

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES APLICADO AL PARQUE NATURAL SIERRA DE HUÉTOR

AUTOR/ES Y DIRECCIÓN COMPLETA:

F. J. BONET; M. CHIROSA; C. NORMAN; J. L. ROSÚA.

- 1) y 4) Dpto. Biología Vegetal. Universidad de Granada. Campus Fuentenueva, 18071. Granada. España.
- 2) y 3) Delegación Provincial de Medio Ambiente. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. C/ Marqués de la Ensenada, nº1, 18071. Granada. España.

## RESUMEN

En este trabajo mostramos las bases conceptuales y metodológicas de un sistema de apoyo a la toma de decisiones (SAD) aplicado al P. N. Sierra de Huétor. Mediante los SAD, es posible integrar información procedente de varias áreas de conocimiento, facilitando la generación de modelos del medio que satisfagan las necesidades del gestor y que cuenten con una suficiente base científica. Asimismo, permiten la espacialización de los resultados, mediante su integración en un sistema de información geográfica (SIG). Por otro lado, mostramos los resultados obtenidos al aplicar las metodologías anteriores a un problema concreto de gestión. Se trata de generar un modelo que ayude a identificar aquellas masas de pinares de repoblación cuyo aclarado es más recomendable con vistas a maximizar la tasa de colonización de las mismas por vegetación natural. Para ello hemos generado modelos parciales que hacen referencia a factores climáticos, topográficos, socioeconómicos, o relacionados con la vegetación actual. La integración de estos parámetros mediante técnicas relacionadas con la teoría de la decisión (lógica difusa, evaluación multicriterio) nos permite obtener un mapa final que muestra la aptitud de cada mancha de pinar de repoblación para ser aclarada con ciertas probabilidades de posterior colonización.

**P.C:** Sistema de apoyo a la toma de decisiones, teoría de la decisión, SIG, gestión forestal, espacios naturales protegidos.

## SUMMARY

In this paper we will show both the methodological and conceptual basis needed to develop a decision support system (DSS), useful for the management of Sierra de Huétor natural park. With DSS is possible to integrate information coming from several knowledge bodies, enhancing the creation of environmental models that satisfy the manager's requirements and hold sufficient scientific information. Furthermore, they allow a spatial representation of the results, by their integration into a geographical information system. By the other hand, we will show some results referring to the application of decision theory derived methods to a concrete management problem. We have developed a model that assists in the identification of artificial reforested patches whose thinning is more accurate in order to maximize the colonisation by natural vegetation. First of all, we have developed some partial models explaining the environmental factors implicated: climate, topography, socio-economical factors, existent vegetation cover ... The use of decision theory derived methods (fuzzy logic, multicriteria evaluation) allows the creation of a final map showing the suitability of each reforested patch in order to be affected by some thinning treatments that maximize the probability of being colonised by natural vegetation.

**K.W.:** Decision support system, decision theory, GIS, forest management, natural protected areas.

## INTRODUCCIÓN

Tras 11 años de existencia de la red de espacios naturales protegidos de Andalucía (Junta de Andalucía, 1989a), es posible poner de manifiesto una serie de carencias estructurales que afectan directamente a la gestión de los mismos. Entre estas carencias destaca la ausencia de un suficiente respaldo científico en algunas de las decisiones que toman los gestores y que tienen diversas implicaciones espacio-temporales. Asimismo, observamos que la mayoría de los ENP de nuestro entorno carecen de programas de gestión sectorial del medio (gestión forestal, cinegética, piscícola, etc.), a pesar de que su redacción está contemplada por la legislación. Esta situación suele justificarse debido a la alta inversión necesaria para obtener información temática detallada de un ENP dado.

