

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN COMO HERRAMIENTAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN LA GESTIÓN DEL MEDIO NATURAL

Francisco J. Bonet García

Centro Andaluz de Medio Ambiente. Universidad de Granada – Junta de Andalucía. Avda. Mediterráneo s/n. 18006-GRANADA (España). Correo electrónico: fjbonet@gmail.com

Resumen

En este documento abordamos de forma general el papel que pueden jugar los sistemas de información como herramientas de apoyo a la toma de decisiones en la gestión del medio natural. La primera parte trata estas cuestiones desde un punto de vista “teórico”, incidiendo en las bases teóricas de la gestión, la teoría de la decisión y los sistemas de información. La segunda parte del artículo muestra un caso concreto donde se tratan de poner en práctica los aspectos teóricos anteriores. En este caso práctico se muestra un modelo espacial que pretende asistir a la toma de decisiones a la hora de transformar los pinares de repoblación no integrados en el medio en formaciones más acordes a la realidad natural del territorio.

Palabras clave: *SIG, Forestal, Pinares de repoblación, Espacios naturales protegidos*

¿QUÉ QUIERE DECIR GESTIONAR EL MEDIO NATURAL?

Según el diccionario de la real academia de la lengua española, gestionar significa hacer “algo” para conseguir un objetivo determinado. Aunque la definición suena sencilla, la realidad no lo es ni mucho menos. En el caso de la gestión del medio, la definición incluiría todas aquellas medidas conducentes a satisfacer una serie de objetivos en relación territorio gestionado. Generalmente el objetivo de la gestión del medio es evitar en la medida de lo posible el agotamiento de unos recursos naturales finitos, como consecuencia de la actividad humana. Esto implica que la gestión va encaminada a la implantación de procedimientos de uso más o menos sostenibles de los recursos naturales. Según lo anterior, el concepto de gestión sólo tendría sentido en presencia de la actividad humana. Los sistemas naturales donde el hombre no estuviera presente no requerirían ningún tipo de gestión o

manejo. Como esto no ocurre casi nunca, nos vemos obligados a gestionar nuestro medio natural.

El manejo o gestión del medio en el sentido en el que lo hemos descrito, presenta una serie de problemas que complican considerablemente la situación.

Probablemente no exageremos al decir que el principal problema que se plantea en la gestión ambiental es la enorme complejidad de los sistemas naturales. Predecir la dinámica de un bosque o la tasa de extinción de especies no es lo mismo que simular el rozamiento de un avión en un túnel de viento. Es decir, no puede ser modelizado con facilidad. Nos enfrentamos a problemas que afectan a sistemas complejos de los que conocemos sólo una pequeña parte de las reglas que los rigen y de las variables que intervienen en su funcionamiento. ¿Cómo podemos gestionar correctamente un encinar si no sabemos realmente cómo funciona? En definitiva, el problema se “reduce” a la ausencia de información de calidad para tomar

decisiones con un mínimo de fiabilidad (BRADSHAW *et al.*, 2000). La gran importancia que tradicionalmente se le da a la necesidad de contar con mucha información muy precisa para gestionar el territorio, procede probablemente de una interpretación demasiado mecanicista de la realidad. Según este punto de vista, la información es lo más importante para gestionar bien el medio. Sin ella no tendremos resultados admisibles. Este pensamiento puede tener sentido a la hora de aplicar estas teorías al diseño de aviones o a la maximización de inversiones, pero no cabe a la hora de gestionar un sistema inherentemente complejo y diverso como es el medio natural. Resulta evidente la necesidad de contar con información de calidad, pero los gestores no pueden quedarse quietos esperando a contar con ella. En muchas ocasiones, se ven obligados a tomar decisiones en condiciones de incertidumbre. Esta aproximación está dando paso a otra que asume la existencia de incertidumbre en los sistemas naturales. Actualmente contamos con procedimientos muy potentes que permiten integrar información ambigua para modelizar el comportamiento de procesos naturales y obtener una respuesta a un problema dado (ZAVALA *et al.*, 1997). Por otro lado, el problema de la falta de información de calidad está dejando de ser tan importante. Los sistemas de información ambiental existentes en la actualidad son capaces de satisfacer en buena medida las necesidades de información que tienen los gestores del territorio.

