obtenido en la fase anterior (modelos espaciales).

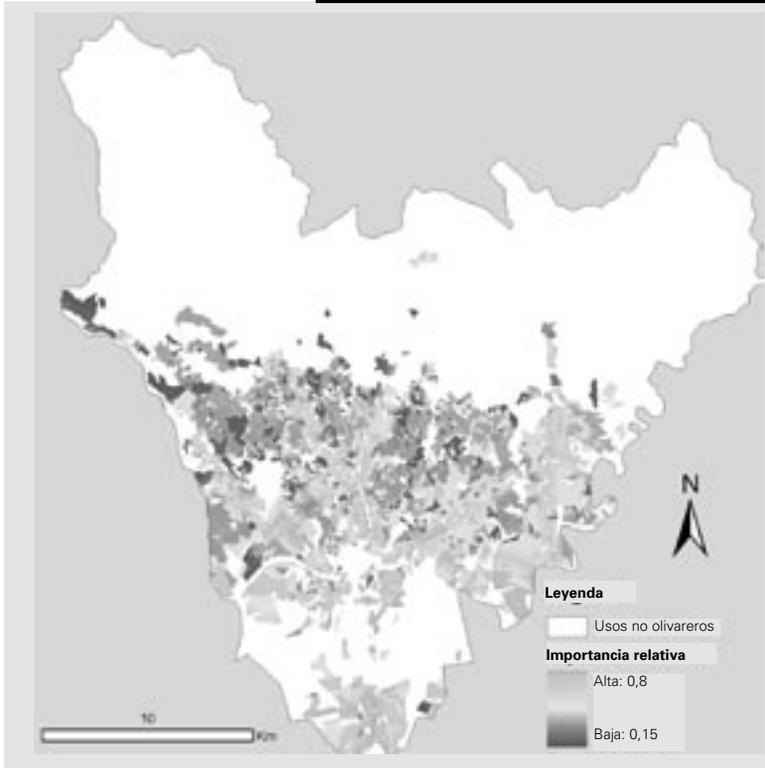
GRÁFICO V.9 Agregación ponderada de los mapas parciales de optimización



Fuente: Elaboración propia.

Para cada tipo de gestión se obtiene un mapa agregado de utilidad por píxel, como se muestra a continuación:

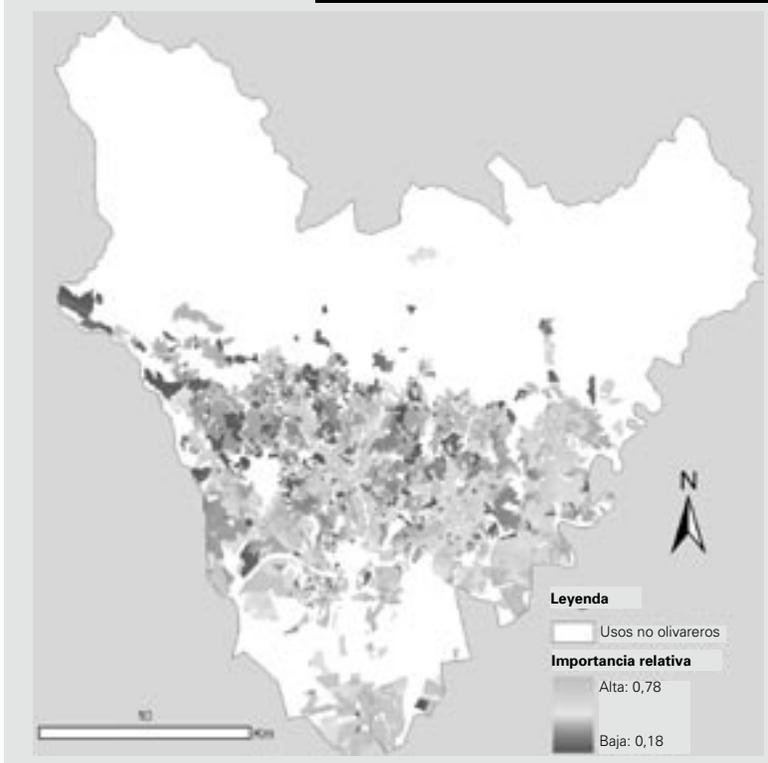
GRÁFICO V.10 Mapa de utilidad del olivar convencional



Fuente: Elaboración propia.

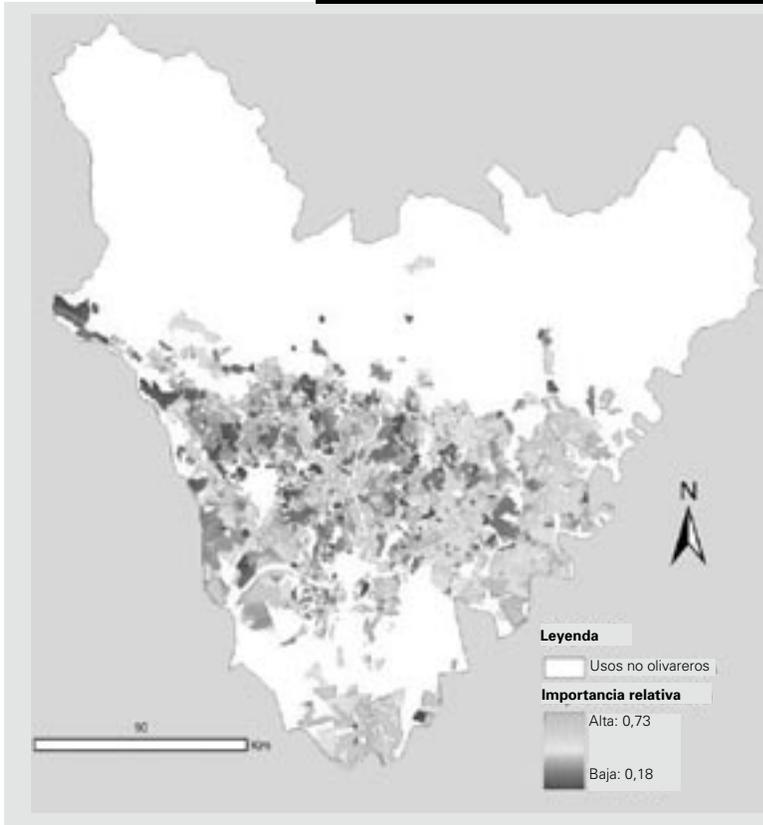
GRÁFICO V.11

Mapa de utilidad del olivar en producción integrada



Fuente: Elaboración propia.

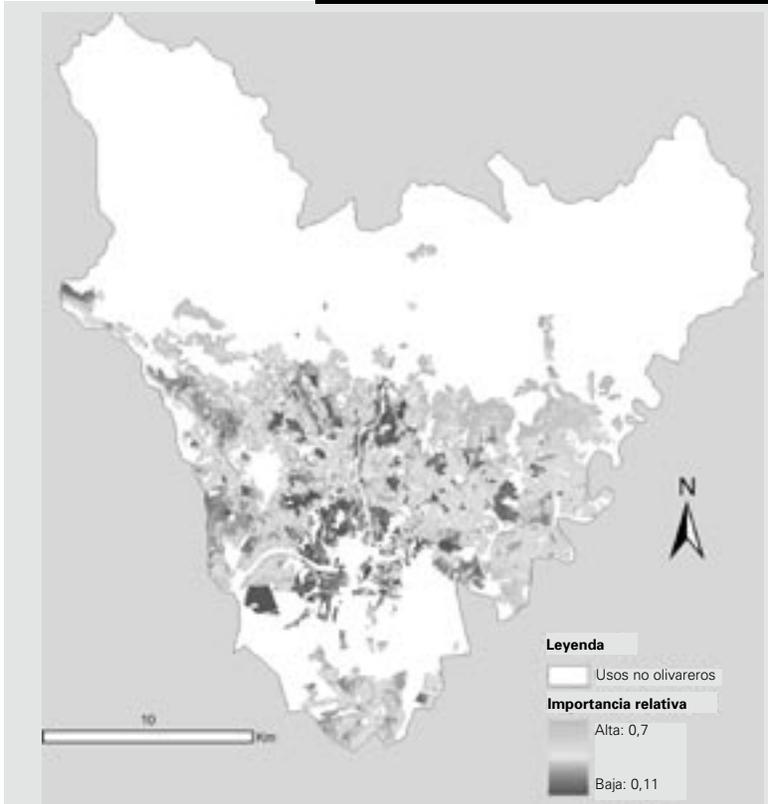
GRÁFICO V.12 Mapa de utilidad del olivar ecológico



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO V.13

Mapa de utilidad del cese de la actividad agrícola



Fuente: Elaboración propia.

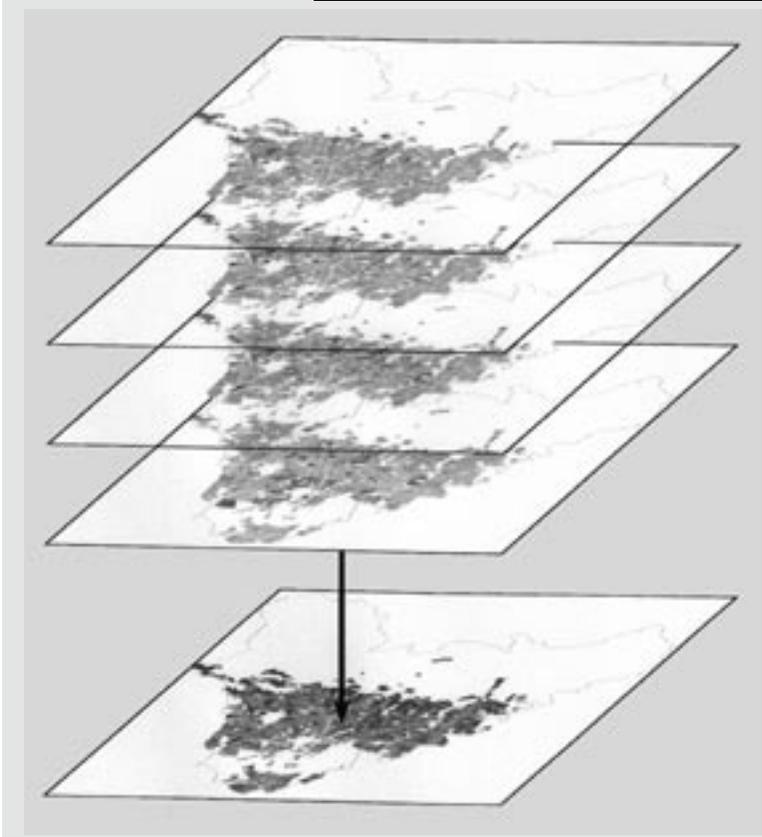
La fase final del proceso de modelización consiste en determinar qué tipo de gestión tiene el máximo valor de utilidad, como se indica en el siguiente apartado.

5.4.2. Selección del tipo de gestión con mayor utilidad

Como parte final del proceso de optimización se compara la utilidad generada por cada tipo de gestión en el territorio. Comparando estas cuatro utilidades, tal y como muestra el Gráfico V.14, podemos determinar aquel tipo de gestión que maximiza la utilidad total.

GRÁFICO V.14

Comparación de las utilidades de las alternativas de gestión

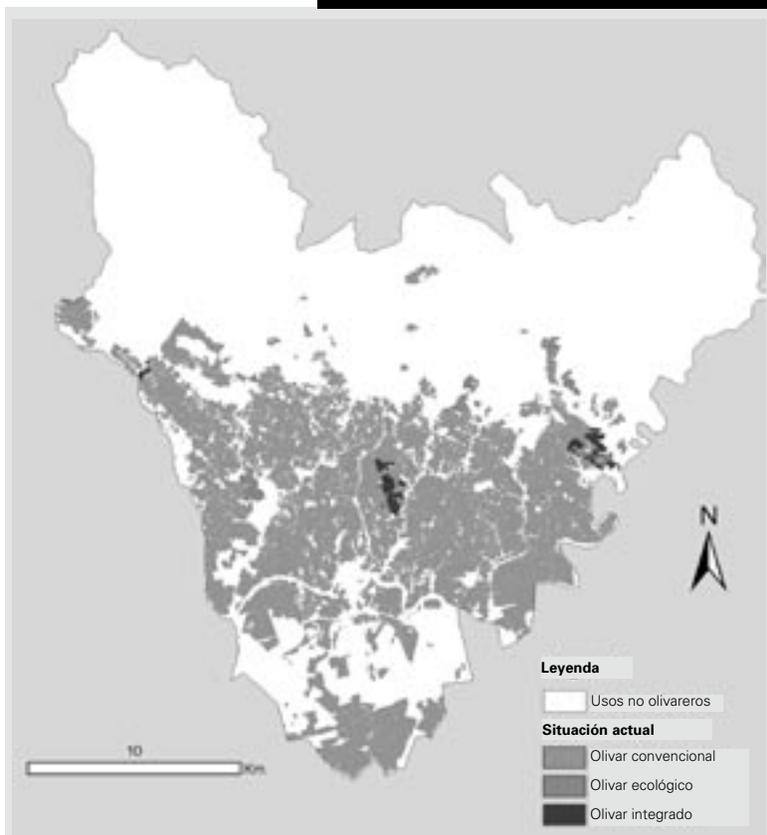


Fuente: Elaboración propia.

El resultado final es un mapa donde se indica cuál es el mejor uso para cada píxel. La comparación de la situación actual con la propuesta por el modelo puede observarse en los Gráficos V.15 y V.16.

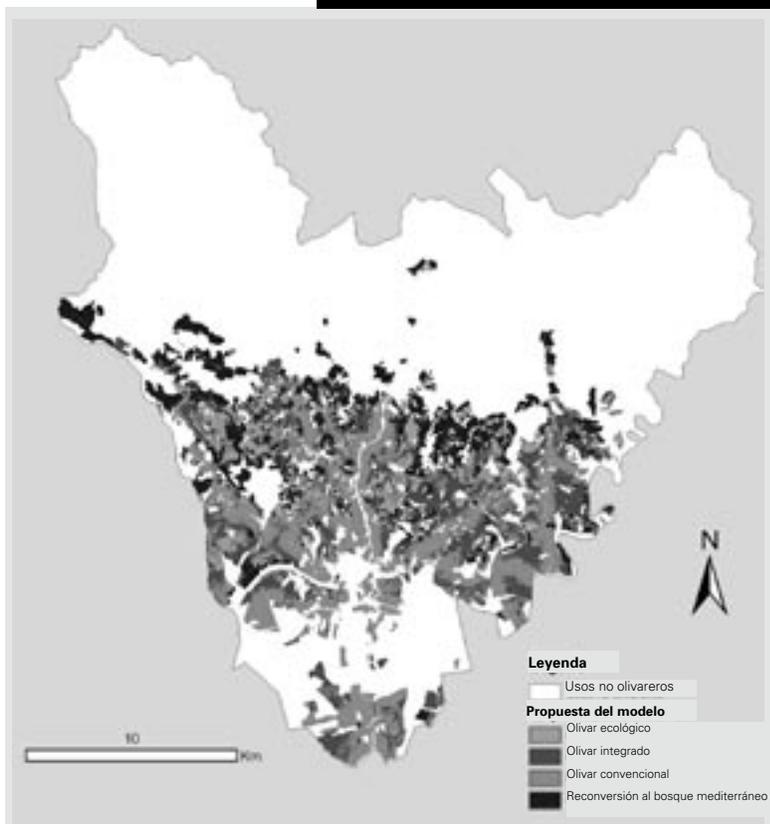
GRÁFICO V.15

Tipo de gestión del olivar



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO V.16 Tipo de gestión óptima propuesta



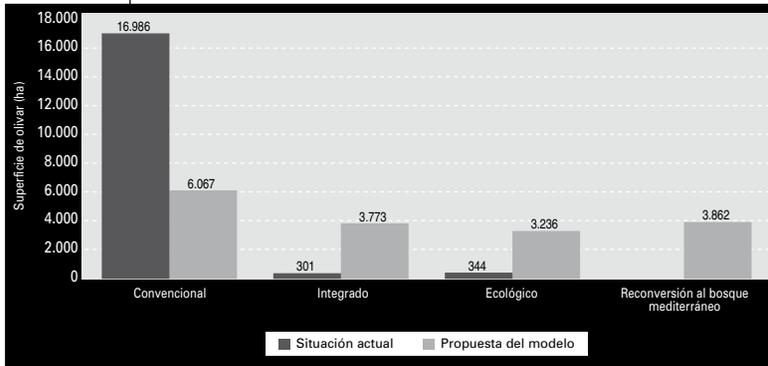
Fuente: Elaboración propia.

Como indica el mapa de resultados, en aras de responder a las demandas de la Sociedad sobre las funciones que debe cumplir este tipo de sistemas agrarios, una parte importante del olivar convencional debería transformarse en olivar integrado, ecológico o ser reconvertido en bosque mediterráneo. A continuación se muestra la superficie agregada de cada alternativa:

En efecto, a la hora de optimizar el uso del territorio olivarero en la zona de estudio se sugiere la reconversión de gran parte del olivar convencional hacia, aproximadamente en la misma medida, las tres alternativas consideradas. Destaca la amplia superficie que debería reconvertirse al bosque mediterráneo, en muchos casos en zonas en donde originalmente ya tenía ese uso pero la política de apoyo a la producción había empujado el incremento de las tierras agrícolas. En este sentido, y teniendo en cuenta la localización de los olivares objeto de estudio, colindante con el Parque

GRÁFICO V.17

Cambios de tipo de uso propuestos por el modelo general de optimización



Fuente: Elaboración propia.

Natural de Sierra de Cardeña y Montoro, no es de extrañar la recomendación del modelo sobre el incremento del sistema de gestión de tipo ecológico y la restauración del bosque mediterráneo ya que ambos sistemas presentan sinergias positivas con el Parque Natural que se ven demandadas por la Sociedad, la cual sitúa la importancia de los objetivos medioambientales al mismo nivel que los socioeconómicos.