En este trabajo proponemos un modelo de gestión del medio que integra la información temática actualmente existente, utilizando como soporte los sistemas de información geográfica y como fundamentos teóricos la lógica difusa y la teoría de sistemas ecológicos. Es decir, pretendemos generar modelos que muestren la dinámica de una serie de aspectos del medio natural, a partir de los cuales obtenemos "mapas de gestión" que asistan a la toma de decisiones. Incorporando tanto el conocimiento formal del medio como la experiencia de los gestores a este tipo de modelos, es posible suplir en muchas ocasiones las carencias provocadas por la falta de información a escala de detalle. Los modelos generados se caracterizan por su dinamismo y versatilidad, encontrándose a medio camino entre los SIG y los sistemas expertos: son los denominados sistemas de apoyo a la toma de

decisiones.

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SAD) proporcionan una serie de herramientas (técnicas, protocolos, modelos y procedimientos) que permiten una gestión adaptativa, integradora e interactiva (Rogers, 1995). El SAD es el puente tecnológico necesario entre gestión e investigación. En líneas generales, podemos decir que los SAD podrían aportar lo siguiente:

- Suministran un marco operativo para establecer y evaluar objetivos de gestión aceptables para la sociedad y abordables científicamente. Estos objetivos deben ser definidos en función de los conceptos ecológicos actualmente vigentes.
- Aportan un modelo predictivo de la naturaleza, dirección y tasa de cambio del sistema. Al mismo tiempo pueden actuar para evaluar las consecuencias de la gestión del medio natural.

La teoría de la decisión (Romero, 1996) suministra el marco conceptual y metodológico adecuado para asistir a la toma de decisiones en ciertos aspectos socio-económicos o de diseño de aparatos. Sin embargo, el uso de estos sistemas no se ha extendido tanto en campos como la gestión del medio natural y en la de espacios naturales protegidos. La carencia de SAD aplicados a la gestión del medio natural puede deberse a dos factores fundamentales: por un lado, la gestión de un territorio requiere una gran cantidad de información detallada que resulta difícil y cara de conseguir. Por otro lado, el carácter eminentemente espacial de esta modalidad de gestión ha dificultado el desarrollo de métodos de apoyo a la decisión en este campo.

De forma paralela al desarrollo de los métodos de ayuda a la decisión, hemos asistido a un incremento casi exponencial del avance de las herramientas que permiten manejar información geográfica de forma rápida y eficiente. Hablamos de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), que hoy por hoy son una herramienta insustituible a la hora de abordar cualquier proyecto de gestión del medio natural. La incorporación de algunas herramientas típicas de un SAD en ciertos SIG comerciales, ha permitido la “espacialización” de los métodos de asistencia a la toma de decisiones (Heywood *et al.*, 1994). De esta forma han surgido los denominados SAD Espaciales. Mediante estos nuevos sistemas se pueden generar modelos que integran distintos aspectos del medio natural, dando respuesta a las necesidades científicas que tienen los gestores a la hora de tomar decisiones. El uso de los SAD espaciales permite a técnicos o científicos procedentes de diversas disciplinas la participación en la elaboración de modelos cuyo resultado final es un “mapa de gestión” que permite al gestor tomar decisiones informadas sobre un aspecto determinado de sus competencias. Podemos definir aquí el “mapa de gestión” como el resultado de la integración de varias coberturas cartográficas temáticas referentes a distintos aspectos del medio (naturales, abióticos, sociales, económicos, políticos, etc.), mediante el uso de metodologías procedentes de la teoría de la decisión, con el objetivo final de obtener un documento que muestre distintas unidades homogéneas en lo que a su gestión se refiere.