Derivado de lo anterior, observamos que los problemas ambientales suelen plantearse de manera poco clara. Los objetivos a conseguir son a veces ambiguos e incluso contrapuestos. Esto dificulta considerablemente el proceso de análisis previo a la toma de una decisión determinada. Si tenemos un problema ambiental pero no conocemos realmente sus causas, no podremos establecer unos objetivos claros y menos aún tomar una decisión fundada con poco riesgo de ser errónea.

Otro aspecto importante es la irreversibilidad de las decisiones tomadas en materia de gestión del medio. El hecho de trabajar con recursos no renovables o renovables a una tasa muy lenta, hace que las consecuencias de las decisiones sean muy importantes. Entre elegir una alternativa u otra a la hora de tratar de resolver un problema podemos estar poniendo en juego la supervivencia de una especie, un bosque, un lago, etc.

Por último citaremos una situación que trasciende los aspectos técnicos o científicos y que entra más en cuestiones sociales: el medio ambiente sigue sin ser un asunto prioritario en nuestra sociedad. Aunque se ha avanzado mucho en los últimos años, la problemática ambiental importa poco a los ciudadanos y por tanto a los políticos. Esto hace que se dediquen pocos fondos a estas cuestiones y que por tanto se haya avanzado poco en el diseño de mecanismos de gestión eficaces.

El conjunto de todas las situaciones anteriores que complican enormemente la gestión del medio natural, hacen que los problemas a los que se enfrentan los gestores se hayan denominado “problemas perversos” (del inglés *wicked*) por varios autores (ALLEN *et al.*, 1986; RAUSCHER, 1999). Este tipo de problemas se caracterizan porque no tienen una formulación sencilla. Cada uno de los agentes implicados en los mismos puede definirlos a su manera. Además cada definición puede ser más o menos útil en función del concepto de utilidad. Los “problemas perversos” no tienen una solución que pueda ser considerada como correcta o incorrecta, sino que puede ser mejor o peor en función del concepto que tengamos de bueno o malo. La única forma realmente válida de comprobar la bondad de una solución es aplicarla y ver “qué pasa”. Estos problemas no tienen un conjunto finito de posibles soluciones numerables, sino que hay un gradiente entre soluciones más o menos extremas. Los gestores se ven obligados a enfrentarse a estos problemas prácticamente sin tener derecho a cometer errores. En la mayoría de los casos toman decisiones de manera prematura y sin haber evaluado previamente la situación con suficiente cautela. El día a día impone un frenético ritmo que dificulta cualquier análisis.

Cuando nos enfrentamos a esta situación, ocurre con frecuencia que la gestión se convierte en un permanente gabinete de crisis donde sólo se intentan resolver problemas. Estaríamos en una situación de gestión pasiva de los recursos naturales. Esta modalidad de gestión se basa en una actitud de respuesta frente a los problemas que se plantean. El gestor se dedica casi exclusivamente a resolver los problemas que van cayendo en su mesa. No tiene tiempo para nada más. Por ejemplo, se trataría de una Administración Ambiental que sólo se plantea el problema de los incendios forestales cuando el bosque está ardiendo, sin pre-

ocuparse de la prevención. En estos casos no hay planificación de la gestión, lo cual redundaría en una menor calidad del servicio prestado. La gestión pasiva suele darse en los inicios del proceso de gestión de los recursos, cuando la disponibilidad de medios materiales y humanos es escasa (VICENS i PERPINYÀ, 2002). Esto coincide con un mayor número de problemas, como consecuencia del inicio del proceso de gestión.