V.5 | Discusión de los resultados

5.5.1. Discusión de los resultados obtenidos en los modelos espaciales

Discusión de los resultados del modelo de evaluación del hábitat para la flora y fauna silvestre

Ante este primer objetivo nos encontramos con la dificultad de definir un concepto tan difuso como la diversidad ecológica en general y la mejora del hábitat para la flora y fauna silvestre en particular. Numerosos autores (Wadhardt, 2003; Jeanneret et al., 2003) manifiestan la falta de modelos que evalúen la diversidad ecológica en general y revelan la imposibilidad de aplicación de los mismos indicadores en diferentes escalas espacio-temporales. Sin embargo existe una extensa bibliografía (Store y Kangas, 2001; Pedersen et al., 2004; Van der Horst y Gimona, 2005) sobre la evaluación de la conveniencia de una zona determinada para una especie o un grupo de especies con unos requerimientos similares. Así, para el caso del presente estudio se ha optado por considerar al lince ibérico como

una especie indicadora. Al hacer esta elección se asume que el lince ibérico resume estas exigencias de la flora y la fauna silvestre de la zona. La utilización de las exigencias del lince ibérico como un indicador para la flora y la fauna silvestre se justifica por la rareza y la sensibilidad de esta especie hacia la presencia humana y los trastornos en su hábitat.

El método utilizado para esta evaluación realiza una contribución importante: se utilizan los elementos de la matriz paisajística como uno de los múltiples criterios de un problema de decisión espacial para evaluar el potencial de recuperación del hábitat en una zona determinada. La importancia de cada elemento del paisaje considerado se ha obtenido a partir del conocimiento de los expertos. Este tipo de procedimiento es más rápido que los métodos tradicionales basados en el muestreo y recopilación de información estadística sobre los requerimientos de la especie. Según afirma Ayalew et al. (2005), los modelos basados en el método AHP y en el conocimiento de los expertos obtienen mejores resultados que los modelos basados en datos históricos.

Discusión de los resultados del modelo de evaluación del riesgo de erosión

La evaluación de riesgo de erosión en la zona de estudio se ha realizado a través del método ANP. Las aplicaciones del método ANP son todavía muy escasas, por esta razón esta parte del estudio puede ser considerada como una aportación novedosa.

Además, la metodología propuesta aquí pretende simular un sistema físico (erosión hídrica) a través de la utilización del conocimiento de los expertos. El método ANP permite combinar los datos reales (estado de los suelos, pluviometría, etc.) con los datos de origen subjetivo como es el conocimiento de los expertos. Otro punto fuerte del método ANP es la consideración de las interdependencias entre los factores, lo que manifiesta las diferencias entre el método ANP y el AHP. Según la experiencia obtenida en el trabajo con el método ANP el potencial de este método es muy amplio, pudiendo ser una de las líneas futuras de investigación más prometedoras.

Entre las limitaciones de esta metodología hay que comentar un elevado número de comparaciones por pareja necesarias. En este estudio se ha utilizado una estructura de red relativamente simple, sin embargo la cantidad de comparaciones por pareja realizadas ha sido tan grande que era prácticamente imposible retener todas las respuestas en la memoria. Siendo así, es lógico suponer que para estructuras de redes más complejas la cantidad de comparaciones por pareja necesarias a realizar se eleva drásticamente, lo que lleva al desbordamiento de la capacidad de procesamiento humano y disminuye la utilidad del método ANP.

Discusión de los resultados del modelo de evaluación del riesgo de incendios

Para esta evaluación se ha utilizado el método AHP con una estructura jerárquica simple. La filosofía general de este modelo es parecida a la del modelo de evaluación del hábitat para la flora y fauna silvestre. De esta forma, se ha calculado un índice del riesgo de incendios para el territorio de la zona de estudio. Como criterios del modelo AHP se han considerado los elementos del paisaje que tienen relación con el riesgo de incendios.

El resultado de esta evaluación sugiere que las áreas más cercanas a los caminos principales se encuentran bajo un riesgo de incendios relativamente alto, al mismo tiempo que las variables topográficas apenas tienen impacto sobre el valor relativo del riesgo de incendios.

De este modo, el modelo aquí propuesto permite realizar una evaluación del territorio con respecto al riesgo de incendios, necesitando un input de información relativamente pequeño. Como una limitación de aplicación de este tipo de metodología hay que comentar que todos los antecedentes de su aplicación son zonas forestales, a diferencia de la presente zona de estudio. El riesgo de incendios en el olivar es mínimo, no obstante en el caso de su reconversión al bosque mediterráneo este riesgo aumenta considerablemente. Por lo tanto, el modelo utilizado destaca las zonas con un alto potencial de riesgo de incendios en caso de abandono de este olivar.

Discusión de los resultados del modelo de evaluación de visibilidad del paisaje

Esta evaluación representa un aspecto complementario del objetivo de mejora de la función paisajística. Su inclusión en el modelo permite considerar otra vertiente de este objetivo que es la visibilidad. En el resultado final se refleja que en las zonas más visibles las alternativas con mejor impacto visual obtienen unas puntuaciones más altas.

La metodología utilizada para esta evaluación se basa en el método AHP y una estructura jerárquica específica para este problema (consideración de las dos vertientes: visibilidad extrínseca e intrínseca). A diferencia de los restantes modelos parciales y del modelo general, en el proceso de realización de este modelo no se ha utilizado la información obtenida de los expertos. La información necesaria para la ejecución del método AHP ha sido obtenida desde las fuentes bibliográficas.

El modelo de visibilidad propuesto refleja suficientemente bien la realidad, no obstante podría ser mejorado a través de la inclusión de otros posibles puntos de observación tales como las cotas más altas de

la zona. El cálculo de las cuencas visuales que corresponden a estos puntos de observación podría completar el modelo enriqueciendo la evaluación propuesta en el estudio.

5.5.2. Discusión del modelo general

Con el objeto de poder comparar las alternativas entre sí se ha calculado un indicador de la Utilidad total para cada una de ellas en el territorio. Como resultado, la alternativa que obtiene la mayor utilidad total es la de olivar integrado, lo que refuerza la importancia total de este tipo de alternativa de gestión en la zona de estudio.

No obstante, los SIG nos permiten elegir la mejor alternativa de actuación para cada píxel del territorio basándonos en la comparación de los valores de cada alternativa en cada uno. Así, la Utilidad total del resultado final es mucho mayor que la de cada una de las alternativas por separado.

El resultado final del estudio sugiere una redistribución del suelo que actualmente se encuentran bajo el uso de olivar convencional. El uso de los Sistemas de Información Geográfica junto con el método AHP ha permitido marcar la localización geográfica exacta de cada una de las alternativas de gestión consideradas. Por medio del presente estudio se confirma una vez más el papel imprescindible de los SIG para cualquier estudio relacionado con el territorio.

Destacamos la propuesta de reconversión de una parte importante del olivar convencional al bosque mediterráneo (23 por ciento). Este elevado porcentaje se justifica plenamente por las condiciones ecológicas muy adversas en las cuales se encuentra este olivar actualmente (con pendientes superiores al 15 por ciento y muy prolongadas, suelos pobres, bajas productividades, etc.). Con respecto a esta propuesta hay que comentar que podría ser llevada a cabo sólo con el apoyo público mediante subvenciones. Los agricultores de las zonas seleccionadas para la reconversión al bosque mediterráneo deberían recibir una compensación por parte del sector público (autonómico, nacional o europeo) para implementar esta posibilidad. Siendo así, estos agricultores podrían acogerse a este tipo de ayuda respondiendo así a las demandas de la Sociedad.



Conclusiones

Capítulo VI



VI. CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos en la encuesta a la población de la provincia de Córdoba, de forma agregada, las funciones socioeconómicas y las medioambientales comparten el mismo nivel de importancia, con un peso aproximado del 42 por ciento cada una, y quedando la función de provisión de paisajes culturales con un 15 por ciento. Analizando las funciones de forma individual, la fijación de la población rural (24 por ciento), seguida por la producción de aceite de oliva (18 por ciento), la prevención de incendios (17 por ciento) y la lucha contra la erosión (16 por ciento) son las funciones más importantes. El resto de las funciones consideradas en el estudio obtienen una importancia inferior al 10 por ciento.

Metodológicamente, la utilización del método AHP ha permitido la evaluación cuantitativa de la contribución de los diferentes sistemas de gestión del olivar a las funciones comerciales y no comerciales que la Sociedad asigna a este sistema agrario. Su uso combinado con los SIG ha permitido localizar geográficamente el tipo de gestión que se considera óptima, incluyéndose entre los posibles usos la reconversión de los olivares menos productivos al bosque mediterráneo. Este método no está exento de algunas debilidades, las cuales han sido solventadas en cierta medida por el método del Proceso Analítico de Redes (ANP) en la evaluación concreta del mapa parcial de optimización para la reducción del riesgo de erosión.

A partir de los resultados obtenidos del modelo general de optimización se plantea reconvertir parte del olivar gestionado de forma convencional por otros tipos de gestión (integral o ecológica) o su reconversión al bosque mediterráneo. En concreto, se recomienda la alternativa de reconversión al bosque mediterráneo en las zonas próximas al Parque Natural de la Sierra de Cardena y Montoro y en las proximidades inmediatas de la vegetación existente y de los ríos y arroyos. La alternativa del olivar ecológico se recomienda en las zonas de pendientes acusadas y relativamente bien visibles. La alternativa del olivar integrado en las zonas con pendientes considerables (pero menos acusadas que en el caso del olivar ecológico) con producciones medias-altas y relativamente bien visibles. La subsistencia del uso del olivar convencional se recomienda en las zonas llanas, con altas producciones y en las proximidades de las carreteras (principalmente por su buen comportamiento en la prevención de incendios).

Estos cambios en la estructura de gestión del paisaje del olivar de Montoro conllevarían los siguientes beneficios para la Sociedad:

- Conservación y ampliación del hábitat para la flora y fauna silvestre a través de la implantación de la alternativa de reconversión en bosque mediterráneo.

- Preservación de los suelos contra la erosión a través de la transformación del olivar convencional en una de las tres alternativas de gestión propuestas.
- Prevención de incendios a través del mantenimiento del olivar convencional en las proximidades de las carreteras.
- Provisión de un paisaje más variado y atractivo desde el punto de vista visual.
- Mantenimiento de las producciones del olivar convencional en las zonas más adecuadas.

Si bien la Sociedad en su conjunto se beneficiaría del cambio del sistema de producción convencional de parte del olivar al sistema de producción integrada y al de producción ecológica, así como la reconversión al bosque mediterráneo, el agricultor debe ser remunerado por la provisión de este conjunto de funciones no comerciales de los sistemas agrarios. En efecto, si la PAC propugna la generación de estas externalidades positivas (mejora de la diversidad ecológica, lucha contra la erosión, prevención de incendios y provisión de paisajes culturales), el productor debe ser compensado por la pérdida de ingresos derivada del cumplimiento de estas funciones. Solo de esta forma se podrá garantizar la convivencia de un modelo dual de agricultura europea, uno orientado al mercado y otro, en zonas de mayor valor ecológico y cultural, basado en potenciar estas funciones no comerciales de la agricultura.



Anexos



Anexo 1. Encuesta sobre las funciones que desempeña el olivar andaluz en zonas de montaña

El Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa está realizando un estudio sobre el papel que desempeña el olivar de montaña en Andalucía y cómo el ciudadano percibe su importancia. El siguiente cuestionario, totalmente confidencial, sólo le supondrá unos minutos de su tiempo.

¿Cuál es su grado de conocimiento del medio rural y del olivar andaluz?	Ninguno	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

A continuación le enumeramos una serie de funciones relevantes que desempeña olivar andaluz en zonas de montaña:

1. Función socioeconómica

- 1.1. Producción de aceite de oliva.
- 1.2. Fijación de la población rural.

2. Función medioambiental

- 2.1. Diversidad ecológica.
- 2.2. Lucha contra la erosión.
- 2.3. Prevención de incendios.

3. Función paisajística

Teniendo en cuenta todas estas funciones, ¿podría indicarnos qué importancia relativa debería ser concedida a cada uno de ellas? Para ello comparamos cada una de las funciones por parejas con el fin de que usted indique a cuál de ellas concede más importancia y el grado de intensidad. Los dos ejemplos siguientes muestran cómo se cumplimenta el cuestionario:

EJEMPLO 1: La función **B** es más importante que la A y lo es en grado superior:

Ej_1	Función A	
	Función B	X

<input type="checkbox"/>	La misma importancia	<input type="checkbox"/>	Algo superior	<input checked="" type="checkbox"/>	Superior
--------------------------	----------------------	--------------------------	---------------	-------------------------------------	----------

<input type="checkbox"/>	Muy superior	<input type="checkbox"/>	Preferencia absoluta
--------------------------	--------------	--------------------------	----------------------

EJEMPLO 2: Las dos funciones tienen una **importancia similar**:

Ej_2	Función A	
	Función B	

X	La misma importancia	Algo superior	Superior
---	----------------------	---------------	----------

Muy superior	Preferencia absoluta
--------------	----------------------

A continuación le pedimos que evalúe las diferentes funciones del olivar siguiendo el formato del ejemplo.

FUNCIONES SOCIOECONÓMICAS:

- * Producción de aceite de oliva.
- * Fijación de la población rural.

P1	Producción de aceite de oliva	
	Fijación de la población rural	

La misma importancia	Algo superior	Superior
----------------------	---------------	----------

Muy superior	Preferencia absoluta
--------------	----------------------

FUNCIONES MEDIOAMBIENTALES:

- ❖ Diversidad ecológica.
- ❖ Lucha contra la erosión.
- ❖ Prevención de incendios.

P2	Diversidad ecológica	
	Lucha contra la erosión	

La misma importancia	Algo superior	Superior
----------------------	---------------	----------

Muy superior	Preferencia absoluta
--------------	----------------------

P3	Diversidad ecológica	
	Prevención de incendios	

<input type="checkbox"/>	La misma importancia	<input type="checkbox"/>	Algo superior	<input type="checkbox"/>	Superior
--------------------------	----------------------	--------------------------	---------------	--------------------------	----------

<input type="checkbox"/>	Muy superior	<input type="checkbox"/>	Preferencia absoluta
--------------------------	--------------	--------------------------	----------------------

P4	Lucha contra la erosión	
	Prevención de incendios	

<input type="checkbox"/>	La misma importancia	<input type="checkbox"/>	Algo superior	<input type="checkbox"/>	Superior
--------------------------	----------------------	--------------------------	---------------	--------------------------	----------

<input type="checkbox"/>	Muy superior	<input type="checkbox"/>	Preferencia absoluta
--------------------------	--------------	--------------------------	----------------------

FUNCIÓN PAISAJÍSTICA

Por favor, indique los NÚMEROS de las fotografías que utiliza en las comparaciones:

FOTO A_____

FOTO B_____

FOTO C_____

Indique sus preferencias visuales y la intensidad con que prefiere una foto sobre otra:

P5	FOTO A	
	FOTO B	

<input type="checkbox"/>	Igualmente atractivas	<input type="checkbox"/>	Algo más atractiva	<input type="checkbox"/>	Más atractiva
--------------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------	--------------------------	---------------

<input type="checkbox"/>	Mucho más atractiva	<input type="checkbox"/>	Absolutamente más atractiva
--------------------------	---------------------	--------------------------	-----------------------------

P6	FOTO A	
	FOTO C	

	Igualmente atractivas		Algo más atractiva		Más atractiva
	Mucho más atractiva		Absolutamente más atractiva		

P7	FOTO B	
	FOTO C	

	Igualmente atractivas		Algo más atractiva		Más atractiva
	Mucho más atractiva		Absolutamente más atractiva		

Por último, evalúe por favor de forma **GLOBAL** estas funciones del olivar de montaña:

P8	Funciones socioeconómicas	
	Funciones medioambientales	

	La misma importancia		Algo superior		Superior
	Muy superior		Preferencia absoluta		

P9	Funciones socioeconómicas	
	Función paisajística	

	La misma importancia		Algo superior		Superior
	Muy superior		Preferencia absoluta		

P10	Funciones medioambientales	
	Función paisajística	

<input type="checkbox"/>	La misma importancia	<input type="checkbox"/>	Algo superior	<input type="checkbox"/>	Superior
--------------------------	----------------------	--------------------------	---------------	--------------------------	----------

<input type="checkbox"/>	Muy superior	<input type="checkbox"/>	Preferencia absoluta
--------------------------	--------------	--------------------------	----------------------

DATOS SOCIOECONÓMICOS:

1. Municipio en el que reside habitualmente _____

2. ¿Procede usted del medio rural? Sí No

3. Sexo: Mujer Hombre

4. Situación laboral:

Agricultor o trabajador agrícola	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Empleado por cuenta propia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Empleado por cuenta ajena	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estudiante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desempleado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ama de casa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jubilado/pensionista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros (indicar)	_____	

5. Integrantes de la unidad familiar: N° total de integrantes _____
N° de hijos a su cargo _____

6. Edad:

35 o menos	<input type="checkbox"/>
36-50	<input type="checkbox"/>
51-65	<input type="checkbox"/>
más de 65	<input type="checkbox"/>

7. Nivel de estudios:

Sin estudios

Primarios

Secundarios (BUP, ESO, FP)

Universitarios

8. Renta mensual disponible (suma total de la unidad familiar):

< 600 €	<input type="checkbox"/>
600 - 1.500 €	<input type="checkbox"/>
1.500 - 3.000 €	<input type="checkbox"/>
3.000 - 5.000 €	<input type="checkbox"/>
Más de 5.000 €	<input type="checkbox"/>

Anexo 2. Encuesta sobre análisis de las alternativas de actuación en olivar de montaña

Marque con una X su grado de conocimiento en cada área

¿Cuál es su grado de conocimiento sobre las siguientes funciones del olivar de montaña?	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Producción de aceite de oliva en zonas de olivar de montaña				
Fijación de la población rural en zonas de olivar de montaña				
Mantenimiento de la diversidad ecológica en estas zonas				
Lucha contra la erosión en estas zonas de montaña				
Prevención de incendios en estas zonas olivareras				
Mejora de la calidad visual de paisaje				

Se han considerado las siguientes alternativas de gestión de sistemas de producción posibles en las zonas olivareras de montaña:

- *Abandono de olivar* (abandono de las actividades, a favor de la recuperación del monte mediterráneo y conservación ecológica. Posible uso cinegético).
- Sistema de producción *convencional* en olivar.
- Sistema de producción *integrada* en olivar.
- Sistema de producción *ecológica* en olivar.