En esta ponencia trataremos de demostrar la potencialidad de los métodos comentados anteriormente para gestionar el P. N. de la Sierra de Huétor. Concretamente comentaremos algunos resultados preliminares relativos al manejo de las repoblaciones forestales existentes en este parque.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El Parque Natural de la Sierra de Huétor se encuentra aproximadamente en el centro de la provincia de Granada, al noreste de su capital y al norte de Sierra Nevada. Se trata de un espacio protegido de 12.200 Has caracterizado fundamentalmente su riqueza faunística y forestal. No en vano el 70% (unas 9000 has) del parque está cubierto por bosques, lo cual nos da idea de la importancia de este recurso en la gestión del parque. De estas 9000 has de bosques, aproximadamente el la mitad (4500 has) son repoblaciones forestales especies del género *Pinus*. Asimismo, el parque cuenta con unas 2500 has de bosques mixtos de pinar-encinar y con 2000 has de encinares. Si bien algunas de estas repoblaciones se realizaron con el objetivo final de favorecer el crecimiento de frondosas bajo su cubierta, otras pretendían la obtención de beneficio económico de la explotación forestal (Ortuño & Ceballos, 1977) (Alcanda, 1999), mientras que en otros casos se pretendía frenar la erosión en zonas degradadas. Tanto el escaso rendimiento económico de las explotaciones forestales en nuestro ámbito (Junta de Andalucía, 1989b), como la evidente regeneración natural bajo algunos pinares, han provocado que buena parte de éstos sean considerados por las distintas disposiciones legales vigentes (PORN P. N. Sierra de Huétor: Junta de Andalucía, 1994, Plan Forestal Andaluz: Junta de Andalucía, 1989b, Ley Forestal Andaluza: Junta de Andalucía, 1992), como potencialmente sustituibles por

unidades de vegetación natural.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos afirmar que los gestores del P.N. Sierra de Huétor tienen entre sus objetivos de gestión la sustitución paulatina de estas masas forestales homogéneas, monoespecíficas y coetáneas, por otras más diversas y acordes con la realidad natural del monte mediterráneo. Dada la necesidad de llevar a cabo estas actuaciones, y teniendo en cuenta la ausencia de un presupuesto suficiente como para abordar la transformación de masas de forma global, es necesario diseñar herramientas que permitan ayudar al gestor a la hora de identificar aquellas teselas donde el tratamiento maximice la colonización de la vegetación natural en el territorio. Es en este punto donde pretendemos incidir en este trabajo.

La resolución de problemas decisionales de este tipo implica la consideración de varios factores relacionados con el medio natural y con aspectos socioeconómicos. En este caso hemos acudido a los métodos de evaluación multicriterio para diseñar una herramienta que asista a los gestores a la hora de decidir qué repoblaciones forestales deben de ser tratadas con más prioridad. Podemos distinguir las siguientes fases de trabajo:

1. Definición clara de los objetivos: en nuestro caso queremos identificar aquellos rodales cubiertos por pinares de repoblación, que deberían ser intervenidos (aclarados) prioritariamente con vistas a maximizar la regeneración natural del territorio.
2. Delimitación de la zona de actuación: en este ejemplo nos ceñiremos a todos los pinares de repoblación existentes en el P. N. Sierra de Huétor, y que son considerados como sustituibles por vegetación natural.
3. Elaboración de un modelo conceptual que contemple todos los parámetros a tener en cuenta en la toma de la decisión final. Este es el factor más importante, ya que implica un considerable esfuerzo de síntesis y de formalización de conceptos relativamente ambiguos. El primer paso que hemos dado para generar el modelo que nos ayude a responder a la pregunta inicial es la identificación de los posibles factores implicados.

3.1. Identificación de factores implicados: en general podemos distinguir dos tipos de factores.

- Factores ecológicos: hacen referencia a todos los parámetros bióticos o abióticos que determinarán que un pinar determinado sea más susceptible de ser intervenido que otro, maximizando así la probabilidad de que sea colonizado por vegetación natural. Aquí se incluirán factores como la potencia del suelo, climatología, vegetación circundante, topografía, vegetación subyacente bajo el pinar, etc.
- Factores socio-económico-políticos: en este otro grupo de factores incluimos aquellos que pueden decantar la intervención en un pinar o en otro en función de criterios relacionados con el impacto visual de un pinar o con la tasa de desempleo de un municipio dado, por ejemplo.