Pero, ¿es posible resolver los “problemas perversos” y alcanzar un modelo de gestión activa (GÓMEZ-LIMÓN, 2000) de los recursos naturales? Podemos diseñar procedimientos para resolver estos problemas, pero para ello necesitamos aproximaciones diferentes a las actuales. Los métodos tradicionales de resolución de problemas (basados en la estadística, análisis de sistemas, etc.) funcionan bien en los “ambientes controlados” de la ciencia y la tecnología, donde se acotan múltiples parámetros y el efecto distorsionador del ser humano está muy minimizado. Por ejemplo, resultaría sencillo “gestionar” un trozo de bosque dentro de un invernadero. Sólo tendríamos que controlar aspectos como el riego, abonado, luz, temperatura, etc. Pero, ¿qué ocurre cuando intentamos manejar el mismo trozo de bosque en el campo? Aparecen situaciones como la sequía, los incendios, el pastor que quiere meter su rebaño, el cazador que quiere repoblar con conejos, el campista que no quiere comerse su bocadillo rodeado de cabras, el ecologista que cree que ningún humano debería entrar en el bosque, y un largo etcétera que al final convierten la gestión un “problema perverso”. Si aplicamos las herramientas tradicionales, que se basan en un concepto mecanicista y rígido del mundo, a este tipo de problemas, probablemente estemos abocados al fracaso (BARBER *et al.*, 1990). Actualmente podemos utilizar otros métodos para afrontar estas situaciones. Conceptos y herramientas como la *teoría de la decisión*, *sistemas de información*, *lógica difusa*, *teoría de la complejidad*, *caos*, etc., comienzan a consolidarse como herramientas para la resolución de problemas con tanta validez científica como la mejor ecuación newtoniana. Se trata de métodos que permiten la incorporación de variables difícilmente cuantificables a situaciones propias de la gestión del medio natural o que son capaces de almacenar la experiencia de una persona en una

base de datos. En definitiva, son metodologías que pretenden sistematizar la forma en la que nuestro “sentido común” resuelve los problemas.

Creemos que el uso de estas “nuevas” metodologías puede contribuir a la implantación de modos de gestión activa de los recursos naturales. Frente a la gestión pasiva, la activa se caracteriza por la planificación coherente de las actuaciones a realizar. Es decir, se trata de prevenir que haya incendios, en lugar de sólo apagarlos, volviendo al ejemplo anterior. En los siguientes apartados trataremos de mostrar cómo los sistemas de información pueden jugar un importante papel en el proceso de diseñar mecanismos de gestión activa de los recursos naturales.

ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE LA TEORÍA DE LA DECISIÓN

Como hemos comentado en el apartado anterior, gestionar se traduce en buena medida en tomar decisiones sobre un problema determinado. Resulta interesante analizar desde un punto de vista teórico el proceso de toma de decisiones. En este apartado realizaremos este análisis general.

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, decisión es una resolución que se toma o se da en una cosa dudosa. Cuando se plantea un problema en cualquier ámbito, casi siempre nos vemos obligados a tomar una decisión para tratar de resolverlo. Sin embargo, en el ámbito que más nos interesa aquí (toma de decisiones en la gestión del territorio), el concepto de decisión suele implicar una cierta distribución de recursos en un sentido determinado. Si ante un problema de riesgo de extinción de una especie, decidimos diseñar un plan de cría en cautividad, es necesario dotar con una serie de recursos dicha decisión. La persona o personas capaces de tomar decisiones suele denominarse centro decisor. Al aumentar el nivel jerárquico del centro decisor lo hacen también los riesgos asumidos al tomar la decisión y la cantidad de recursos puestos en juego en la misma. Este centro decisor suele tomar decisiones en función de una serie de objetivos, que no son más que lo que se pretende alcanzar mediante la distribución de recursos que implica la toma de decisiones.

Un centro decisor determinado suele valerse de una serie de criterios (que pueden ser propios

o bien pueden venir dados desde fuera), definiéndose éstos como los aspectos que son considerados importantes para tomar la decisión. Y aquí es donde empieza a complicarse la situación. Los criterios pueden variar en función de la personalidad de cada centro decisor, o en función de su formación, intereses personales, obligaciones políticas o sociales, etc. Son los criterios los que incorporan un mayor grado de discrecionalidad al proceso de toma de decisiones, y esto complica enormemente la modelización del proceso.