Teniendo en cuenta todas estas alternativas de gestión, ¿podría indicarnos su grado de eficiencia para contribuir a cada una de las funciones que aparecen en la tabla inicial? Para ello comparamos las alternativas dos a dos de forma que usted pueda indicar cuál de ellas es más importante y con qué grado de intensidad. A continuación, dos ejemplos muestran cómo se cumplimenta el cuestionario:

Nota: para una mejor visualización desactive el marcador de Word "¶".

EJEMPLO 1: Usted piensa que la alternativa **B** es más importante que la **A** ® por tanto primero señala la función B y después la casilla 5:

P3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

P4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

P5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

P6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

FUNCIÓN DE OLIVAR:

Fijación de la población rural

F1	Abandono de olivar	
	Agricultura convencional	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

F2	Abandono de olivar	
	Agricultura integrada	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9			

F3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9			

F4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9			

F5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9			

F6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9			

FUNCIÓN DE OLIVAR: Mantenimiento de la diversidad ecológica

M1	Abandono de olivar	
	Agricultura convencional	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

M2	Abandono de olivar	
	Agricultura integrada	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

M3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

M4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

M5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

M6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

FUNCIÓN DE OLIVAR:

Lucha contra la erosión

E1	Abandono de olivar	
	Agricultura convencional	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

E2	Abandono de olivar	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

E3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

E4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

E5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

E6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

FUNCIÓN DE OLIVAR:

Prevención de incendios

I1	Abandono de olivar	
	Agricultura convencional	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

I2	Abandono de olivar	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

I3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

I4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

I5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

I6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

FUNCIÓN:

Mejora de la calidad visual de paisaje

K1	Abandono de olivar	
	Agricultura convencional	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

K2	Abandono de olivar	
	Agricultura integrada	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

K3	Abandono de olivar	
	Agricultura ecológica	

<input type="text"/> 1	<input type="text"/> 2	<input type="text"/> 3	<input type="text"/> 4	<input type="text"/> 5
<input type="text"/> 6	<input type="text"/> 7	<input type="text"/> 8	<input type="text"/> 9	

K4	Agricultura convencional	
	Agricultura integrada	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

K5	Agricultura convencional	
	Agricultura ecológica	

1 2 3 4 5

6 7 8 9

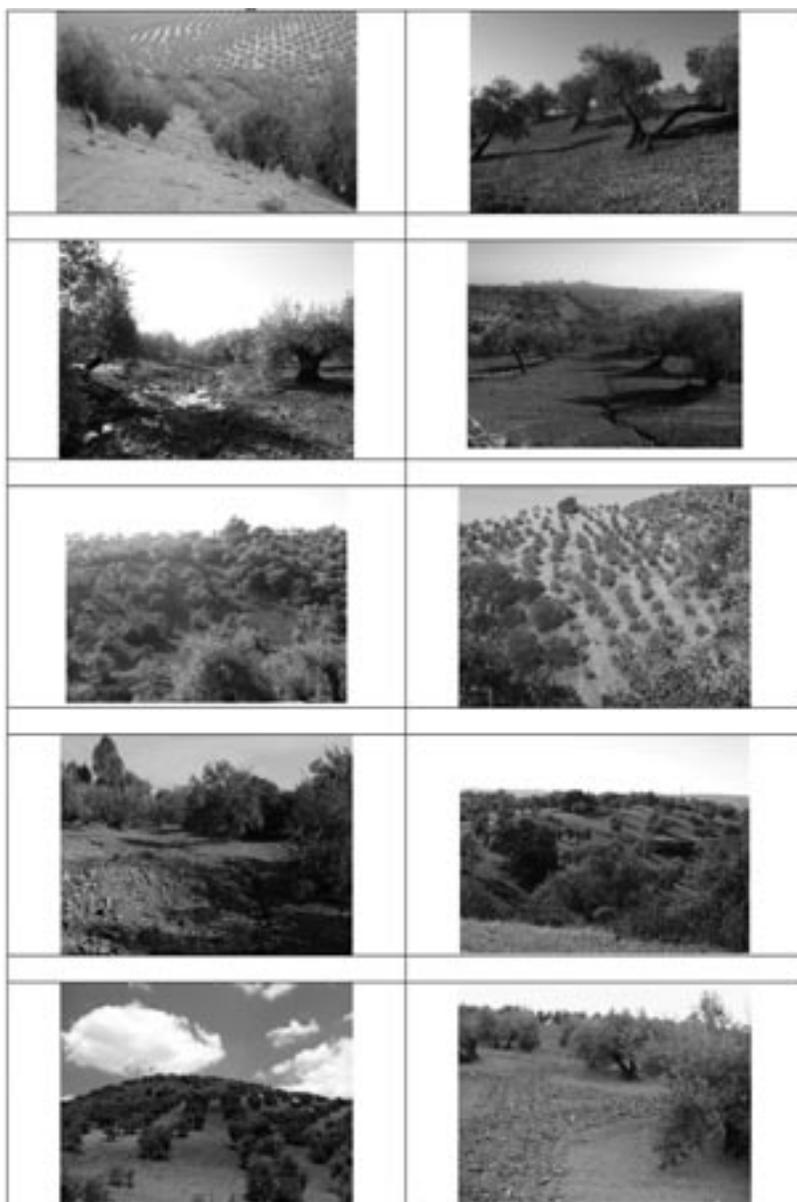
K6	Agricultura integrada	
	Agricultura ecológica	

1 2 3 4 5

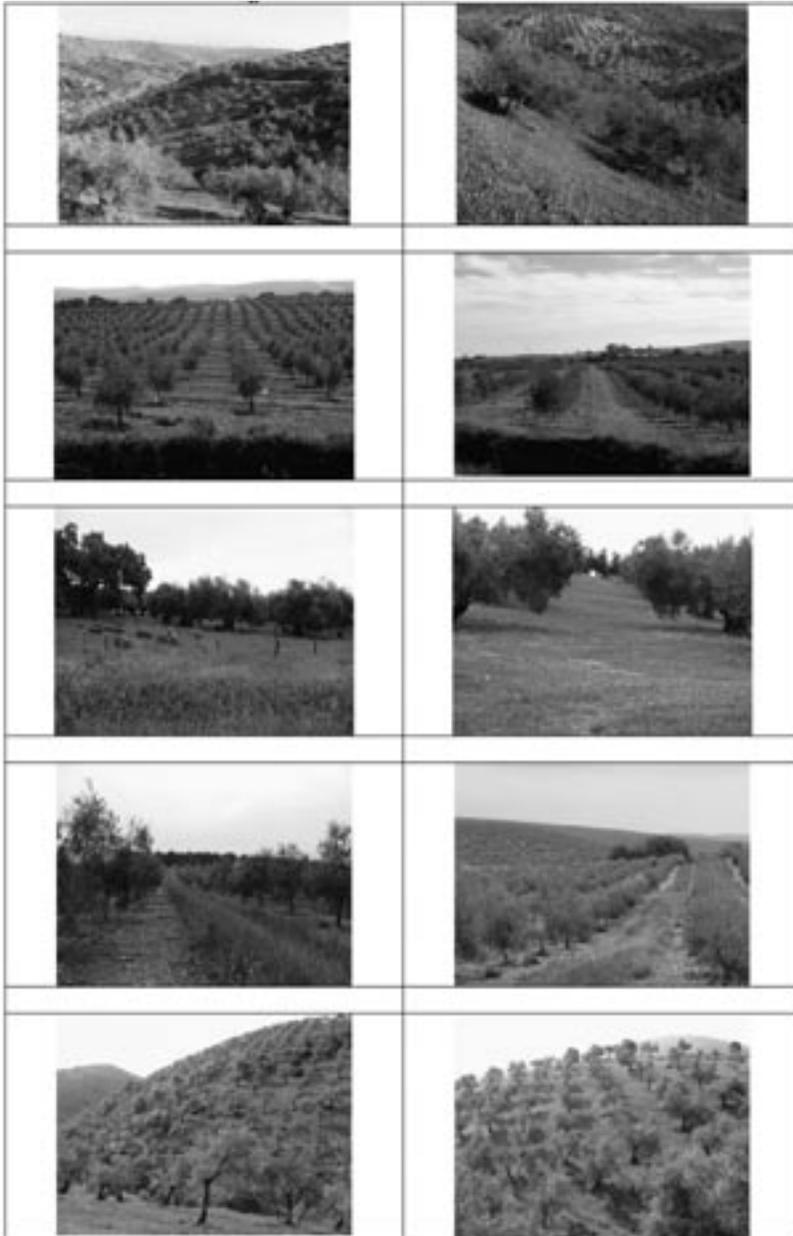
6 7 8 9

Anexo 3. Fotografías de alternativas de gestión del olivar

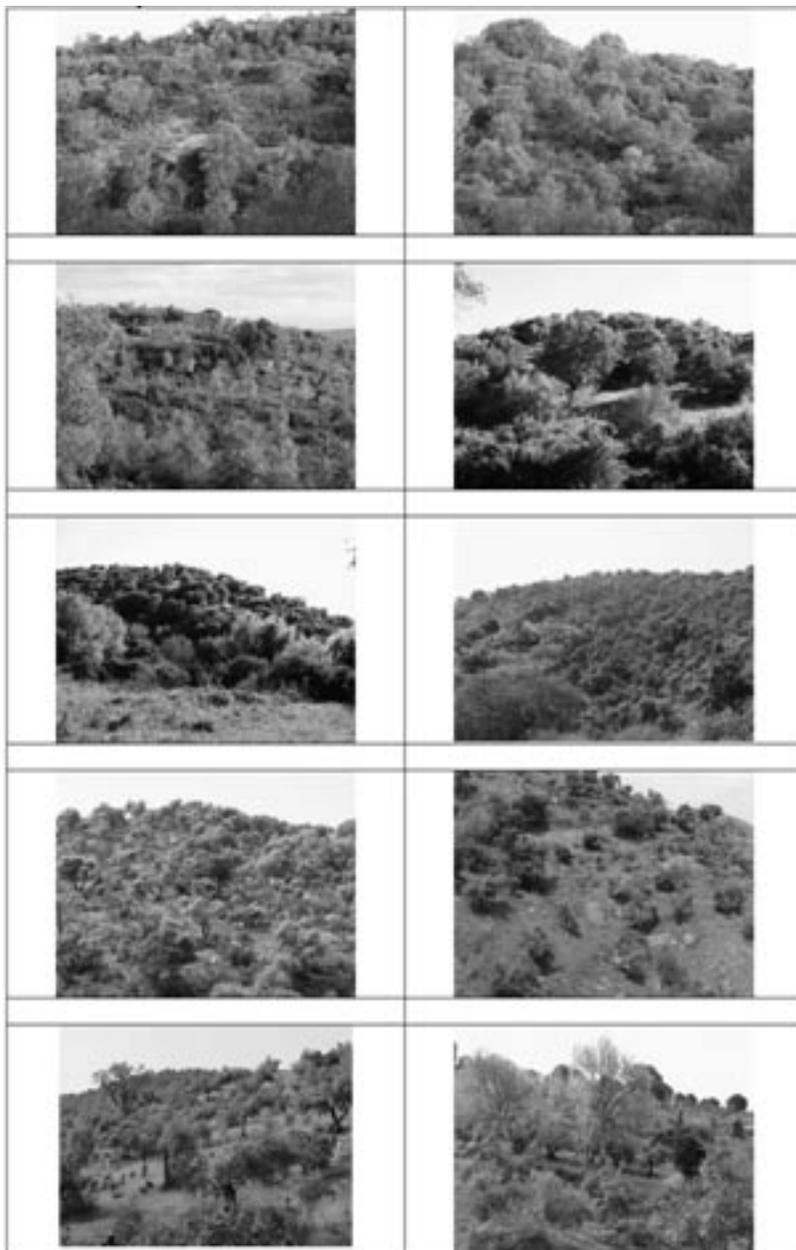
A. Olivar sin cubierta vegetal



B. Olivar con cubierta vegetal



C. Olivar no productivo



Anexo 4. Ejemplo del cuestionario ANP para el modelo de erosión

Ejemplo del cuestionario ANP de comparaciones por pareja

Teniendo en mente la evaluación de riesgo de erosión considerando que “**presencia/ausencia de una cubierta vegetal**” es “**con cubierta vegetal**” cual de los factores es más importante:

AP1	Potencial de las lluvias (RRP)	X
	Longitud de las pendientes (SL)	

<input type="checkbox"/>					
1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/>					
6	7	8	9		

AP2	Potencial de las lluvias (RRP)	
	Ángulo de las pendientes (SS)	

<input type="checkbox"/>					
1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/>					
6	7	8	9		

AP3	Potencial de las lluvias (RRP)	
	Erodabilidad de los suelos (SE)	

<input type="checkbox"/>					
1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/>					
6	7	8	9		

AP4	Longitud de las pendientes (SL)	
	Ángulo de las pendientes (SS)	

<input type="checkbox"/>					
1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/>					
6	7	8	9		

AP5	Longitud de las pendientes (SL)	
	Erodabilidad de los suelos (SE)	

<input type="text"/>					
<input type="text"/>					

AP6	Ángulo de las pendientes (SS)	
	Erodabilidad de los suelos (SE)	

<input type="text"/>					
<input type="text"/>					

	RRP	SL	SS	SE	Pesos
RRP	1	2	1	2	0,3333
SL	1/2	1	1/2	1	0,1667
SS	1	2	1	2	0,3333
SE	1/2	1	1/2	1	0,1667

λ_{max} : 4.0000

CI = $(\lambda_{max}-n) / (n-1) = 14803e-016$

CR = CI/RI = 16633e-016 (menos de 0,1)



Apéndices



APÉNDICE 1. Fundamentación teórica del método AHP

1.1. Conceptos básicos

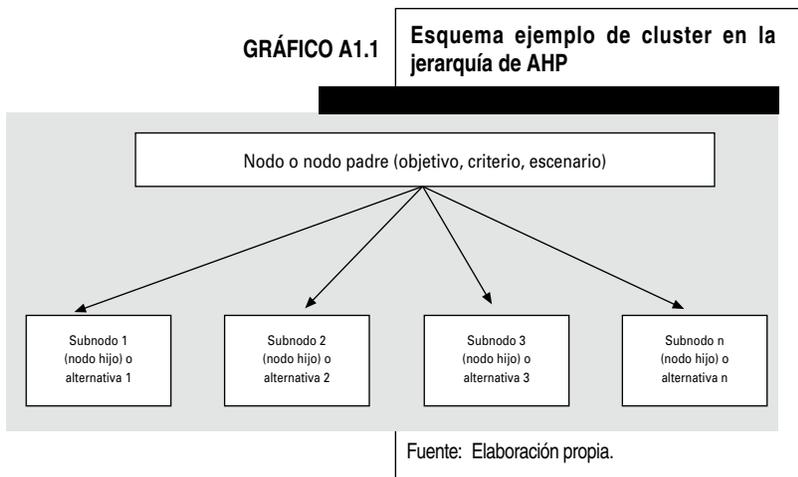
Los conceptos básicos del método AHP son: problema, alternativas, objetivos, criterios y atributos. Según Arrow y Raynaud (1989) y Romero (1993) podemos definirlos como:

- **Problema:** Es una brecha entre una situación actual y una situación deseada. Su detección puede desencadenar el proceso de resolución o mejora del mismo.
- **Alternativa:** Representa una posibilidad de decisión. Es una opción o posible curso de acción que puede ser la solución al problema. Las alternativas deben ser evaluadas y comparadas unas con otras respecto a cada objetivo de nivel más bajo en la jerarquía del problema multicriterio. Se exige que las alternativas sean mutuamente excluyentes.
- **Criterio:** Es una regla o canon para discernir una cosa de otra. A partir de los mismos se compararán las diferentes alternativas. Los criterios sirven para medir el nivel de logro de los objetivos.
- **Objetivo:** Es un criterio al que se le asigna una dirección de mejora. El grado de cumplimiento o satisfacción de los objetivos por parte de las diferentes alternativas servirá para seleccionar la mejor y ordenarlas. Un objetivo normalmente se suele descomponer en subobjetivos. Según Forman y Selly (2001, p. 109) en la práctica de los estudios con los métodos multicriterio el concepto de objetivo y criterio se usan en paralelo, a veces sustituyendo uno por otro. Aunque Forman y Selly (2001) recomiendan el uso del término objetivo, dado que las decisiones racionales se hacen en función de éstos.
- **Atributo:** Es una característica, propiedad o cualidad de una alternativa. Puede hacer referencia a un aspecto cuantitativo o cualitativo de la alternativa. Además, un atributo puede ser objetivo o subjetivo, en función de que sea independiente de las ideas de las personas implicadas en la toma de decisión o no, respectivamente.

1.2. La estructura jerárquica del método AHP

El modelo jerárquico propuesto por Saaty (1980) consiste como mínimo en tres niveles de jerarquía: objetivo general o meta, objetivos específicos y

alternativas. Debido a la complejidad de la estructura jerárquica del modelo de optimización general es necesario definir los siguientes componentes de la jerarquía: nodo, nivel de la estructura jerárquica y cluster. Definimos estos conceptos a través del gráfico A1.1:



Para la construcción de la jerarquía del modelo de la toma de decisión en AHP se pueden seguir dos procedimientos:

1. Una **estructuración de arriba abajo**. En este caso se fijan los objetivos superiores o más generales y a partir de ellos se fijan los objetivos de los niveles inferiores. Este enfoque es el más adecuado cuando se tiene un conocimiento más profundo de las metas y objetivos estratégicos que se pretenden alcanzar. La fijación de los objetivos superiores guía la elaboración de subobjetivos de niveles inferiores. Al llegar al nivel más bajo representado por las alternativas, la fijación de los objetivos superiores puede servir para preseleccionarlas.
2. Una **estructuración de abajo arriba**. Este procedimiento es el más adecuado en problemas cuando se posee un conocimiento más profundo de las diferentes alternativas, de sus atributos y características que de los objetivos que se deben alcanzar. La elaboración del modelo comienza por la definición de las alternativas y de sus cualidades. Luego se fijan los objetivos de los niveles inferiores de la jerarquía, que suelen ser muy específicos ya que están muy relacionados con atributos muy particulares de las alternativas. En niveles superiores se realiza una agrupación de los objetivos específicos en los objetivos generales, hasta llegar al objetivo general o meta del modelo jerárquico AHP.