La representación gráfica de cada uno de estos parámetros se llevará a cabo en forma de mapas de aptitud de cada criterio. Es decir, obtendremos un mapa que valore cuantitativamente la idoneidad de cada punto para recibir tratamientos de clareo de coníferas en función de cada uno de los criterios anteriores. Por ejemplo, desde el punto de vista de la vegetación circundante, serán más aptas aquellas masas de pinar que se encuentren cerca de unidades de vegetación natural, ya que esto asegurará la colonización del pinar una vez que éste sea aclarado. De esta manera tendremos una lista de condiciones o de afirmaciones que se cumplen en toda la zona de estudio y que constituyen nuestra “base de conocimiento”. Las bases de conocimiento aportan el respaldo científico necesario para que los métodos de asistencia a la toma de decisión que estamos utilizando, adquieran una fiabilidad considerable. Las afirmaciones contenidas en estas bases de conocimiento son manejadas por programas que permiten la interrelación de las mismas, obteniéndose redes más o menos complejas que pretenden simular las condiciones naturales del problema considerado. En este caso hemos utilizado el sistema EMDS (Ecosystem Management Decision Support) (Reynolds, 1998b), que utiliza un gestor de bases de conocimiento denominado NetWeaver (Reynolds, 1998a).

3.2. Diseño de submodelos parciales. La gran cantidad de parámetros a tener en cuenta al a hora de seleccionar masas de pinar susceptibles de ser intervenidas, hace aconsejable el diseño de diversos modelos que engloben distintos aspectos del medio. Hemos considerado los siguientes submodelos:

- Submodelo de **aptitud abiótica**: Aquí se han incluido aquellos aspectos de carácter abiótico, que de darse en un lugar determinado de forma adecuada, aumentarán las

probabilidades de que ahí se implanten unidades de vegetación natural tras el aclarado del pinar. Fundamentalmente nos referimos a factores climáticos como la temperatura media, días de heladas, precipitaciones, y otros topográficos, como las orientaciones. La integración de los distintos parámetros se hace teniendo en cuenta los operadores suministrados por la lógica difusa (Yuan, 2000) y que están implementados en el sistema EMDS. Gracias a este sistema se puede obtener un mapa final que muestre la aptitud del territorio desde el punto de vista de los factores abióticos, teniendo en cuenta por ejemplo, que un lugar será apto sólo **si** las precipitaciones son abundantes **y** las heladas son escasas **y** las temperaturas medias son benignas **o** si la topografía es favorable.

- Submodelo de **aptitud biótica**: En este caso hemos considerado los factores bióticos que determinarán la idoneidad de un pinar de repoblación para ser aclarado. Se tienen en cuenta factores como la cercanía de unidades de vegetación natural a cada pinar, cobertura de los distintos estratos bajo el pinar, estado sucesional de la vegetación bajo el pinar o potencia de los suelos. Al integrar todos estos parámetros de la misma manera que en el punto anterior, obtenemos un mapa que muestra de forma cualitativa la idoneidad de cada punto para que en él se regenere la vegetación natural tras aclarar el pinar.
  - Submodelo de **riesgo de incendios**: En un ambiente mediterráneo como el nuestro, es fundamental tener en cuenta el posible riesgo de incendio a la hora de diseñar políticas de sustitución de pinares por vegetación natural. En este caso se tienen en cuenta los distintos modelos de combustibles forestales contenidos en el mapa de vegetación utilizado, la densidad de los pinares (que aumenta el riesgo de propagación de los incendios), y el estrés de la vegetación evaluado mediante sensores remotos (Yang, 1999).
  - Submodelo **empleo-propiedad**: Aquí se tienen en cuenta parámetros socioeconómicos como la tasa de desempleo de cada municipio (que puede decantar la concesión de jornales para trabajos forestales si las condiciones anteriores son similares) y la propiedad de la tierra (la administración forestal puede intervenir con más facilidad en los terrenos que son de su propiedad). El resultado final muestra la idoneidad del territorio para llevar a cabo actuaciones en los pinares desde este punto de vista.
  - Submodelo de **máscaras**: En este submodelo se incluyen las denominadas máscaras, que representan las limitaciones a las actuaciones forestales en ciertos lugares, donde hay nidos de rapaces, tejoneras, flora amenazada, riesgo de erosión, etc.
4. Realización del análisis multicriterio y obtención de resultados finales. Una vez elaborado el modelo conceptual, procedemos a evaluar los resultados parciales mediante técnicas de evaluación multicriterio. Gracias a estas técnicas se obtiene un mapa final que muestra la idoneidad de cada punto del territorio para que en él se lleven a cabo labores de clareo de repoblaciones forestales, con el objetivo de maximizar la recolonización de la vegetación natural. Esto es lo que denominamos mapa de gestión de repoblaciones forestales del P. N. Sierra de Huétor.