El proceso mediante el cual, el centro decisor combina sus objetivos, con los criterios que tiene para lograrlos, y que conduce a una decisión final, se denomina análisis de la decisión. De forma más o menos consciente y estructurada todos llevamos a cabo un análisis de la situación antes de tomar una decisión determinada. Evaluamos las ventajas e inconvenientes de una decisión, analizamos las posibles consecuencias, los costes que ocasionará, etc. En definitiva, simulamos mentalmente el proceso de toma de decisiones, generando un modelo que nos permite evaluar a priori el resultado de la decisión. Volviendo al Diccionario de la Real Academia, observamos (entre otras acepciones) que un modelo es una representación en pequeño de alguna cosa. En efecto, un modelo no es más que una simplificación de una realidad compleja que resulta difícil estudiar en su conjunto. Mediante modelos lógicos o matemáticos se pueden representar las relaciones entre los distintos factores que afectan a la decisión que debemos tomar. Así podemos aprender cómo funcionan estas relaciones, al mismo tiempo que podemos estimar las posibles implicaciones de la toma de decisiones.

Hay otros conceptos muy importantes a la hora de describir el proceso de toma de decisiones. En primer lugar necesitamos contar con varias alternativas para compararlas y decidir cuál es la que mejor se ajusta a los objetivos. El proceso de análisis consiste en comparar varias alternativas que se diferencian en la forma en la que se combinan los criterios, la importancia relativa de cada uno, etc. Una vez que nos decidimos por una alternativa, surge uno de los grandes problemas del proceso de toma de decisiones: la incertidumbre. A veces se le llama suerte, pero en realidad la incertidumbre es un concepto inherente a todo sistema complejo. La incertidumbre surge de la incapacidad que tenemos

de controlar todas las variables que están implicadas en un proceso concreto. Aunque es imposible evitarla, podemos evaluar la incertidumbre mediante métodos estadísticos de complejidad variable. Lofti Zadeh plasmó la incertidumbre en su principio de incompatibilidad: “conforme aumenta la complejidad de un sistema, se reduce nuestra capacidad de hacer afirmaciones precisas y suficientemente significativas sobre su comportamiento, hasta llegar a un umbral sobre el cual la precisión y la relevancia son conceptos mutuamente excluyentes”. La combinación del proceso de análisis de la decisión, con la incertidumbre inherente al sistema, da lugar a un resultado. El hecho de que la incertidumbre forme parte del resultado hace que éste también sea incierto. En otras palabras, no podemos asegurar que el resultado se ajuste al objetivo por muy elaborado que sea el proceso de análisis de la situación (GOUGH *et al.*, 1996). Por tanto, cuando el centro decisor opta por una alternativa, asume un cierto riesgo de que el resultado no se ajuste a sus objetivos.

La descripción del proceso de toma de decisiones que hemos realizado es la base de la Teoría de la decisión. Esta rama científica pretende sistematizar el proceso de toma de decisiones en los seres humanos para poder simularlo y aplicarlo a la resolución de problemas concretos. De manera algo más formal, la teoría de la decisión es una teoría axiomática que permite tomar decisiones en condiciones de incertidumbre.

La simulación del proceso de análisis decisional requiere una simplificación determinada del sistema. Como hemos visto antes, se trata de modelizar el proceso de toma de decisiones. De hecho, el análisis de la dinámica de los sistemas complejos es similar al análisis de los procesos de toma de decisiones.

En definitiva, como conclusión a este apartado, podemos decir que los problemas perversos que conlleva la gestión pueden ser abordados de manera sistemática gracias a la teoría de la decisión.

SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES

En este apartado trataremos de integrar los conceptos descritos anteriormente: gestión del medio natural, teoría de la decisión y sistemas de

información geográfica. Estos conceptos confluyen en el de Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SAD). Los SAD, pueden definirse como un conjunto de procedimientos o mecanismos que facilitan el proceso de toma de decisiones utilizando para ello métodos procedentes de la teoría de la decisión. De manera algo más detallada, podemos decir que los SAD combinan la metodología del análisis de la decisión y los procedimientos para el manejo y de la información (procedentes de los Sistemas de Información). Es decir, la esencia de los SAD es la integración de la información meditante metodologías procedentes de diferentes fuentes, con el propósito de asistir al manejo de los sistemas complejos.