I.3. Los axiomas fundamentales de AHP

El método AHP se basa en tres pilares teóricos (Saaty, 1994):

- Descomposición de un problema complejo en una jerarquía de nodos y subnodos;
- Juicios comparativos. Se refiere a la consideración de las comparaciones por pareja de entre todos los elementos de cada nodo;
- La composición jerárquica o síntesis de las prioridades. Este principio se aplica a la hora del cálculo de los pesos globales de los objetivos de nivel más bajo. Este cálculo se realiza a través de la multiplicación de los pesos correspondientes entre objetivo nodo padre y nodo hijo;

Estos pilares fundamentales de AHP se basan en axiomas (Forman y Selly, 2001). Originalmente han sido propuestos tres axiomas de AHP, pero posteriormente Saaty (2000) ha añadido un cuarto.

El **Primer axioma** se refiere a la reciprocidad: Esto quiere decir que si $U_k(F_i, F_j)$ es una comparación por pareja entre alternativa i y j con respecto a la alternativa k , entonces lo cierto es que:

$$U_k(F_j, F_i) = 1/U_k(F_i, F_j).$$

En un lenguaje coloquial sería: si la alternativa A es 3 veces preferida por la alternativa K con respecto al objetivo C, debe ser cierto que la alternativa K es 1/3 preferida por la alternativa A.

Este axioma permite la construcción de matrices que cumplan con la condición de reciprocidad, de las cuales luego se derivan los pesos normalizado de cada objetivo, subobjetivo y alternativas.

El segundo es el **Axioma de homogeneidad**: Los objetivos del mismo nivel de la estructura jerárquica no deben tener grandes diferencias en el orden de magnitud, por el contrario los juicios emitidos tendrán una tendencia al error elevada. Forman y Selly (2001) precisan que los objetivos del mismo nivel no deben superar uno a otro más que en 9 veces. Este axioma se ha de tener en cuenta a la hora de la construcción de la estructura jerárquica del problema de la toma de decisión.

El tercer **Axioma** es el de **la no dependencia**: Establece que los objetivos de nivel más alto no dependen de sus subobjetivos, o que las alternativas no dependen de los subobjetivos de nivel más bajo. Al respecto, Forman y

Selly (2001) y Saaty (2000) exigen una revisión minuciosa de este axioma en la aplicación de los casos prácticos, ya que muchas veces se viola este principio. Según apuntan estos autores, en el mundo real es frecuente cuando la preferencia de una alternativa sobre otra depende de los pesos que tienen los subcriterios de nivel más bajo. Este fenómeno suele llamarse como *retroalimentación* (feedback). Para neutralizar este fenómeno Saaty (2005) propone una modificación del AHP y lo denomina ANP (Analytic Network Process) *Proceso Analítico de Redes*. La aplicación de ANP se basa en la resolución de supermatrices..

Por otro lado Forman y Selly (2001) proponen un procedimiento más sencillo, que consiste en la resolución del modelo AHP de abajo arriba. Al comenzar la resolución del problema multicriterio por la comparación de las alternativas con respeto a cada subobjetivo de nivel más bajo, continuando con la comparación de los subobjetivos de nodo hijos entre sí, seguido por la comparación de nodos padres entre sí, y llegando así hasta el objetivo general, se evita la retroalimentación.

En el caso de nuestro estudio sobre los paisajes de olivar de montaña a la hora de realizar entrevistas a las personas hemos seguido la metodología de abajo-arriba para evitar la posible retroalimentación entre los niveles.

El cuarto **Axioma** es la **comprobación o confirmación** de las prioridades y pesos derivados de las comparaciones por pareja. Este axioma sólo se aplica a los juicios emitidos por los expertos en el problema. Estos últimos deben verificar que sus ideas y conocimientos están correctamente reflejados después de la derivación de pesos de comparaciones por pareja realizados por ellos anteriormente. El axioma ha sido añadido por Saaty posteriormente, a la vista de amplias aplicaciones del método en diferentes campos y está destinado a prevenir el uso inapropiado del método.

Una vez definidos los conceptos básicos del método AHP vamos a exponer el algoritmo de aplicación del método. En este sentido cabe destacar que AHP comparte la mayoría de las etapas de su aplicación con otros métodos multicriterio derivados de la familia de la Teoría de Utilidad, dado que todos ellos tienen la misma naturaleza.

1.4. Pasos de ejecución del método

Forman y Selly (2001) proponen un algoritmo de *siete pasos* para la resolución de un problema de elección a través de AHP:

Paso 1: *Investigación y definición del problema de decisión*. Aquí se define el problema de decisión, se elabora el objetivo general de la resolución del problema, subobjetivos, criterios y posibles alternativas.

- Paso 2: *Eliminación de las alternativas no factibles.* Durante esta etapa se analizan todas alternativas propuestas durante la etapa anterior, y se eliminan aquellas que no cumplen los requisitos exigidos.
- Paso 3: *Estructuración del modelo de decisión en jerarquía.* En esta etapa se construye una estructura jerárquica que abarca el objetivo general o meta, los objetivos de nivel más bajo, los subobjetivos y las alternativas. Si es necesario se tienen en cuenta diferentes actores del proceso de la toma de decisión, y/o diferentes escenarios.
- Paso 4: *Evaluación de los componentes del modelo a través de sus relativas comparaciones por pareja.* Esta etapa es la que distingue el método AHP de los demás métodos multicriterio. Durante este paso se realiza la comparación por pareja entre diferentes objetivos del mismo nivel con respecto al objetivo del nivel superior.
- Paso 5: *Síntesis para la identificación de la mejor alternativa.* En esta fase se hace el cálculo que permite derivar ranking y ratio de cada alternativa. Esta etapa es similar en todos métodos multicriterio que se derivan de la MAUT, no obstante AHP tiene sus diferencias. Actualmente se conocen dos variedades de este cálculo para el método AHP: función aditiva y función multiplicativa.
- Paso 6: *Evaluación y comprobación el ranking de las alternativas.* Al obtener resultados es necesario realizar un análisis de sensibilidad. Si la alternativa mejor puntuada contradice a la lógica o intuición del analista y/o es sensible a los cambios en los pesos de los objetivos, es recomendable retroceder una o varias etapas en el proceso de la toma de decisión y revisar el modelo. Este proceso se repite hasta que la lógica e intuición del analista están de acuerdo con la solución del modelo.
- Paso 7: *Documentación y presentación de informes sobre la solución hallada para la justificación y el control.* Es la última etapa del proceso de la toma de decisión, y por esto es común para todas las investigaciones. La publicación y aplicación de los resultados es imprescindible.

1.5. Algoritmo matemático para el cálculo de los pesos de los objetivos

La característica específica del método AHP consiste en un procedimiento indirecto para el cálculo de los pesos de los objetivos del mismo cluster. Además AHP no desarrolla ninguna escala de valoración directa de los objetivos, sino que los pesos se derivan de las comparaciones por pareja de

todos los objetivos del mismo cluster con respecto a un objetivo de nivel más alto (nodo padre). A continuación vamos a exponer la base matemática y el algoritmo clásico de cálculo de los pesos de los diferentes objetivos a través de comparaciones por pareja propuestas por Saaty (1980, 2000).

Suponemos que hay n objetivos para la resolución de un problema de toma de decisión y todos se encuentran en el mismo nivel (estructura jerárquica simple). El encargado de tomar la decisión emite una serie de juicios en forma de comparaciones por pareja de todas las posibles combinaciones de objetivos. A partir de estos juicios emitidos se puede generar una matriz A , llamada "matriz de Saaty":

$$\begin{pmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{pmatrix}$$

donde, a_{ij} es un valor numérico de la comparación entre dos objetivos según la escala de la valoración propuesta por Saaty.

La matriz de Saaty tiene una serie de propiedades que son la consecuencia lógica de aplicación del método:

- Es cuadrada de orden n ;
- Todos los elementos de su diagonal tienen el valor 1;
- Es recíproca ($a_{ij}=1/a_{ji}$);

Con el objetivo de continuar el cálculo de los pesos de objetivos vamos a suponer que ya se conocen y tienen valor w_n para objetivo n o valor w_1 para objetivo 1. En este caso: $a_{11}=w_1/w_1$; $a_{nn}=w_n/w_n$. De esta manera se puede expresar la matriz de Saaty para nuestro caso teórico de la siguiente manera:

$$A = \begin{pmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{pmatrix}$$

Dado que ésta matriz A es la misma que la matriz anterior, lógicamente mantiene las mismas propiedades. Para continuar con la explicación tenemos que suponer que esta matriz teórica es totalmente consistente. Al decir totalmente consistente se refiere a que cumpla la siguiente condición: $a_{ik} \times a_{kj} = w_i/w_k \times w_k/w_j = w_i/w_j = a_{ij}$ para todo i, j y k .

Con el objetivo de encontrar el vector de los pesos ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) utilizando las comparaciones por pareja ($a_{ij}=w_i/w_j$) calculamos el producto de la matriz A con el vector de los pesos (w) y obtenemos la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \dots \\ nw_n \end{pmatrix}$$

En el lenguaje del álgebra matricial sería: $[A_{(i,j)}] \times [W_{(1,j)}] = [nW_{(1,j)}]$

El problema a resolver consiste en encontrar el vector de los pesos (w) a partir de la matriz A. Este tipo de problema es común en la ingeniería y la física y se denomina *problema de la resolución no-cero del vector/valor principal (nonzero solution of the eigenvector/eigenvalue problem)*. A pesar de la existencia de otros métodos para la resolución de este tipo de problemas Saaty y Hu (1998) y Saaty (2003) insisten en la aplicación del método de vector principal por la derecha. La resolución de este problema se realiza a través del sistema de ecuaciones de orden n igualados a uno.

Al obtener los pesos de todos los objetivos del mismo cluster se comprueba que están normalizados (suman a 1):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Dado que la resolución de este tipo de sistema de ecuaciones es compleja se ha utilizado la plataforma de MATLAB con la extensión gratuita de Michael J. Scott que proporciona el cálculo completo del modelo AHP.

1.6.Verificación de la consistencia de la matriz de Saaty

En el apartado anterior hemos representado el caso teórico de la matriz de Saaty. Como se ha comentado antes, hemos supuesto, que la matriz es totalmente consistente. No obstante en la vida real la consistencia completa se observa raras veces dado que la realidad es muchas veces inconsistente por sí misma. Por lo tanto Saaty (1980) ha propuesto replantear el problema de valor principal (*eigenvalue problem*) para el caso de las matrices inconsistentes de la siguiente forma:

$$[A] \times [W] = \lambda_{\max}[W],$$

donde, λ_{\max} es el máximo valor de vector principal de la matriz A y pesos W es su correspondiente vector principal por la derecha. Este valor se acerca a n (normalmente es igual o más grande que n), y otros λ se acercan a cero. A medida que el valor λ_{\max} se aproxima al valor n crece la consistencia de la matriz de las comparaciones por pareja A. Así, la diferencia $\lambda_{\max} - n$ puede ser utilizada como el medidor de la inconsistencia (esta diferencia sería cero para una matriz totalmente consistente). Sin embargo, Saaty (1980, 2000 y 2003) ha definido otro indicador llamado el Índice de Consistencia (*Consistency Index, CI*). Si definimos que, $a_{ij} = (w_i / w_j)^{d_{ij}}$ entonces tenemos:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = -1 + \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \left[d_{ij} + \frac{1}{d_{ij}} \right],$$

donde CI se interpreta como la inconsistencia media acumulada de la matriz. Después de calcular este índice para una matriz concreta Saaty (1980, 2000) propone compararlo con el Índice Aleatorio (*Random Index, RI*). RI ha sido calculado por Saaty para matrices aleatorias cuadradas de orden entre 1 y 15. El índice aleatorio se ha obtenido del conjunto de las matrices que verifican la reciprocidad generadas aleatoriamente, conservando la escala de 1 a 9. De este modo, para la matriz de orden n se ha generado un conjunto de matrices aleatorias y se ha calculado CI para cada una de ellas:

CUADRO AI.1		Valores del índice aleatorio (RI)									
Orden de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Random Index (RI)	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	
Orden de la matriz (n)	11	12	13	14	15						
Random Index (RI)	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59						

Fuente: Saaty, 2003 y Xu, 2000.

De esta manera se introduce el concepto de Ratio de Consistencia (*Consistency Ratio, CR*): $CR = CI / RI$

Saaty (1980, 2000 y 2003) y Saaty *et al.* (2003) recomienda que: $CR < 0,1$. Esto implica que la inconsistencia de la respuesta no debe superar el 10 por ciento. El grado de inconsistencia menor al 10 por ciento se considera como normal para una persona. Por tanto la teoría de AHP no reclama la consistencia completa. No obstante esta recomendación es muy discutida por diferentes autores. En el día de hoy continúa la discusión sobre esta cuestión. Algunos autores proponen saltar el indicador de ratio de consistencia y considerar todas las respuestas (Apostolou y Hassell, 1993; Aull-Hyde, *et al.*, 2006). Otros (Chu y Liu, 2002), no obstante, continúan defendiéndolo

apuntando que, por estricto que sea, de momento es el único sistema que permite diferenciar entre las respuestas consistentes y las realizadas al azar. Volveremos a esta cuestión en el apartado “Toma de las decisiones en grupo” donde se discutirán las posibles causas de alto ratio de consistencia (CR).

1.7. Síntesis para la identificación de la mejor alternativa

Al realizar ésta etapa el método AHP nos ofrecerá un ranking y puntuación de las alternativas escogidas.

Una vez calculados los pesos para todos los niveles de la jerarquía del modelo es necesario realizar una valoración de las alternativas escogidas con respecto a cada objetivo de nivel más bajo. Con el objetivo de realizar esta evaluación continuamos con el procedimiento reglamentario del método AHP: agregación de las matrices de comparaciones por pareja entre todas las alternativas. De las matrices de comparación por pareja entre todas las alternativas se derivan los pesos correspondientes de cada alternativa al respeto de cada objetivo de nivel más bajo. La derivación de los pesos se realiza a través del método de vector principal por la derecha que hemos comentado anteriormente.

Para el cálculo del ranking final de las alternativas existen varios procedimientos. El procedimiento clásico propuesto por Saaty (1980) se denomina “AHP aditivo” y se calcula por la siguiente expresión:

$$V_i = \sum_{j=1}^{i=m} w_j U_j$$

donde, V_i representa el peso final de cada alternativa; w_j representa pesos globales normalizados de los objetivos de nivel más bajo; U_j representa los pesos de las alternativas respecto a cada objetivo de nivel más bajo;

No obstante, este procedimiento ha sido criticado por el fenómeno de “cambio en ranking” (*rank reversal*) que se produce a veces al añadir o quitar una de las alternativas. Barzilai y Golani (1994); Barzilai y Lootsman (1997) y Triantaphyllou (2001) han propuesto funciones multiplicativas para evitar el cambio en ranking de las alternativas. Para realizar el cálculo final de AHP a través de la función multiplicativa es necesario suponer la existencia de funciones de utilidad de carácter multiplicativo. Aunque se han propuesto varias funciones multiplicativas para el cálculo de ranking de las alternativas en AHP (Lootsman, 1993; Ramanathan, 1997), aquí se expone una propuesta por Stam y Duarte (2003):

$$V_i = \prod_{j=1}^{i=m} (U_j)^{w_j}$$

A la vista de los argumentos expuestos en el trabajo de Saaty (2005, p. 19) sobre el uso de la función multiplicativa para el cálculo de los pesos de las alternativas, optamos por descartar su uso hasta que se resuelva la controversia encontrada.

Una vez aclarada la cuestión del cálculo del ranking de las alternativas, nos queda aclarar el procedimiento para el cálculo de los pesos globales normalizados. Si la estructura jerárquica del modelo es sencilla y sólo tiene tres niveles, entonces los pesos de los objetivos de segundo nivel coinciden con los pesos globales y no es necesaria su normalización ya que están normalizados. No obstante si el modelo tiene más de tres niveles, como en nuestro caso, el cálculo de los pesos globales es necesario. Este cálculo se realiza a través de la multiplicación de los pesos nodo padre y nodo hijo a través de toda la estructura jerárquica:

$$W_g = \prod_{i=1}^{i=m} w_i$$

donde W_g representa los pesos globales para cada objetivo de nivel más bajo; w_i representa los pesos de los diferentes niveles de nodos padres e hijos en la jerarquía; m corresponde al número de pesos que se multiplican entre sí.

1.8. Análisis de sensibilidad

Una vez obtenido el ranking de las alternativas y sus pesos es importante realizar un análisis de sensibilidad de la solución. La necesidad de realización de este tipo de análisis se debe a que los juicios expresados son siempre subjetivos, dado que contienen cierto grado de incertidumbre.

Por la sensibilidad de solución se comprende un análisis ex-post de cómo cambiarían los pesos de las alternativas si cambiasen los pesos de los objetivos. El análisis de sensibilidad consiste en tres partes:

1. Análisis de estabilidad;
2. Análisis de robustez;
3. Análisis de validez.

- Análisis de estabilidad

Este tipo de análisis se realiza para ver cómo afecta a los resultados obtenidos los cambios en los juicios de las personas que toman la decisión. Hay dos maneras de realizar este análisis: ver como cambian los resultados obtenidos si cambiamos sólo el peso de un objetivo local (Forman y Selly, 2001); y ver cómo afecta a los resultados si se cambian los juicios y como

consecuencia los pesos en todos los *clusters* del modelo (Mészáros y Rapcsák, 1996). Para el análisis de estabilidad de segundo tipo se hacen variar los pesos de los objetivos y alternativas con respecto a cada objetivo dentro de un intervalo cercano al juicio medio expresado por la población y expertos entrevistados. Este procedimiento tiene mucho en común con la lógica difusa (*fuzzy logic*) y la propuesta de su aplicación junto con AHP (Sugihara *et al.*, 1999).