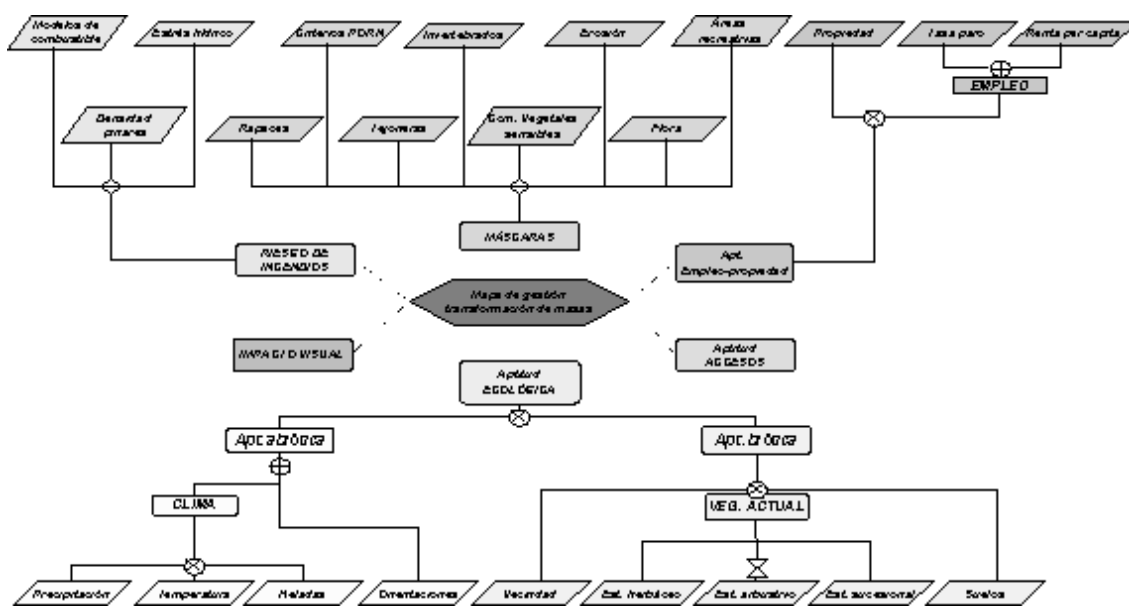
## RESULTADOS

A continuación se describen los resultados parciales obtenidos a la fecha de envío de este trabajo:

- El primer resultado obtenido, que al mismo tiempo es un requerimiento para cumplir con los objetivos de este trabajo, es la elaboración del mapa de vegetación a escala de detalle (1:10.000) del P. N. Sierra de Huétor. El levantamiento de esta información se ha realizado siguiendo la metodología propuesta por el equipo de trabajo de vegetación de la Red de Información Ambiental de Andalucía. Según este método se procedió a interpretar la vegetación sobre una fotografía aérea de infrarrojos, del año 1995. Los polígonos obtenidos se digitalizaron directamente en pantalla sobre la ortoimagen de satélite IRS-PAN 1998, propiedad de la Consejería de Medio Ambiente. El mapa de vegetación resultante ofrece información relativa a los siguientes parámetros: cobertura de los distintos estratos de la vegetación, naturalidad de la vegetación, ombroclima, termoclima, etapas de sustitución, combustibles vegetales, serie de vegetación, etc.
- Obtención de un modelo climático del P. N. Sierra de Huétor. Resulta fundamental contar con

información relativa a valores microclimáticos a la hora de generar modelos relacionados con la dinámica de la vegetación. Debido a que esta información no estaba disponible al comienzo de este trabajo, ha sido necesario generarla de novo. El procesamiento de la información disponible para cada estación termopluviométricas se ha realizado siguiendo la metodología propuesta por el sistema PRISM (Daly & Taylor, 1996). Este sistema se basa en el axioma que indica que al aumentar la altura se reduce la temperatura media y aumenta la precipitación de manera lineal (Daly & Taylor, 1996), lo cual permite hacer sencillas extrapolaciones desde unas pocas estaciones a todo el territorio utilizando un modelo digital de elevaciones.

- Diseño conceptual del modelo utilizado y puesta a punto de las metodologías necesarias para integrar toda la información temática disponible. En el esquema adjunto se observan los aspectos principales contemplados en nuestro modelo.



## BIBLIOGRAFÍA

ALCANDA, P.; (1999) Evolución de la profesión forestal y el concepto de desarrollo forestal sostenible.

DALY C. & TAYLOR H. (1996) Development of a new Oregon precipitation map using the PRISM model. En *GIS and environmental modelling: Progress and Research Issues*. Eds M.F. Goodchild, T.L. Steyert & B.O. Parks. John Wiley & Sons, Inc. pp. 91-92.

HEYWOOD, I., OLIVER, J., & TOMLINSON, S.; (1994) *Building an exploratory multi criteria modelling environment for spatial decision support*. EGIS. 632-641.

JUNTA DE ANDALUCÍA (1989). *Ley 2/98 de 18/07/1989, inventario de los espacios naturales protegidos de Andalucía y medidas adicionales para su protección*.

JUNTA DE ANDALUCÍA. CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. (1989). *Plan forestal andaluz*.

JUNTA DE ANDALUCÍA (1992). *Ley 2/92 de 15/06/1992, forestal de Andalucía*.

JUNTA DE ANDALUCÍA (1994). *Decreto 123/94 de 31/05/1994, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de la Sierra de Huétor*.

ORTUÑO F. & CEBALLOS A. (1977) *Los bosques españoles*. INCAFO.

REYNOLDS, KEITH M.(1998); (NetWeaver for EMDS User Guide (Version 1.1): A Knowledge Base Development System DRAFT USER GUIDE FOR CD DISTRIBUTION.

REYNOLDS, KEITH M.(2000); (EMDS Users Guide (Version 2.0): Knowledge-based Decision Support for Ecological Assessment.

DRAFT USER GUIDE FOR CD DISTRIBUTION (8 Oct 1998).

ROGERS K.H. (1995) Operationalizing ecology under a new paradigm: an african perspective. In *The ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystems, and biodiversity*. Ed S.T.A. Pickett. Nueva York: pp. 60-81.

ROMERO C. (1996) *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Isdefe. pp. 1-105.

YANG, W.(1999); (AVHRR-DERIVED NDVI AND ECOCLIMATOLOGICAL PARAMETERS: RELATIONSHIPS, SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITIES. ASPRS/ACSM.

YUAN, B. (2000) From ordinary (crisp) sets to fuzzy sets: a grand paradigm shift. En *Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications*. Eds G.J. Klir & B. Yuan. New Jersey: Prentice hall PTR. pp. 1-33.