Antes de continuar describiendo los aspectos generales de los SAD, es necesario aclarar que estos sistemas no pretenden en ningún momento suplantar la decisión humana ni siquiera automatizarla. Su objetivo es poner a disposición de los gestores una serie de herramientas que pueden facilitar el complejo proceso de la toma de decisiones. Pero, ¿son realmente necesarios los SAD? Su uso se justifica en buena medida porque es prácticamente imposible que una única persona o un grupo multidisciplinar sean capaces de llevar a cabo el proceso de integración de las grandes cantidades de datos, los objetivos complejos y contrapuestos, y la inherente complejidad del sistema, necesario para tomar una decisión con posibilidades de ser correcta. Además de los impedimentos cognitivos anteriores (no somos capaces de integrar tanta información), hay otra serie de problemas que hacen necesario el uso de los SAD. Por un lado están los problemas económicos. Normalmente no disponemos de los suficientes recursos como para llevar a cabo caracterizaciones del medio lo suficientemente detalladas como para obviar el uso de los SAD. Tampoco hay recursos humanos suficientes como para crear múltiples equipos multidisciplinarios que asistan a la toma de decisiones. Por último, los SAD permiten incorporar el factor tiempo en el proceso de modelización de la decisión. Podemos evaluar cómo responderá el sistema en distintas situaciones temporales. Esto no es posible sin un SAD. En general los SAD mejoran considerablemente los resultados de la toma de decisiones incidiendo en los siguientes aspectos:

1. Facilitan el proceso de identificación de los factores implicados en el problema a resolver.
2. Asisten a la hora de elegir entre las posibles alternativas antes de tomar la decisión.
3. La sistematización del proceso de toma de decisiones hace que éste sea reproducible con facilidad. El proceso está documentado, es transparente y puede ser evaluado. Esto reduce notablemente la arbitrariedad y subjetividad del proceso de toma de decisiones.
4. Por último y muy importante, aumentan considerablemente la capacidad de explicar y justificar las decisiones que se han tomado. Esto se debe a la capacidad de análisis, despliegue y procesamiento de la información con la que cuentan. De esta manera su uso nos permite conocer mejor el proceso que estamos analizando, lo cual redundará en una mejora de la decisión tomada.

Una de las principales aportaciones de los SAD, es la generación de un protocolo de trabajo común a la hora de resolver un problema decisional concreto. Este protocolo se basa en los siguientes pasos:

1. *Identificación del problema.* Es fundamental conocer de la forma más clara posible cuál es el problema que debemos abordar. Aunque parezca obvio, no siempre es tan fácil identificar los orígenes de los problemas de índole ambiental. Por ejemplo, un problema sería: la Administración ambiental tiene la obligación de proponer una serie de montes públicos para que en ellos se lleven a cabo asentamientos apícolas. Sin embargo, no cuenta con la información necesaria para ello.
2. *Determinación de objetivos.* Una vez identificado el problema, tenemos una idea aproximada de su importancia y de las posibilidades que tenemos de abordar su resolución. La plasmación de una serie de objetivos realizables es un ejercicio que nos muestra el grado real de comprensión que tenemos del problema. Los objetivos deben de ser claros y concisos. En el ejemplo anterior, uno de los objetivos que nos podemos plantear sería: generación de un modelo que nos permita determinar la potencialidad de los montes para albergar asentamientos apícolas.
3. *Identificación de los factores que intervienen en el proceso.* El siguiente paso implica

la identificación de todos los factores bióticos, abióticos, socioeconómicos, etc., que puedan intervenir en el proceso que estamos modelando. Este paso es uno de los más importantes, ya que estos factores serán los que se integren para generar un resultado final. Esto suele requerir la consulta a expertos, así como una intensa búsqueda bibliográfica que nos permita documentarnos sobre el funcionamiento del sistema que estamos modelizando. Volviendo al ejemplo anterior, los factores a considerar podrían ser: vegetación, insolación, cercanía a puntos de agua, accesibilidad, temperaturas, precipitaciones, propiedad del suelo, etc.