- Análisis de robustez

Nos permite determinar cómo afecta a los resultados una ligera modificación de la estructura jerárquica del modelo Ekárt and Németh (2005). Por ejemplo, si se elimina alguna rama de la jerarquía poco importante o conflictiva.

- Análisis de validez

Para validar los resultados obtenidos a través del modelo AHP se propone compararlos con el resultado obtenido por otro método.

1.9. Toma de decisiones en grupo

Como se ha comentado antes la técnica AHP inicialmente ha sido elaborada para la toma de decisiones individuales. Pero debido a la facilidad para realizar las valoraciones de diferentes aspectos del problema, pronto se ha extendido a la toma de las decisiones en grupos (Aczel y Saaty, 1983; Dyer y Forman, 1992; Ramanathan y Ganesh, 1994; Gass y Rapcsák 1998 y 2004; Lai *et al.*, 2002). La extensión del método AHP a la toma de decisión en grupos se ha debido a que en muchos casos es preferible que las decisiones no se tomen por un solo individuo, sino por un grupo de ellos.

Al convertirse AHP en una técnica de la toma de decisiones en grupo se han propuesto varias maneras de agregar los juicios de las personas implicadas en el proceso de la toma de decisión:

- El primer tipo de procedimiento es común para todos los métodos multicriterio y consiste en reunir a todas las personas que tienen derecho de opinión en el caso concreto del problema. Después cada una de las personas expresa su juicio, y a continuación el experto en la técnica tiene que forzar un acuerdo entre todas las personas implicadas en el proceso. Este procedimiento se puede realizar sólo con grupos pequeños, dado que a medida que crece el grupo de personas implicadas en el proceso de la toma de decisión, se disminuye la posibilidad de llegar a un acuerdo entre todos (Dyer y Forman, 1992). Este método es el más antiguo que se aplica para toma de decisiones en grupo y tiene sus raíces en el método *Delphi*.

- Agregación de los juicios individuales (*Aggregation of Individual Judgments*) para cada comparación por pareja en “una jerarquía agregada”. Este procedimiento y los que se describen a continuación son específicos para el método AHP y se realizan a través de las entrevistas personales.
- Procesamiento de cada una de las jerarquías individuales con la posterior agregación de las prioridades individuales resultantes (*Aggregation of Individual Priorities*).
- Agregación de las prioridades individuales de cada nodo en la jerarquía.

La aplicación del cuarto procedimiento es menos eficaz y por eso menos usada (Forman y Piniwati, 1998). Según Forman y Peniwati (1998), antes de elegir el método de agregación de los juicios de diferentes agentes, hay que saber si ellos van a actuar como una unidad sintética, o como varios individuos separados. En primer caso sugieren el uso de agregación de los juicios individuales (AIJ), y para el segundo caso el uso de agregación de las prioridades individuales (AIP). Además esto autores indican el uso de AIP como obligatorio cuando se da el caso de que los entrevistados realizan la evaluación a través de diferentes sistemas de valoración, lo que lógicamente hace imposible el uso de AIJ dadas las diferencias entre los métodos de valoración usados.

Para el caso de agregación de los juicios individuales (AIJ) Aczél y Saaty (1983), Aczel y Alsina (1986) y Forman y Peniwati (1998) sugieren el uso de la media geométrica:

$$G_k = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i^{n_p}}$$

Estos autores defienden que la utilización de la media geométrica para la AIJ es mucho más consistente que el uso de la media aritmética.

Por otro lado para agregar las prioridades individuales (AIP) Forman y Selly (2001) sugieren dos posibilidades: uso de la media geométrica y uso de la media aritmética, indicando la consistencia de ambos para este caso.

Las situaciones anteriores no tenían en cuenta que los diferentes individuos pueden tener distinta importancia en el proceso de la toma de decisión. En este caso Saaty (1994), Forman y Peniwati (1998), Forman y Selly (2001) apuntan el uso de la media geométrica ponderada para AIJ y AIP o media aritmética ponderada para AIP.

Se han de mencionar las críticas realizadas por Ramanathan y Ganesh (1994) al procedimiento de AIJ y a la utilización de la media geométrica en AIP. Estos autores reclamaron la violación del principio de Pareto por AIJ y el uso de la media geométrica. No obstante Van Den Honert y Lootsma (1996) y Forman y Peniwati (1998) han respondido adecuadamente en la defensa de la utilización de AIJ y de la media geométrica.

Las causas de la alta inconsistencia pueden ser las siguientes (Forman y Selly, 2001, p.47):

- Error durante la introducción de los datos en el ordenador;
- La falta de información y/o el desconocimiento del tema por el encuestado puede condicionar las respuestas al azar;
- La falta de concentración por parte del encuestado, provocada normalmente por la amplitud de la entrevista lo que provoca cansancio y falta de interés en el tema;
- La estructura inadecuada del modelo jerárquico. Esto ocurre a veces al comparar los objetivos de magnitudes muy diferentes;
- La inconsistencia del mundo real.

Expuestas las causas de la inconsistencia de los juicios individuales, metafóricamente, hay que multiplicarlas por la cantidad de personas involucradas en el proceso de decisión. Para aclarar este aspecto hay que decir que las publicaciones en este sentido son muy escasas. En esta línea Xu (2000) indica que la consistencia de la matriz agregada solo se consigue si las matrices que la componen son consistentes o tienen un grado de consistencia aceptable.

Por otra parte Aull-Hyde *et al.* (2006) realizaron una simulación para las matrices de Saaty con el orden de 3, 4, 5 y 6 simulando las respuestas aleatorias de grupos con diferente cantidad de individuos. Los resultados conseguidos por estos autores indican que al aumentar la cantidad de las matrices simuladas al azar que se agregan en una sola matriz a través de la media geométrica, se disminuye la Ratio de Consistencia de la última, lo cual implica mayor grado de consistencia. Según esto, agregando una cantidad suficientemente grande de las matrices aleatorias e inconsistentes se consigue una matriz agregada consistente.

En el presente estudio hemos seguido el criterio clásico propuesto por Saaty (1980, y 2000) y confirmado por Xu (2000), Forman, Selly (2001) y Chu y Liu (2002): se aplica la metodología de agregación de AIJ a través de la media geométrica con la posterior comprobación de la consistencia de esta nueva matriz agregada.

APÉNDICE 2. Software y procedimientos aplicados en los SIG

2.1. Componentes de los Sistemas de Información Geográfica

Por bases espaciales y temáticas se comprenden aquellas bases de datos espacial y temática donde se guardan los objetos de la cartografía con sus características (posición, tamaño, forma, atributos). Dependiendo del software, pueden ser utilizadas las bases de datos externas como Dbase y Access.

Por sistema gestor de bases de datos se comprende aquel software utilizado para realizar operaciones con una base de datos espacial. Las operaciones clásicas que se realizan con una base de datos espacial son las siguientes: introducción de datos en formato de tablas, establecimiento de relaciones entre diferentes tablas y edición de nuevas tablas con los resultados del análisis.

Por sistema de análisis espacial se comprende un sistema que permite relacionar datos espaciales, en función de algún criterio, para la obtención de una cartografía nueva que represente dicha relación establecida.

Por un sistema de representación cartográfica se comprende la habilidad de un SIG para representar cartográficamente los datos almacenados en la base de datos espacial y/o representar los resultados del análisis realizado. La mayoría de los SIG tienen un redactor de mapas para ser impresos por impresora o plotter. Los mapas compuestos pueden contener tablas y gráficos de los datos analizados.

Un equipo (hardware) es normalmente un ordenador personal o un servidor informático dependiendo de la magnitud de proyecto SIG y de la cantidad de los datos necesarios para procesar.

La información cartográfica incluida en un SIG en forma de mapas representa un modelo simplificado del mundo real. La mayoría de los SIG actuales tienen dos formas de almacenar y representar el mundo real: el modelo vectorial y el modelo raster. A continuación se procede a definir y explicar las diferencias entre estos dos modos de representación de los datos geográficos.

Es necesario mencionar que no existe ninguna regla estricta para utilizar, en un proyecto de SIG, uno u otro modelo de representación de los datos. Simplemente existen ciertas recomendaciones que se comentarán más adelante.

El modelo de SIG vectorial consiste en la representación de objetos del mundo real a través de puntos, líneas y polígonos. Se registran solamente coordenadas geográficas de fronteras entre objetos reales. En un principio parece proporcionar una información precisa sobre la localización de objetos, no obstante siempre hay que considerar el margen de error obtenido en la toma de la posición geográfica (precisión del dispositivo de GPS, etc.).

El modelo de SIG raster tiene una filosofía totalmente distinta del modelo vectorial. En él todo el espacio geográfico se divide en una malla de celdas de igual tamaño. A cada celda se le asigna un valor dependiendo de presencia o ausencia del elemento cartografiado. Así la precisión del modelo raster depende de tamaño que posean las celdas (celdas de menor tamaño, más precisión del modelo). Por lo general el modelo raster se recomienda para el almacenamiento de datos geográficos continuos. Mientras que el modelo vectorial se recomienda para datos discretos (discontinuos).

Cada uno de estos modelos de representación del mundo real tiene sus ventajas e inconvenientes. El modelo vectorial es más utilizado en las aplicaciones sencillas y prácticas, como por ejemplo el catastro de las parcelas en SIGPAC, dado que almacenamiento de los datos en este formato requiere menos espacio y tiene alta precisión si los datos de entrada son correctos¹. Sin embargo el modelo raster no tiene problema de localización exacta de frontera entre objetos cartografiados. El tamaño de celda permite relajar la exactitud de los límites. No obstante los ficheros con los datos raster suelen ser mucho más grandes que los ficheros de modelo vectorial para el mismo espacio. El uso de modelo raster es recomendable para datos espaciales con límites borrosos tales como un modelo de elevaciones o pendientes, datos atmosféricos, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológico, etc.

Dado que la unión entre los datos de origen espacial y los datos de origen sociológico, dentro del modelo planteado, se produce manualmente, es necesario describir este proceso.

Gran parte de los trabajos comentados anteriormente antecedentes al nuestro (Malczewski 1999; Thirumalaivasan et al., 2003; Ayalew et al. 2005; Muñoz-Robles et al., 2005; Stanger y Rosenberger, 2005) que utilizan el método multicriterio AHP como parte de soporte de las decisiones espaciales, recomiendan seguir el procedimiento normal del modelo AHP con la única diferencia de incluir los datos espaciales como un nivel más en la jerarquía. Esto supone su posterior normalización a través de la

1 Un claro ejemplo de modelo vectorial con sus desventajas es SIGPAC. Todavía hoy en día se continúan corrigiendo los errores de localización exacta de los límites entre diferentes parcelas catastrales.

multiplicación de los pesos encontrados en el nivel correspondiente a los modelos espaciales por los pesos de los objetivos correspondientes de otro nivel en la estructura jerárquica del modelo. Para el caso de nuestro estudio los pesos calculados a través de los modelos espaciales se encuentran en el nivel 4 (el nivel más bajo de la estructura jerárquica). Así la normalización de todos los pesos se realiza a través de la multiplicación de los pesos de los niveles dos, tres y cuatro, dando lugar al vector w que representa los pesos globales de los objetivos.

Dado que se reconoce la existencia de diferentes maneras de representar matemáticamente las funciones de utilidad social², en el presente trabajo se optó por, la aditiva (Keeney y Raiffa, 1976; Fishburn, 1982). Los SIG permiten realizar el cálculo de esta función de utilidad para cada unidad territorial (celda de raster) teniendo en cuenta las características locales de éstas. Al tener esta posibilidad se puede realizar una evaluación de las alternativas de actuación para cada de las unidades territoriales (celdas raster) de la zona de estudio. De esta forma, para cada unidad territorial se modifican las funciones de utilidad expuestas a continuación dependiendo de las condiciones geográficas en las cuales se encuentran éstas. La formulación de una función de utilidad social respecto a la multifuncionalidad de las zonas olivereras de montaña para el caso aditivo sería (Saaty, 1980-2006; Malczewski 1999):

$$F_a(x_j) = w_p \times A_{p(x_j)} + w_h \times A_{h(x_j)} + w_e \times A_{e(x_j)} + w_i \times A_{i(x_j)} + w_o \times A_{o(x_j)} + w_f \times A_{f(x_j)},$$

donde w representan los pesos globales para cada objetivo de nivel más bajo y se calculan como producto entre los pesos del nodo padre y del nodo hijo incluido los pesos calculados a través de los SIG; A representan los pesos de las alternativas de actuación respecto cada objetivo de nivel más bajo;

Si consideráramos la existencia de una función de la utilidad social de carácter multiplicativo, entonces su formulación sería (Triantaphyllou, 2001; Stam y Duarte, 2003):

$$F_m(x_j) = (A_{p(x_j)})^{w_p} \times (A_{h(x_j)})^{w_h} \times (A_{e(x_j)})^{w_e} \times (A_{i(x_j)})^{w_i} \times (A_{o(x_j)})^{w_o} \times (A_{f(x_j)})^{w_f},$$

No obstante, atendiendo la argumentación presentada por Saaty (2005) contra el uso de la función multiplicativa, su exposición aquí excede ámbito teórico del presente estudio.

Otro aspecto de importancia es el tamaño mínimo de la unidad territorial para la cual se realiza el cálculo de las funciones sociales de utilidad. Los

2 Algunos autores (Lootsama, 1993; Ramanathan, 1997) defienden el uso de la función multiplicativa.

SIG, técnicamente, permiten hacerlo para cada celda en el modelo raster o para cada polígono en el modelo vectorial. Sin embargo esta capacidad se ve limitada por la disponibilidad de los datos territoriales necesarios. De todos modos la base de cálculo del modelo es siempre una celda de raster que en el estudio tiene tamaño 10 por 10 metros.

2.2. Software para el manejo de los SIG y el método AHP

Para la construcción de este tipo de modelos territoriales que integran las preferencias declaradas de determinados grupos sociales existen varias aplicaciones informáticas, entre las cuales destacan:

- ELECTRE III (Opperhuizen y Hutzinger, 1982; Roy, 1991)
- DEFINITE (Janssen y Herwijnen, 1994)
- Rutina en IDRISI GIS (Eastman y Jiang, 1995)
- GIWIN (Ren, 1997)
- MULINO-DSS (Giupponi *et al.*, 2004)
- HERO para la optimización multi-objetiva heurística (Kangas *et al.*, 2000)
- FORM (Kazana *et al.*, 2003)
- MEACROS (Mazzetto y Bonera, 2003)
- AHP-DRASTIC (Thirumalaivasan *et al.*, 2003)
- EMDS (U.S.D.A., 2003)
- ASSESS (*A System for Seleting Suitable Sites*) (Bowyer y Veitch, 1994; Hill, *et al.*, 2005)
- ILWIS 3.4 Open (Koolhoven, *et al.*, 2007).

No obstante, algunos autores (e.g. Ayalew *et al.*, 2005) no usan ninguna de ellas, prefiriendo desarrollar sus propios sistemas de ayuda a la toma de decisiones espaciales basados en los algoritmos matemáticos resueltos con otro SOFTWARE de uso general. Este tipo de procedimientos tiene sus ventajas ya que permite un control más alto sobre la resolución del algoritmo y asegura una alta comprensión del problema. La desventaja más importante es el aumento de tiempo de procesamiento de los datos.

2.3. Descripción del procedimiento de análisis SIG utilizado

Para la resolución del presente estudio se han utilizado varios programas de uso general así como un software específico, ILWIS (Integrated Land and Water Information System), en concreto su módulo SMCE (Spatial Multi Criteria Evaluation). Entre los programas de uso general se han utilizado ArcView 3.2 y ArcGis 9 de fabricación ESRI como plataforma para representación y manejo de los datos espaciales, Excel de Microsoft para la realización de cálculos matemáticos sencillos, y una extensión de MATLAB para la resolución del algoritmo AHP. En el Apéndice 2 se detallan otras posibilidades de software.

Debido a que el módulo SMCE de ILWIS juega un papel importante en la realización del estudio se explica brevemente el origen de este programa y sus funciones principales. ILWIS 3.4 Open for Windows inicialmente fue desarrollado en ITC (International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands) como un programa “cerrado” y mayoritariamente de uso exclusivo dentro de la Institución. Sin embargo en el año 2007 se crea una versión de este programa de acceso abierto, la cual se utiliza en el estudio. El programa ILWIS por sí mismo se define como un SIG completo ya que tiene todos los componentes de éste. En el presente trabajo se omiten los detalles del funcionamiento del programa ya que pueden ser consultados en la página web de ITC. No obstante el estudio utiliza un módulo concreto del mismo, el módulo SMCE, por lo que se comenta a continuación. Este módulo cumple con la función específica de solucionar los problemas de análisis multicriterio aplicados a un territorio determinado. La base teórica del funcionamiento de este módulo se encuentra en Sharifi et al. (2004). En la Figura A2.1 se presenta un diagrama de flujos para la planificación y solución del proceso de la toma de decisión.

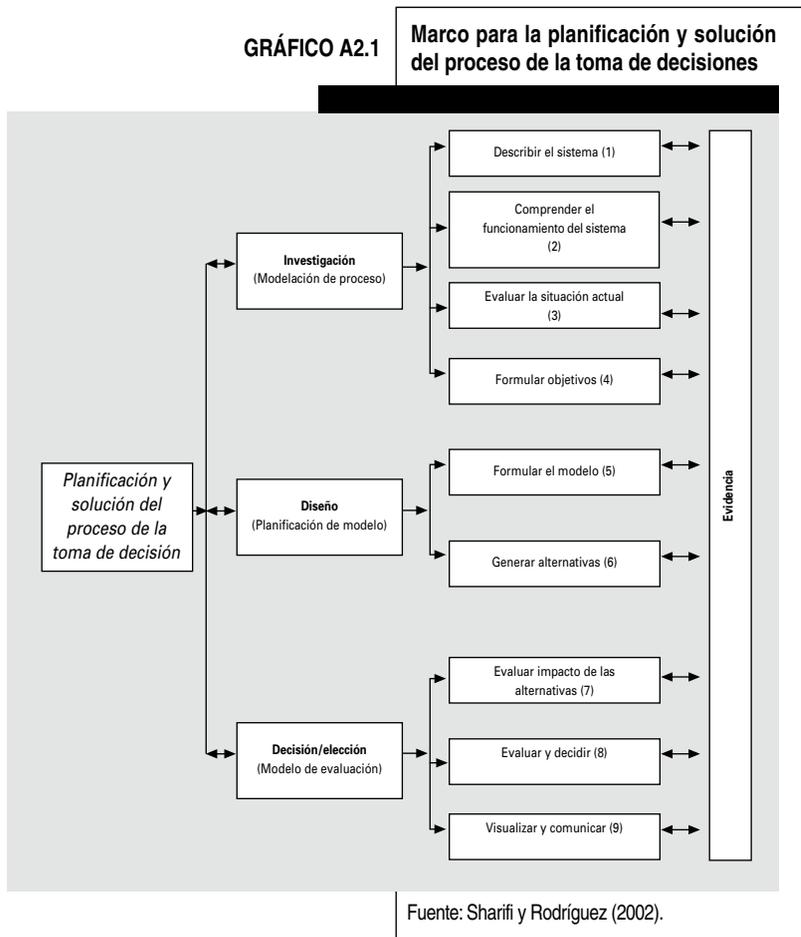
En el marco del presente estudio se han seguido las pautas del esquema del análisis presentado, utilizando el módulo SMCE en la etapa de decisión/elección. Dentro de las utilidades de SMCE se encuentran:

- Posibilidad de crear una estructura jerárquica del problema;
- Posibilidad de considerar tanto objetivos (criterios) espaciales como no espaciales;
- Posibilidad de considerar limitaciones espaciales;
- Varios métodos para asignar pesos relativos a cada objetivo;
- Posibilidad de estandarizar los objetivos de diferentes escalas a una única escala entre 0 y 1 (acorde con el método AHP);

- Dos métodos de evaluación del territorio³;
- Posibilidad de contrastar varias alternativas evaluadas con los mismos criterios pero en diferente situación geográfica;

GRÁFICO A2.1

Marco para la planificación y solución del proceso de la toma de decisiones



Todas estas utilidades lo convierten en una herramienta eficaz a la hora de utilizarlos en el presente estudio. El módulo SMCE permite agilizar enormemente el proceso de evaluación multicriterio lo que a su vez

3 Aquí se refiere a los conceptos "PATH 1" y "PATH 2" que representan dos modos diferentes de evaluar las alternativas territoriales. Utilizando el modo "PATH 1" se pierde la información espacial de las alternativas evaluadas. "PATH 2" se conserva la información espacial de cada una de las alternativas pero no precisa las estadísticas de "PATH 1". Para más información dirjase a Sharifi *et al.*, (2004).

proporciona la posibilidad de considerar una estructura jerárquica de problema complejo como es el caso de nuestro estudio. Así durante de la realización del estudio se han aprovechado la mayoría de las utilidades de este módulo. En los próximos apartados de este capítulo se especificará cuándo y cómo han sido utilizadas las diferentes habilidades de ILWIS SMCE.

2.4. Aplicaciones conjuntas de los SIG y el método AHP

Dado que la unión entre los datos de origen espacial y los datos de origen sociológico, dentro del modelo planteado, se produce manualmente, es necesario describir este proceso.

Gran parte de los trabajos comentados anteriormente antecedentes al nuestro (Malczewski 1999; Thirumalaivasan et al., 2003; Ayalew et al. 2005; Muñoz-Robles et al., 2005; Stanger y Rosenberger, 2005) que utilizan el método multicriterio AHP como parte de soporte de las decisiones espaciales, recomiendan seguir el procedimiento normal del modelo AHP con la única diferencia de incluir los datos espaciales como un nivel más en la jerarquía. Esto supone su posterior normalización a través de la multiplicación de los pesos encontrados en el nivel correspondiente a los modelos espaciales por los pesos de los objetivos correspondientes de otro nivel en la estructura jerárquica del modelo. Para el caso de nuestro estudio⁴ los pesos calculados a través de los modelos espaciales se encuentran en el nivel 4 (el nivel más bajo de la estructura jerárquica). Así la normalización de todos los pesos se realiza a través de la multiplicación de los pesos de los niveles dos, tres y cuatro, dando lugar al vector w que representa los pesos globales de los objetivos.

Dado que se reconoce la existencia de diferentes maneras de representar matemáticamente las funciones de utilidad social⁵, en el presente trabajo se optó por la aditiva (Keeney y Raiffa, 1976; Fishburn, 1982). Los SIG permiten realizar el cálculo de esta función de utilidad para cada unidad territorial (celda de raster) teniendo en cuenta las características locales de éstas. De esta forma, para cada unidad territorial se modifican las funciones de utilidad expuestas a continuación dependiendo de las condiciones geográficas en las cuales se encuentran éstas. La formulación de una función de utilidad social respecto a la multifuncionalidad de las zonas olivareras de montaña para el caso aditivo sería (Saaty, 1980-2006; Malczewski 1999):

$$F_a(x_j) = w_p \times A_{p(x_j)} + w_h \times A_{h(x_j)} + w_e \times A_{e(x_j)} + w_i \times A_{i(x_j)} + w_o \times A_{o(x_j)} + w_f \times A_{f(x_j)},$$

4 Ver el esquema de la jerarquía del modelo.

5 Algunos autores (Lootsama, 1993; Ramanathan, 1997) defienden el uso de la función multiplicativa.

donde w representan los pesos globales para cada objetivo de nivel más bajo y se calculan como producto entre los pesos del nodo padre y del nodo hijo incluido los pesos calculados a través de los SIG; A representan los pesos de las alternativas de actuación respecto a cada objetivo de nivel más bajo.

Si consideráramos la existencia de una función de la utilidad social de carácter multiplicativo, entonces su formulación sería (Triantaphyllou, 2001; Stam y Duarte, 2003):

$$F_m(x_j) = (A_{p(x_j)})^{w_p} \times (A_{h(x_j)})^{w_h} \times (A_{e(x_j)})^{w_e} \times (A_{r(x_j)})^{w_r} \times (A_{o(x_j)})^{w_o} \times (A_{f(x_j)})^{w_f} ,$$

No obstante, atendiendo la argumentación presentada por Saaty (2005) contra el uso de la función multiplicativa, su exposición aquí excede ámbito teórico del presente estudio.

Otro aspecto de importancia es el tamaño mínimo de la unidad territorial para la cual se realiza el cálculo de las funciones sociales de utilidad. Los SIG, técnicamente, permiten hacerlo para cada celda en el modelo raster o para cada polígono en el modelo vectorial. Sin embargo esta capacidad se ve limitada por la disponibilidad de los datos territoriales necesarios⁶. De cualquier forma, la base de cálculo del modelo es siempre una celda de raster que en el estudio tiene tamaño 10 por 10 metros.

6 Por ejemplo disponemos de los datos sobre los rendimientos promedios de olivar a nivel de parcelas catalogadas en SIGPAC de municipio de Montoro.

APÉNDICE 3. Modelización de los factores erosivos

3.1. Evaluación del factor de erosividad de la lluvia

De acuerdo con la opinión de los expertos, este factor es uno de los más importantes dentro de los factores que explican el proceso de erosión. Por ello, su estimación es fundamental para evaluar el riesgo de erosión en la zona de estudio. Uno de los principales problemas ha sido la falta de datos sobre las precipitaciones diarias en el área de estudio. Sin embargo, se disponían de los datos de precipitaciones medias anuales para el periodo 1942-1996 de 20 estaciones climáticas, de las cuales 8 se encuentran dentro del municipio de Montoro y el resto en áreas limítrofes.

No obstante, estos datos no pueden ser utilizados directamente ya que según la formulación matemática el factor de erosividad de la lluvia es la suma de los productos de la energía cinética ($e_{ce,j}$) por la intensidad máxima de la lluvia durante el periodo de 30 minutos ($r_{30,i}$) (Renard *et al.*, 1997):

$$R = \sum_{i=1}^{nl} e_{ce,i} r_{30,i} = \sum_{j=1}^{nl} r_{30,i} \sum_{j=1}^{nil} e_{ce,j} r_{i,j} \Delta t ,$$

donde, nl es un número de los intervalos de lluvia en el periodo (normalmente un año), $e_{ce,j}$ es la energía cinética recibida por unidad de superficie de las gotas de lluvia; $r_{i,j}$ es la intensidad de cada uno de los intervalos de lluvia; nil es el número de los intervalos de lluvia; Δt es el incremento de tiempo. Giráldez *et al.* (1989) ha derivado empíricamente una ecuación simplificada para las condiciones locales de la provincia de Córdoba:

$$e_c r_{30} = 0.0682 * p^{1.998} ,$$

donde p es la precipitación diaria.

Sólo se disponían de los datos de precipitación diaria para 12 estaciones climáticas situadas en las provincias de Córdoba y Jaén (sólo una de ellas esta situada en Montoro). Por ello se calculó tanto la precipitación media anual como la erosividad de la lluvia para estas 12 estaciones. Posteriormente, el alto valor del coeficiente de correlación (0,929) para estos dos indicadores justificó la utilización de los datos de la precipitación media anual disponible en las 20 estaciones climáticas.

Para crear una superficie continua a partir de los datos discontinuos se ha utilizado método de interpolación *Kriging* basado en la función *Gaussian* (esta función esta incorporada en ArcGIS 9.1 Spatial Analyst Tool). ArcGIS 9.1 ofrece varios métodos de interpolación, sin embargo el método utilizado

ha dado el mejor resultado debido a los menores valores de varianza para la superficie creada, lo que está de acuerdo con el trabajo de Wang et al. (2002). Finalmente el mapa creado para este factor es reclasificada en cuatro clases siguiendo el método “*quantile*”:

- Potencial de la lluvia menor de 537 mm;
- Potencial de la lluvia de 537-619 mm;
- Potencial de la lluvia de 619-742 mm;
- Potencial de la lluvia mayor de 742 mm.

3.2. Factores inclinación y longitud de ladera

Dependiendo de los objetivos de estudio estos dos factores pueden ser considerados juntos o por separado. En el presente estudio estos dos factores han sido considerados por separado con el objetivo de tener en cuenta sus interdependencias, siguiendo las pautas del estudio de Cohen et al. (2005).

Desde las primeras aplicaciones de USLE la estimación de los factores de inclinación y longitud de ladera conllevaba muchas dificultades. A escala de paisaje o de cuenca el uso de Modelo Digital de Terreno (MDT) es imprescindible para estimar estos dos factores. El uso de uno de los procedimientos de los SIG permite generar coberturas en formato raster para cada uno de estos factores. Existen varios métodos que permiten realizar el cálculo de estos dos factores a partir de MDT (Dunn y Hickey, 1998; Hickey, 2000). Entre ellos se puede mencionar el método tradicional basado en las estimaciones regionales que obliga a utilizar esta variable como una constante para toda el área.

Por todo lo comentado anteriormente, con el fin de estimar estos dos factores en el área de estudio se ha utilizado MDT con la resolución espacial de 10 m. Para realizar el cálculo propiamente dicho se ha utilizado un código ejecutable escrito por Van Remortel y Hickey (2003) en el lenguaje de programación AML (*Arc Macro Language*). Este código ha sido ejecutado en el medio de ESRI *Work Station Arc Prompt*. Este código utiliza un algoritmo de acumulación de las celdas raster para el cálculo de las longitudes de laderas y el método de máximo ángulo para calcular el grado de pendientes. A través de este método, el código AML calcula la longitud de ladera desde el punto más alto hasta el punto más bajo. El algoritmo de cálculo permite tener en cuenta los cambios en el ángulo de pendiente a lo largo de la ladera. Para nuestro modelo se ha considerado que el cambio en el ángulo de la pendiente superior al 50 por ciento reinicia el cálculo de la longitud de ladera.

Después de la ejecución del código AML de Van Remortel se obtienen dos ficheros raster: uno con cobertura de las longitudes de laderas y otro con los grados de las pendientes. Posteriormente la cobertura con los grados de pendientes ha sido transformada en porcentajes y reclasificada en cuatro clases:

- Pendientes suaves (menos del 15 por ciento);
- Pendientes moderadas (15-30 por ciento);
- Pendientes fuertes (30-45 por ciento);
- Pendientes muy fuertes (superior a 45 por ciento);

La cobertura con las longitudes de laderas ha sido reclasificada en tres clases:

- Laderas largas (más de 160 m);
- Laderas de longitud mediana (50-160m);
- Laderas cortas (menor de 50 m);

El código AML de Van Remortel potencialmente permite el cálculo completo de los factores L y S, sin embargo no es necesario para el caso de estudio. Las bases teóricas para este cálculo se encuentran en McCool *et al.* (1997).

3.3 Factor de erodibilidad de los suelos

Debido a la ausencia de los mapas de suelos para el área de estudio se han utilizado los datos existentes sobre las estructuras geológicas con el fin de evaluar el factor. Dependiendo de la resistencia de los materiales geológicos existentes en el área con respecto a la erosión éstos han sido reclasificados en cinco clases (de menos a más vulnerables con respecto a la erosión):

- Materiales difícilmente erosionables: Rocas ígneas: ácidas, básicas y volcánicas;
- Materiales poco erosionables: Rocas calcáreas bien cementadas: calizas, dolomías, mármoles y rocas afines. Rocas silíceas compactas: esquistos, pizarras duras, filitas, areniscas cuarzosas, cuarcitas y similares;
- Materiales de erodibilidad media: Rocas poco consolidadas: areniscas, con poco cuarzo, grauwacas, conglomerados, calizas arenosas y margosas y rocas semejantes;

- Materiales fácilmente erosionables: Formaciones blandas: argilitas, margas, yesos, facies flysch, pelitas, pizarras arcillosas, margas arcillosas y afines;
- Materiales muy fácilmente erosionables: Arcillas, arenas y depósitos cuaternarios.

La clasificación de los materiales geológicos en la zona de estudio ha sido realizada a partir del mapa Geológico (1:50.000).

3.4. Factor de la cubierta vegetal

Numerosos estudios sobre la erosión en el olivar (Gómez *et al.*, 2003; Gómez *et al.*, 2004) sugieren que una cubierta vegetal debajo de los olivos sustancialmente reducen el riesgo de erosión. Por esta razón este factor ha sido incluido entre otros en el modelo.

A la hora de evaluar este factor nos hemos encontrado con el problema de la falta de datos fiables. Por esta razón se ha decidido realizar un muestreo de la presencia de cubierta vegetal en el campo. Toda el área de estudio ha sido dividida en cuadrados de 2 km de lado. Después cada uno de estos cuadrados ha sido visitado con un dispositivo GPS marcando las parcelas olivareras con cubierta vegetal. Las visitas al campo se han efectuado en los meses de abril y mayo. A partir de estos datos ha sido estimada la cobertura del olivar de la zona de estudio.

3.5. Proximidad de los ríos y arroyos

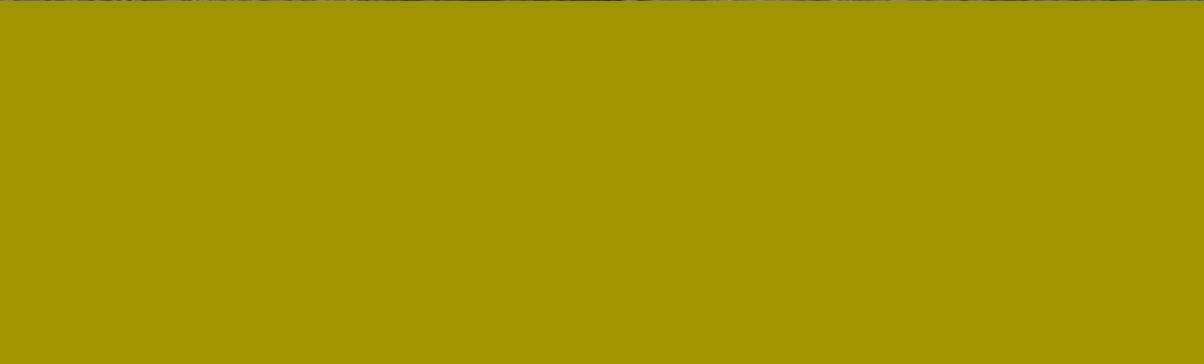
Basándose en las observaciones de campo y en la revisión bibliográfica (Dragan *et al.*, 2003; Finlayson y Montgomery, 2003) se decidió incluir el factor de proximidad de los ríos y arroyos. Una de las críticas de los modelos de erosión basados de USLE/RUSLE es la no consideración de la erosión provocada por los cursos de agua. Por consiguiente, incluyendo este factor en el modelo se consigue una mejor estimación del riesgo de erosión.

El área de 50 metros alrededor de los cursos de agua existentes en la zona de estudio ha sido considerada como potencialmente vulnerable por las inundaciones, y como consecuencia de éstas el arrastre del suelo por la corriente.

Asumir que las áreas próximas a los cursos de agua son más susceptibles a ser erosionadas es una simplificación de la realidad ya que aquí también tiene lugar el proceso de depósito, sin embargo permite evaluar el riesgo de erosión a escala de paisaje. En este sentido, Finlayson y Montgomery (2003) han propuesto un modelo bastante detallado para la erosión fluvial.