4. *Integración de la información.* Aquí se da el verdadero proceso de integración de información y es donde se lleva a cabo el análisis decisional propiamente dicho. La integración de toda la información requiere la existencia de una serie de métodos matemáticos relativamente complejos, en los que la lógica difusa juega un papel importante (KLIR, 2000; REYNOLDS, 2001; ZADEH, 1965). Estos métodos de integración son muy variados, pero casi siempre comparten una característica: tratan de emular la forma de pensar de los seres humanos mediante la elaboración de un modelo conceptual o lógico. Mediante estos modelos se relacionan los factores determinados anteriormente. Así, siguiendo con el ejemplo, el modelo conceptual podría implicar el postulado de una serie de afirmaciones (axiomas): Las zonas aptas para albergar colmenas son aquellas ocupadas por matorrales melíferos y están en la solana y tienen cerca un punto de agua o están cerca de un carril transitable. Dentro de los métodos de integración también podemos encontrar otros más cuantitativos. La denominada ecuación universal para la evaluación de la pérdida de suelo, podría ser un ejemplo de este tipo (D'ANGELO et al., 2000). La aplicación de esta expresión no es más que la integración de una serie de factores (erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, etc.) mediante un modelo diseñado empíricamente. En definitiva, es en este proceso donde se produce el verdadero análisis decisional del que hablábamos al principio. Aquí se plasman los cri-

terios del centro decisor, así como su particular punto de vista sobre el problema considerado. El proceso de modelización resultante dará unos resultados u otros en función de cómo se hayan seleccionado e integrado los factores implicados en el problema a resolver. Esto dará lugar a varias soluciones alternativas, lo que nos lleva a la siguiente fase:

5. *Evaluación de alternativas.* Como consecuencia de la elaboración de un modelo que trate de resolver un problema ambiental dado, se obtiene una serie de alternativas en función de las distintas aproximaciones realizadas. Y es aquí donde suele acabar la asistencia a la decisión aportada por estas metodologías. Es el momento de que el centro decisor se decante por una u otra alternativa. Cada alternativa se caracterizará por un mayor o menor riesgo, o por diferente grado de incertidumbre, etc. El centro decisor elegirá entre la que más se adapte a sus criterios o necesidades. A pesar de que la última decisión siempre la toma una persona, el procedimiento realizado ofrece una predicción aproximada de las consecuencias de las distintas alternativas. Si continuamos con el ejemplo anterior, podremos obtener varios modelos de aptitud para albergar colmenas en el territorio, en función del tipo de parámetros considerados y de la metodología utilizada para integrarlos. Una alternativa puede considerar que sólo la vegetación es importante, mientras que otra considera que la aptitud final de una zona con vegetación poco adecuada se compensa con la bondad de otros parámetros. El centro decisor evaluará las distintas alternativas y optará por una determinada.
6. *Evaluación de la decisión adoptada.* Con esta última fase se cierra el ciclo de la asistencia a la toma de decisiones. Cuando el centro decisor opta por una de las alternativas se inicia un proceso de evaluación de las consecuencias de la misma. Esta evaluación es muy importante ya que nos permite aprender mucho sobre la dinámica del proceso modelizado. Se implanta de esta forma un ciclo de gestión adaptativa similar al propuesto por la aproximación ecosistémica para la gestión de los recursos (MITCHELL, 1999). En el ejemplo del mapa apícola se evaluará el grado de satis-

facción de los apicultores a la hora de poner sus colmenas en las zonas propuestas por el modelo. Si éstos demandan lugares considerados como poco aptos por el modelo, habrá que evaluar con detalle esta situación. Los resultados de esta evaluación retroalimentarán al modelo, lo cual redundará en una mejora sustancial del mismo.