Bibliografía



Bibliografía

- Aczél, J. y Alsina, C. (1986) On synthesis of judgments. *Socio-Economic Planning Science* 20, 333-339.
- Aczel, J. y Saaty, T. L. (1983) Procedures for synthesizing ratio judgments. *Journal of Mathematical Psychology* 27, 93-102.
- AEMO. (2002) *Empleo ligado al cultivo del olivar*. Asociación Española de Municipios del olivo. Diputación de Jaén, Jaén.
- Apostolou, B. y Hassell, J. M. (1993) An empirical examination of the sensitivity of the AHP to departures from recommended consistency ratios. *Mathematical and computer modelling* 17(4/5), 163-170.
- Aronoff, S. (1989) *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Arriaza, M., Barea Barea, F. y Ruiz Avilés, P. (2002) *Reforma de la OCM del Aceite de oliva: hacia un sistema de ayudas desacoplado*. Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía 2001. Analistas Económicos de Andalucía. Unicaja. ISBN: 84-921576-5-8. 53p.
- Arriaza, M., Cañas-ortega, J.F., Cañas-madueño, J.A. y Ruiz-aviles, P. (2004) Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning* 69(1), 115-125.
- Arrow, K. y Raynaud, H. (1989) *Opciones sociales y toma de decisiones mediante criterios múltiples*. Alianza, Madrid.
- Aull-hyde, R.; Erdogan, S. y Duke J. (2006) An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP. *European Journal of Operational Research* 171, 290-295.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. y Kanno, T. (2005) Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology* 81, 432-445.
- Barredo-Cano, J.I. (1996) *Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la ordenación del territorio*. Madrid, RA-MA, 264 pp.
- Barzilai, J. (1996) *On the derivation of AHP priorities*. Proceedings of 4 th International Symposium on the AHP. Vancouver, Canada, 244-250.
- Barzilai, J. (1998) On the decomposition of value functions. *Operations research letter* 22, 159-170.

- Barzilai, J. y Golani, B. (1994) AHP rank reversal, normalization and aggregation rules. *INFOR* 32, 57-63.
- Barzilai, J. y Lootsma, F. A. (1997) Power relations and group aggregation in the multiplicative AHP and SMART. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6, 155-165.
- Bayliss, J.L., Simonite, V. y Thompson, S. (2005) The use of probabilistic habitat suitability models for biodiversity action planning. *Agriculture Ecosystems and Environment* 108, 228-250.
- Beaufoy, G. y Pienkowski, M. (2000) The environmental impact of olive oil production in the European Union: practical options for improving the environmental impact. European Forum on Nature Conservation and Pastoralism. Comisión Europea. Bruselas.
- Belton, V. y Gear, T. (1983) On a shortcoming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega* 11 (3), 228-230.
- Belton, V. (1986): "A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function". *European Journal of Operational Research* 26, 7-21.
- Blair, A.R., Nachtmann, R., Saaty, T.I. y Whitaker, R. (2002) Forecasting the resurgence of the US economy in 2001: an expert judgment approach. *Socio-Economic Planning* 36, 77-91.
- Bosque-Sendra, J. (1992) *Sistemas de Información Geográfica*. Rialp, Madrid.
- Bosque-Sendra, J. y Franco-Maass, S. (1995) Modelos de localización-asignación para la localización de instalaciones no deseables. *Serie Geográfica* 5, 97-112.
- Bosque-Sendra, J. (2001) Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). *El Campo de las Ciencias y las Artes* 138, 137-144.
- Bosque-Sendra, J. y Moreno-Jiménez, A. (2004) *SIG y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. RA-MA, Madrid.
- Bowyer, J.k. y Veitch, S.M. (1994) *ASSESS: a system for selecting suitable sites for a land use*. Proceedings, OZRI 8, Hobart, 1994.
- Brouwer, F.M. (2002) *Effects of agricultural policies and practices on the environment: Review of empirical work in OECD countries*. COM/AGR/CA/ENV/EPOC(2001)60/FINAL. OCDE, Paris.
- Büchs, W. (2003) Biodiversity and agri-environmental indicators- general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98, 35-78.

- Burrough, P.A., y McDonnell, R.A. (1998) *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.
- Caballero-García de Vinuesa, J.I. (2000) "Introducción a las Técnicas de Agricultura Integrada". Seminario Técnico de Especialización en Agricultura Integrada. Asociación Andaluza de Estudios Agroambientales.
- Calatrava-Requena, J. (1997) El olivar en los procesos de desarrollo rural: consideraciones sobre el valor económico total (VET). En: *La reforma de la OCM y el futuro del olivar*. Manuel Parra Rosa (coord.). Universidad de Jaén.
- Cheng, E.W.I., Li, H. y Yu, L. (2005) The analytic network process (ANP) approach to location selection: a shopping mall illustration. *Construction Innovation* 5, 83-97.
- Chu, P. y Liu, J.K.H. (2002) Note on Consistency Ratio. *Mathematical and computer modelling* 35, 1077-1080.
- Chung, S.H., Lee, A.H.I. y Pearn, W.L. (2005) Analytic Network Process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. *International Journal of Production Economics* 96 (1), 15-36.
- Cohen, M.J., Shepherd, K.D. y Walsh, M.G. (2005) Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. *Geoderma* 124(2), 235-252.
- Colmenares, R. (2006) La agricultura biodinámica. En: J. Labrador, J.L. Porcuna, A. Bello (Coordinadores), *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. EUMEDIA, MAPA, Madrid, pp. 235-247.
- Comisión Europea, (2001) *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament- Biodiversity Action Plan for Agriculture*. COM/2001/0162 final.
- Cuesta Aguilar, M.J. (2005) Los paisajes del olivar: un diagnóstico del estado erosivo del medio. En: J.L. Anta, J. Palacios y J. Guerrero (eds.) *La cultura del olivo. Ecología, economía, sociedad*. Universidad de Jaén, Jaén.
- Dai, F.S., Lee, C.F. y Zhang, X.H. (2001) GIS-based geo-environmental for urban land-use planning: a case study. *Engineering Geology* 61(2), 257-271.
- Daniel, T.C. y Vining, J. (1983) Methodological Issues in the Assessment of Landscape Quality. En: I. Altman y J. Wohlwill (eds.) *Behaviour and the Natural Environment*. Plenum Press, Nueva York.

- Deeming, J.E., Burgan, R.E. y Cohen, J.D. (1978) The National Fire Danger Rating System. USDA Forest Service, General Technical Report INT-39.
- Delibes, M., Rodríguez, A. y Ferreras, P. (2000) Action plan for the conservation of the Iberian lynx (*Lynx pardinus*) in Europe. *Nature and Environment* 111, 1-45.
- Díaz, M., Garrido, S. y Hidalgo, M. (1988) *Agricultura y medio ambiente*. Unidades Temáticas Ambientales, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- Donald, P.F., Sanderson, F.J., Burfield, I.J. y Van Bommel, F.P.J. (2006) Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990-2000. *Agriculture Ecosystems and Environment*. Artículo en Prensa.
- Douglass, G.K. (1984) The meanings of agricultural sustainability. En G.K. DOUGLASS (ed.) *Agriculture sustainability in a changing world order*. Westview Press, Boulder (Colorado, USA), pp. 3-30.
- Dragan, M., Feoli, E., Ferneti, M. y Zerihun, W. (2003) Application of a spatial decision support system (SDSS) to reduce soil erosion in northern Ethiopia. *Environmental Modelling and Software* 18, 861-868.
- Duelli, P. y Obrist, M. (2003) Biodiversity Indicators: the choice of values and measures. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98, 87-98.
- Dunn, M. y Hickey, R. (1998) The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, v. 27, no. 1, 9-15.
- Dyer, J.S. (1990) Remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science* 36, 249-258.
- Dyer, R. F. y Forman, E. H. (1992) Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. *Decision Support System* 8, 99-124.
- Eastman, J.R. y Jiang, H. (1995) Fuzzy measures in multicriteria evaluation. In proceedings, second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural resources and Environmental Studies, May 21-23 (Fort Collins, Colorado) pp. 527-534.
- Eastman, J.R. (2003) *IDRISI Kilimanjaro. Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA.
- EC (1999) *Safeguarding the multifunctional role of agriculture: which instruments?* European Commission, DG Agricultura, Bruselas.

- EGMASA (Empresa de Gestión Medioambiental). (2001) Usos de Suelo de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (CD).
- Ekárt, A. y Németh, S. Z. (2005) Stability analysis of tree structured decision functions. *European Journal of Operational Research* 160, 676-695.
- Erdogmus, S., Kapanoglu, M. y Koc, E. (2005) Evaluating high-tech alterantives by using analytic network process with BOCR and multiactors. *Evaluation and Program Planning* 28, 391-399.
- ESRI (2001) *What is ArcGIS. GIS by ESRI*. ESRI, Redlands, USA.
- Fernández, N., Delibes, M. y Palomares, F. (2006) Landscape evaluation in conservation: molecular sampling and habitat modeling for the Iberian lynx. *Ecological Applications* 16(3), 1037-1049.
- Fernández, N., Delibes, M. y Palomares, F. (2007) Habitat-related heterogeneity in breeding in a metapopulation of the Iberian lynx. *Ecography* 30(3), 431-439.
- Fernández, N. y Palomares, F. (2000) The selection of breeding dens by the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*): implications for its conservation. *Biological Conservation* 94, 51-61.
- Ferreras, P. (2001) Landscape structure and asymmetrical inter-patch connectivity in a metapopulation of the endangered Iberian lynx. *Biological Conservation* 100(1), 125-136.
- Finlayson, D.P. y Montgomery, D.R. (2003) Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems. *Geomorphology* 53, 147-164.
- Fishburn, P.C. (1982) *The foundation of Expected Utility*. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Forman, E.H. y Peniwati, K. (1998) Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 108, 165-169.
- Forman, E.H. y Selly, M.A. (2001) *Decision by Objectives*. World Scientific. ISBN: 9810241437. Disponible en: <http://www.expertchoice.com/dbo/>.
- French, S. (1988) *Decision Theory: an Introduction to the Mathematics of Rationality*. Ellis Horwood, Chichester.
- Gallardo-Cobos, R. y Ceña-Delgado, F. (2004) El papel de la PAC en el proceso de cambio estructural: el caso de las zonas olivareras. V Congreso Nacional de Economía Agraria. Santiago de Compostela, 15-17 de septiembre.

- Gass, S.I. y Rapcsák, T. (2004) Singular value decomposition in AHP. *European Journal of Operational Research* 154, 573-578.
- Georgiadou, Y., Knippers, R.A., Kraak, M.N., Sun, Y., Weir, M.J.C., Van Westen, C.J. y De By, R.A. (2004) *Principles of Geographical Information Systems*. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands. ISBN 90-6164-226-4.
- Giráldez, J.V., Laguna, A. y Gonzalez, P. (1989) *Soil conservation under minimum tillage technique in Mediterranean dry farming*. Soil Technologies Series 1, 139-147.
- Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A. y Cogan, V. (2004) MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Mathematics and Computers in Simulation* 64, 13-24.
- Gliessman, S.R. (ed.). (1990) *Egroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Ecological Studies Serie # 78. Springer-Verlag, New York.
- Gliessman, S.R. (2002) *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. LITOCAT, Turrialba, Costa Rica. ISBN 9977-57-385-9.
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.s. Y Fereres, E. (2003) Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use and Management* 19, 127-134.
- Gómez, J.A., Romero, P., Giraldez, J.V. y Fereres, E. (2004) Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management. *Soil Use and Management* 20, 426-431.
- Gómez-Limón, J.A. y Atance, I. (2004) Identification of public objectives related to agricultural sector support. *Journal of Policy Modelling* 27(8-9), 1045-1071.
- Goodwin, P. y Wright, G. (1998) *Decision Analysis for Management Judgement*. Second edition. John Wiley, Chichester.
- Gouma, V. y Chronopoulou-sereli, A. (1998) Wildland fire danger zoning- A methodology. *International Journal of Wildland Fire* 8(1), 37-43.
- Guzmán-Álvarez, J.R. (2004) *Geografía de los paisajes del olivar andaluz*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.
- Haan, C.T., Barfield, B.J. y Hayes, J.C. (1994) *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. New York: Academic Press 588 pp.
- Hairsine, P. y Rose, C. (1992) Modelling water erosion due to overland flow using physical principles: 2. Rill flow. *Water Resources Research* 28(1), 245-250.

- Hansen, J.W. (1996) Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems* 50(1), 117-143.
- Hediger, W. (1999) Reconciling weak and strong sustainability. *International Journal of Social Economics* 26 (7/8/9), 1120-1143.
- Hernández, A. y Cardells, F. (1999) Aplicación del método de las jerarquías analíticas a la valoración del uso recreativo de los espacios naturales de Canarias. *Revista de la Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Gobierno de Canarias* 13, Disponible en Internet, <http://www.gobcan.es/medioambiente/revista/1999/13/61/>, enero 2006.
- Hernández, J., García, L. y Ayuga, F. (2004) Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: a methodology for site selection. *Landscape and Urban Planning* 68, 15-28.
- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. y Shaw, P., (Eds.). (2005) *Handbook of Biodiversity Methods, Survey, Evaluation and Monitoring*. Cambridge University Press, Cambridge, 570pp.
- Hodge, I. (1991) The provision of public goods in the countryside: How should it be arranged? En: *Farming and the countryside: An economic analysis of external costs and benefits*. N. Hanley (editor). CAB International, Wallingford, pp. 179-195.
- Holder, R.D. (1990) Some comments on the analytic hierarchy process. *The Journal of the Operational Research Society* 41, 1073-1076.
- Hollis, M., Sugden, R. y Weale, A. (1985) Riddles of public choice. *Times Higher Educational Supplement* 25, 15.
- Instituto de Sociología y Estudios Campesinos. (2004) *Manual de olivicultura ecológica*. Universidad de Córdoba. Proyecto Equal-Adaptagro. Agros Impresores S.L.
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). (2007) *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2007*. 7th, revised edition. Edited by Helga Willer and Minou Yusefi. IFOAM Bonn, Germany and Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, Switzerland.
- Isermann, H. (1982) Linear lexicographic optimization. *OR-Spektrum* 4, 223-228.
- IUCN (2002) Updated IUCN red list of threatened species released online. *Species* 38, 6-7.

- Janssen, R. y Herwijnen, M.V. (1994) *DEFINITE: A System to Support Decisions on a FINITE Set of Alternatives*. User Manual, Kluwer Academic. Dordrecht.
- Jeanneret, Ph., Schupbach, B. y Luka, H. (2003) Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98, 311-320.
- Jharkharia, S. y Shankar, R. (2007) Selection of logistic service provider: An analytical network process (ANP) approach. *Omega* 35, 274-289.
- Johnson, W.E., Godoy, J.A., Palomares, F., Delibes, M., Fernandes, M., Revilla, E. y O'Brien, S.J. (2004) Phylogenetic and Phylogeographic Analysis of Iberian Lynx Populations. *Journal of Heredity* 95(1), 19-28.
- Junta de Andalucía. (2001) *Usos del suelo de Andalucía (1999), Escala 1:50.000*. EGMASA- Empresa de gestión Medioambiental. Consejería de Medio Ambiente.
- Junta de Andalucía. (2003) *El olivar andaluz*. Consejería de Agricultura y Pesca, Viceconsejería, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Sevilla.
- Junta de Andalucía. (2004) *Modelo digital de terreno y ortofotografía digital de Andalucía*. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Consejería de Agricultura y Pesca. Consejería de Medio Ambiente.
- Junta de Andalucía. (2004) *Informe sobre áreas potenciales de reintroducción de Lince Ibérico en Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Proyecto LIFE Naturaleza.
- Kangas, J., Store, R., Leskinen, P. Y Mehtatalo, L. (2000) Improving the quality of landscape ecological forest planning by utilising advanced decision support tools. *Forest Ecology and Management* 132, 157-171.
- Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M., Jaeger, C.C., Lowe, I. y McCarthy, J.J. (2001) Environment and development: Sustainability science. *Science* 292, 641-642.
- Kazana, V., Fawcett, R.H. y Mutch, W.E.S. (2003) A decision support modelling framework for multiple use forest management: The Queen Elizabeth Forest case study in Scotland. *European Journal of Operational Research* 148, 102-115.
- Keeney, R.L. y Raiffa, H. (1976) *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade offs*. John Wiley and Sons, New York.

- Koolhoven, W., Hendrikse, J., Nieuwenhuis, W., Retsios, B., Schouwenburg, M., Wang, L., Budde, P. y Nijmeijer, R. (2007) ILWIS 3.4 Open. GIS Software. ITC, Enschede. The Netherlands. Disponible libremente en: www.itc.nl
- Lai, V. S., Wong, Bo K. y Chung, W. (2002) Group decision making in a multiple criteria environment: A case using the AHP in software selection. *European Journal of Operational Research* 137, 134-144.
- Larson, W.E., Lindstrom, M.J. y Schumacher, T.E. (1997) The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration. *Journal of Soil and Water Conservation* 52(2), 90-95.
- Latacz-Lohman, U. (1998) Mechanisms for the provision of public goods in the countryside. En: *The economics of landscape and wildlife conservation*. S. Dabbert, A. Dubgaard, L. Slangen y M. Whitby (editores). CAB international, Oxon.
- Leathwick, J. R. y Briggs, C.M. (2001) Spatial prediction of wildfire hazard across New Zealand. New Zealand Fire Service Commission, Research report No. 22.
- Lee, B. S., Alexander, M. E., Hawkes, B. C., Lynham, T. J., Stocks, B. J. y Englefield, P. (2002) Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture* 37(1-3), 185-198.
- Leung, L.C. y Cao, D. (2001) On the efficacy of modelling multi-attribute decision problems using AHP and Sinarchy. *European Journal of Operational Research* 132, 39-49.
- Loch, R.J. y Rosewell, C. (1992) Laboratory methods for measurement of soil erodibilities (K factors) for the universal soil loss equation. *Australian Journal of Soil Research* 30, 233-248.
- Loch, R.J. y Silburn, D.M. (1996) Constraints to sustainability- soil erosion. En: Clarke, L., Wylie, P.B. (Eds.), *Sustainable Crop Production in the Sub-tropics: an Australian Perspective*. QDPI.
- Lootsma, F.A. (1993) Scale Sensitivity in the Multiplicative AHP and SMART. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 2, 87-110.
- Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Mandallaz, D. y Ye, R. (1997) Prediction of forest fires with Poisson models. *Canadian Journal of Forest Research* 27(10), 1685-1694.

- MAPA. (2003) *Libro blanco de la Agricultura y el desarrollo Rural. 4ª Parte. Nuevas Cuestiones. Producción Integrada. Agricultura Ecológica.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, p. 665-674.
- Marcozzi, M., Bovio, G., Mandallaz, D. y Bachmann, P. (1994) Influence of the weather on the forest fire danger index in Ticino Canton. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 145(3), 183-199.
- Martínez Vega, J., Martín Isabel, M. P. y Romero Calcerrado, R. (2003) Valoración del paisaje en la zona de especial protección de aves carrizales y sotos de Aranjuez (Comunidad de Madrid). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 3(1), 1-21.
- Massam, B.H. (1988) *Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Techniques in Planning.* Progress in Planning 30, Pergamon Press, Oxford.
- Mata, R., Rodríguez, J. A. y Sevilla, M. (2002) Un SIG para el Plan de Ordenación de Menorca. Aspectos ambientales y paisajísticos. En *X Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección.* Valladolid, Universidad de Valladolid-AGE (publicación en CD_Rom).
- Mathur, R.S., Gogate, M.G. y Mittall, R. C. (1984) Forest fire danger rating indices based on climate – a case study of West Dehra Dun Forest Division. *Indian Forester* 110(3), 223-241.
- Mawapanga, M. y Debertin, D. (1996) Choosing between alternative farming systems: An application of the analytic hierarchy process. *Review of Agricultural Economics* 18, 385-401.
- Mazzetto, F. y Bonera, R. (2003) MEACROS: a tool for multi-criteria evaluation of alternative cropping systems. *European Journal of Agronomy* 18, 379–387.
- McCool, D.K., Foster, G.R. y Weesies, G.A. (1997) Slope length and steepness factors (LS). En: Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (Eds.), *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).* Agricultural Handbook No. 703. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA, 4pp. 101-141 (Chapter 4).
- Mészáros, Cs. y Rapcsák, T. (1996) On sensitivity analysis for a class of decision systems. *Decision support systems* 16, 231-240.
- Miret-Benet, F. (2004) Situación actual de la producción integrada en Cataluña y España. *ACE Revista de Enología.* Disponible en: http://www.acenologia.com/ciencia66_1.htm.

- Montoya-Ayala, R., Padilla-Ramírez, J. y Stanford-camargo, S. (2003) Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla (México). *Boletín de la A.G.E.N.* 35, 123-136.
- MOPTMA. (1995) *Avance del Plan Nacional de Cartografía Temática Ambiental*. Madrid, MOPTMA. Documento técnico.
- Moreno, O.M. (2004) Las lecturas del enfoque de la multifuncionalidad y su concreción práctica en la agricultura española: una visión crítica. V Congreso de Economía Agraria. Asociación Española de Economía Agraria. Santiago de Compostela.
- Munda, G. (1994) *Fuzzy Information in Multicriteria Environmental Evaluation Models*. CEC, Brussels.
- Muñoz-Cobo, J. (1992) Breeding bird communities in the olive tree plantations of Southern Spain. *Alauda* 60, 118-122.
- Muñoz-robles, C.A., Treviño-garza, E.J., Verastegui-Chávez, J., Jiménez-Pérez, J. y Aguirre-calderon, O.A. (2005) Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 56, 101-117.
- Neaupane, K.M. y Piantanakulchai, M. (2006) Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology* 85, 281-294.
- Nekhay, O., Arriaza, M. y Boerboom, L. (2007) Soil erosion risk evaluation based on expert knowledge and GIS technology- a case study from the Spanish Mountainous olive plantations (Montoro, Andalusia Region). *Soil Science Kiev-Dnipropetrovsk (Ukraine)* 8(1-2), 77-93.
- Niemira, M.P. y Saaty, T.I. (2004) An Analytic Network Process model for financial-crisis forecasting. *International Journal of Forecasting* 20, 573-587.
- Nijkamp, P., Rietveld, P. y Voogd, H. (1990) *Multicriteria Evaluation in Physical Planning*. North-Holland, Amsterdam.
- OCDE (1997a) Helsinki Seminar on Environmental Benefits from Agriculture. OECD/GD (97)110, Paris.
- OCDE (2001a) *Multifunctionality: towards an analytical framework*. Paris.
- OCDE (2001b) *Environmental Indicators for Agriculture*. Paris.

- Oleaga, R. y García, T. (2006) ¿Confía en nosotros el consumidor?. IV Congreso de Seguridad Alimentaria. Asociación Española de Codificación Comercial (AECOC), Barcelona.
- Opperhuizen, A. y Hutzinger, D. (1982) Multi-criteria analysis and risk assessment. *Chemosphere* 11, 675-678.
- Ordóñez-Galan, C. y Martínez-Alegría, R. (2003) *Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones prácticas con Idrisi 32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. RA-MA, Madrid.
- Ortuño, S. y Zamora, R. (2001) Las áreas de montaña y los nuevos modelos de desarrollo rural. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 191: 41-60.
- Osinski, E. (2003) Operationalisation of a landscape-oriented indicators. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 98, 371-386.
- Pajarón-Sotomayor, M. (2001) Cultivo ecológico del olivar: el caso de Génave. En: *La práctica de la agricultura y ganadería ecológicas*. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica (Ed.) pp. 251-257.
- Palomares, F., Delibes, M., Ferreras, P., Fedriani, J.M., Calzada, J. y Revilla, E. (2000) Iberian Lynx in a Fragmented Landscape: Predispersal, Dispersal, and Postdispersal Habitats. *Conservation Biology* 14(3), 809-818.
- Palomares, F. (2001) Vegetation structure and prey abundance requirements of the Iberian lynx: implications for the design of reserves and corridors. *Journal of Applied Ecology* 38, 9-18.
- Palomares, F., Delibes, M., Revilla, E., Calzada, J. y Fedriani, J.M. (2001) Spatial ecology of Iberian Lynx and abundance of European Rabbits in Southwestern Spain. *Wildlife Monographs* 148:1-36.
- Parra Lopez, C., Calatrava Requena, J. y Haro Giménez, T. (2004) *Análisis multifuncional de sistemas agrarios: aplicación del método del Proceso Analítico Jerárquico al olivar de producción convencional, ecológica e integrada en Andalucía*. VI Premio de Unicaja al trabajo de investigación.
- Pastor, M., Castro, J. y Humanes, M.D. (1999) Sistemas de manejo de suelo en olivares en pendiente. Control de la erosión. En: *Cultivo de olivar en zonas de especial protección ambiental*. Consejería de Agricultura y Pesca-Junta de Andalucía, Sevilla.
- Pastor, M. (2000) La Producción Integrada en olivar en la Comunidad de Andalucía. *Vida Rural*, 105, de 1 de abril. Disponible en: <http://www.eumedia.es/articulos/vr/Aceites/1abrolivar.htm>

- Pedersen, A.O., Nyhuus, S., Blindheim, T. y Wergeland Krog, O.M. (2004) Impementation of a GIS-based management tool for conservation of biodiversity within the municipality of Oslo, Norway. *Landascape and Urban Planning* 68, 429-438.
- Pertoldi, C., Garcia-Perea, R., Godoy, J.A., Delibes, M. y Loeschcke, V. (2006) Morphological consequences of range fragmentation and population decline on the endangered Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *Journal of Zoology* 268 (1), 73-86.
- Philippidis, G. y Sanjuán, A.I. (2004) Percepción de los consumidores de la Cuenca del Mediterráneo hacia los alimentos ligados al territorio. V Congreso de Economía Agraria. Asociación Española de Economía Agraria. Santiago de Compostela.
- Pimentel, D., Acguay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., Lipner, V., Giordano, S., Harowitz, A. y D'amore, M. (1992) Environmental and economic cost of pesticide use. *Bioscience* 42 (10), 750-760.
- Promentilla, M.A.B., Furuichi, T., Ishii, K. y Tanikawa N. (2006) Evaluation of remedial countermeasures using the analytic network process. *Waste Management* 26(12), 1410-1421.
- Ramanathan, R. y Ganesh, L.S. (1994) Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. *European Journal of Operational Research* 79, 249-265.
- Raymond, J., Florax, G.M., Traversi, C.M. y Nijkamp, P. (2005) A meta-analysis of the willingness to pay for reductions in pesticide risk exposure. *European Review of Agriculture Economics* 32(3): 441-467.
- Real, E., Arce, C. y Sabucedo, J. (2000) Classification of landscapes using quantitative and categorical data, and prediction of their scenic beauty in North-Western Spain. *Journal of Environmental Psychology* 20(2): 355-373.
- Ren, F. (1997) A training model for GIS application in land resource allocation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 52, 261-265.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Mccool, D.K. y Yoder, D.C. (Eds.). (1997) *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook No. 703. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA, 404pp.
- Rodriguez, A. y Delibes, M. (2003) Population fragmentation and extinction in the Iberian lynx. *Biological Conservation* 109(3), 321-331.

- Romero, C. (1991) | *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, Oxford.
- Romero, C. (1993) | *Teoría de la decisión multicriterio : conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza, Madrid.
- Romero, C. (1993) | *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Alianza, Madrid.
- Romero, C. y Rehman, T. (1989) | *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. Elsevier, Amsterdam.
- Rose, C.W. (1993) | Erosion and sedimentation. En: Bonell, M., Hufschmidt, M.M., Gladwell, J.S. (Eds.), *Hydrology and Water Management in the Humid Tropics: Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management*. New York: Cambridge University Press, pp. 301-343.
- Roy, B. (1968) | Classement et choix en presence de points de vue multiple (la methode ELECTRE). *R.I.R.O.* 8, 57-75.
- Roy, B. (1990) | *The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods en C.A. Bana y E. Costa (ed.): Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer-Verlag. Berlin, pp. 155-183.
- Roy, B. (1991) | The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decisions* 31, 49-73.
- Saaty, R.W. (2003) | *Decision Making in Complex Environments. The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision Making and Analytic Network Process (ANP) for Decision Making with Dependence and Feedback*. Manual of Software for Decision Making with Dependence and Feedback, p. 115.
- Saaty, T.L. (1980) | *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1994) | *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh PA. 337p.
- Saaty, T.L. (1996) | *Decision making with dependence and feedback: the analytic network process*. Pittsburg, PA: RWS Publications.
- Saaty, T.L. (2001) | *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, second ed.* RWS Publications, Pittsburgh, USA.

- Saaty, T.L. (2003) Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary? *European Journal of Operational Research* 145, 85-91.
- Saaty, T.L. (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. 3rd ed., RWS Publications: Pittsburgh, USA.
- Saaty, T.L. y Hu, G. (1998) Ranking by eigenvector versus other methods in Analytic Hierarchy Process. *Appl. Math. Letters* 11(4), 121-125.
- Saaty, T.L. y Takizawa, M. (1986) Dependence and independence from linear hierarchy to nonlinear network. *European Journal of Operational Research* 26, 228-237.
- Saaty, T. L. y Ozdemir, M. S. (2003b). Negative priorities in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling* 37, 1063-1075.
- Saaty, T.L. (2005) *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. 3rd ed., RWS Publications.
- Saaty, T.L. y Shang-jeu, S. (2005) Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. *Socio-Economic Planning Sciences*. En prensa.
- Santelmann, M., Freemark, K., Sifneos, J. y White, D. (2006) Assessing effects of alternative agricultural practices on wild habitat in Iowa, USA. *Agriculture Ecosystems and Environment* 113, 243-253.
- Santiago, I. (2005) *Fundamentos de ArcGIS versión ArcView 9.1., tutorial de lecturas*. Área de Tecnologías de Información Gubernamental, oficina de Gerencia y Presupuesto. Puerto Rico.
- Schmitz, M.F., de Aranzabal, I., Aguilera, P., Rescia, A. y Pineda, F.D. (2003) Relationship between landscape typology and socioeconomic structure; Scenarios of change in Spanish cultural landscapes. *Ecological Modeling* 168, 343-356.
- Scofield, A.M. (1986) Organic Farming-The origin of the name. *Biological Agriculture and Horticulture* 4, 1-5.
- Shang, J., Tjader, Y. y Ding, Y. (2004) A unified framework for multi-criteria evaluation of transportation projects. *IEEE Transactions on Engineering Management* 51(3), 300-313.
- Sharifi, M.A. y Rodríguez, E. (2002) Design and development of a planning support system for policy formulation in water resources rehabilitation: the case of Alcázar De San Juan District in Aquifer 23, La Mancha, Spain. *Journal of Hydroinformatics* 04.3, 157-175.

- Sharifi, M.A., Van Herwijnen, M. y Van Den Toorn, W. (2004) *Spatial Decision Support Systems*. Documento de trabajo. ITC, Enschede, Netherlands.
- Stam, A. y Duarte S. (2003) On multiplicative priority rating methods for the AHP. *European Journal of Operational Research* 145, 92-108.
- Star, J. y Eastes, J. (1990) *Geographic Information Systems- an Introduction*. Prentice Hall, New Jersey.
- Steuer, R.e. (1986) *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application* Wiley, New York.
- Stoorvogel, J.J., Antle, J.M., Crissman, C.C. y Bowen W. (2004) The trade off analysis model: integrated bio-physical and economic modeling of agricultural production systems. *Agricultural Systems* 80(1), 43-66.
- Store, R. y Jokimaki, J. (2003) A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modelling. *Ecological Modelling* 169, 1-15.
- Store, R. y Kangas, J., (2001) Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning* 55, 79-93.
- Strager, M.P. y Rosenberger, R.S. (2005) Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA. *Ecological Economics*, article in press.
- Suárez, F. (2004) Aves y agricultura en España peninsular. En: J.L. Tellería (Eds.), *La Ornitología Hoy. Homenaje al Profesor Francisco Bernis Madrazo*. Editorial Complutense, Madrid.
- Sugihara, K., Maeda, Y. y Tanaka, H. (1999) Interval Evaluation by AHP with Rough Set Concept. *Springer-Verlag* 1711, 375-381.
- Sullivan, T.P. y Sullivan, D.S. (2006) Plant and small mammal diversity in orchard versus non-crop habitats. *Agriculture Ecosystems and Environment*. Artículo en Prensa.
- Thirumalaivasan, D., Karmegam, M. y Venugopal, K. (2003) AHP-Drastic: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environmental Modelling and Software* 18(4), 645-656.
- Thompson, W.A., Vertinsky, I., Schreier, H. y Blackwell, B. A. (2000) Using forest fire hazard modeling in multiple use forest management planning. *Forest Ecology and Management* 134, 163-176.

- Torres-Esuivias, J.A., Mulero-mendigorry, A., González-arenas, J. y Arenas-gonzález, R. (1992) *Plan Rector de uso y gestión del Parque natural de la Sierra de Cárdena y Montoro*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura y Medio Ambiente, Agencia de Medio Ambiente.
- Triantaphyllou, E. (2001) Two new cases of rank reversals when the AHP and some of its additive variants are used that do not occur with the multiplicative AHP. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 10, 11-25.
- Ulutas, B.H. (2005) Determination of the appropriate energy policy for Turkey. *Energy* 30, 1146-1161.
- U.S.D.A. Forest Service. (2003) *Ecosystem Management Decision Support 3.0 (EMDS 3.0)*. U.S. Department of Agriculture. Disponible en intrnet: <http://www.fsl.orst.edu/emds>.
- Vaidya, O.S. y Kumar, S. (2006) Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169, 1-29.
- Van der Horst, D. y Gimona, A. (2005) Where new farm woodlands support biodiversity action plans: a spatial multi-criteria analysis. *Biol Conserv* 123, 421-432.
- Van Remortel, R.D., Maichle, R.W. y Hickey, R.J. (2004) Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers and Geosciences* 30, 1043-1053.
- Vansnick, J.C. (1990) Measurement theory and decision aid in Readings. En: C.A. Bana y E. Costa (Eds.), *Multiple Criteria Decision Aid*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 81-100.
- Varela, C. y Sumpsi, J.M. (2002) Repercusiones ambientales de la política agraria europea. En: F.D. Pineda, J.M. de Miguel, M.A. Casado y J. Montalvo (Eds.), *La Diversidad Biológica de España*. Pearson Educación S.A., Madrid.
- Viladomiu, L. y Rosell, J. (2004) Olive oil production and the rural economy of Spain. En: F. Brouwer (ed.) *Sustaining agriculture and the rural environment, governance, policy and multifunctionality*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Waldhardt, R. (2003) Biodiversity and landscape- summary, conclusions and perspectives. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98, 305-309.
- Ward, D. (2004) *The Iberian Lynx Emergency Report*. Commissioned by: Dr Caroline Lucas MEP With the support of SOS Lynx.

- Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P. Y Anderson, A. (2002) Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modelling* 153, 143-155.
- Wang, Y.M. y Elhag, T.M.S. (2006) An approach to avoiding rank reversal in AHP. *Decision Support Systems* 42(3), 1474-1480.
- Wischmeier, W.H. y Smith D.D. (1978) *Predicting Soil Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDA Agricultural Handbook No. 537, 58 pp.
- Wu, Q., Wang, M. (2007) A framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach. *Journal of Hydrology* 337, 11-21.
- Wybo, J. L., Guarnieri, F. y Richard, B. (1995) Forest-fire danger assessment methods and decision support. *Safety Science* 20(1), 61-70.
- Xu, Z. (2000) On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP. *European Journal of Operational Research* 126, 683-687.
- Yoon, K.P. y Hwang, C.L. (1995) Multiple Attribute Decision Making. An Introduction. *Quantitative Applications in the Social Sciences* 104. Sage Publications, Londres.
- Yunlong, C. y Smit, B. (1994) Sustainability in agriculture: a general review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49(2), 299-307.
- Zeleny, M. (1982) *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw Hill, New York.
- Zhang, L., O'neill, A. y Lacy, S. (1995) Spatial analysis of soil erosion in catchments: a review of modelling approaches. International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM95). *Water Resources and Ecology* 3, 58-64.