TRABAJO EN EQUIPO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Trabajar en un “entorno” con sistemas de información fomenta la integración y la coordinación entre los miembros de equipos multidisciplinares. Para ello abundaremos en un concepto interesante: los SIG como el lenguaje de la geografía (DANGERMOND, 2005). Si admitimos que realmente los SIG son una forma de comunicación con unas reglas definidas, podemos asumir que aquellas personas que comparten dicho lenguaje podrán comunicarse con más facilidad en este entorno. Una de las características más interesantes de los SIG como lenguaje es que simplifican la realidad notablemente y nos permiten visualizarla con facilidad en un entorno gráfico amigable. Otra característica es la gran versatilidad que muestran a la hora de unir la parte gráfica con la alfanumérica. Todo esto hace que podamos ver el mundo a través de la ventana de los SIG. Cuando son varias personas de diferentes formaciones las que aportan su diferente “visión del mundo” y la integran en un SIG, este efecto facilitador se ve notablemente amplificado. Es decir, aparecen fenómenos de sinergia de gran importancia. En esta situación es más fácil para el experto en suelos, por ejemplo, entender la dinámica de la vegetación a través de un SIG, que intentar entenderla mediante otros métodos. En otras palabras, la capacidad de integración, de almacenamiento y de visualización de información que tienen los SIG trasciende al propio sistema informático y facilita a las personas que trabajan en él la mejor comprensión de las distintas realidades particulares. Cuando se trata de resolver problemas con una componente geográfica (y la gestión de los recursos naturales indudablemente la tiene), los SIG suministran un lenguaje común para la comunicación de los dis-

tintos profesionales implicados. En este contexto el SIG actúa como nexo de unión de los “mínimos conocimientos comunes” que necesitan tener los profesionales para poder entenderse entre sí.

Si a un sistema de información (entendido como un almacén de información básica), le incorporamos conceptos relacionados con los sistemas de apoyo a la decisión, el resultado es más interesante aún. En estos casos no sólo almacenamos una visión simplificada de la forma en la que cada experto describe la realidad, sino que además podemos almacenar la forma en la que cada experto resuelve un problema determinado. Gracias a la aplicación de la teoría de la decisión o la de los conjuntos difusos a los SIG, podemos acercarnos bastante a registrar en un sistema informático la experiencia de un grupo de personas que trabajan juntas para resolver un problema dado. Casi sobra decir en qué medida favorece esto la creación de equipos multidisciplinares, que trabajarán probablemente en un ambiente mucho más productivo que si no se recurre a un sistema de información como repositorio único de datos, procesos y experiencias personales. En esa situación creemos que es más alcanzable la deseada gestión activa de los recursos naturales que comentábamos al principio del texto.

CASO PRÁCTICO: MANEJO DE PINARES DE REPOBLACIÓN

Identificación del problema

El P. N. Sierra de Huétor tiene una superficie de unas 12.200 ha y se encuentra en el centro de la provincia de Granada, al noreste de su capital. Tiene un marcado carácter forestal, ya que casi las dos terceras partes de su superficie están ocupadas por formaciones arboladas. De dicha superficie arbolada, unas 4.000 ha son pinares de repoblación con densidad variable. Dichos pinares pueden considerarse como formaciones vegetales paraclimáticas. Es decir, se encuentran de alguna manera alejados de las tendencias sucesionales naturales de la vegetación. Su elevada densidad modifica notablemente las condiciones biofísicas en su interior y eso reduce enormemente la capacidad de autoregeneración de la masa y la probabilidad de que dicha masa sea colonizada por vegetación natural. Además esta gran densidad aumenta la

probabilidad de que se inicien y propaguen los incendios forestales. Estas características ecológicas explican que la legislación forestal actualmente vigente promulgue su sustitución paulatina por unidades de vegetación natural (AMA/IARA. CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA, 1989).

Sin embargo, los trabajos necesarios para dicha naturalización de los pinares, son tan caros que resultan inabordables a gran escala. Por ello es necesario establecer prioridades a la hora de intervenir un pinar u otro. Cabe por tanto plantearse las siguientes cuestiones: en un territorio dado, ¿qué pinar de repoblación debe de ser aclarado en primer lugar para maximizar la regeneración de la vegetación natural bajo su dosel? ¿Responderán todos los pinares de repoblación de la misma manera a los tratamientos? En un escenario donde los recursos económicos son limitados, la resolución de la cuestión anterior permite la optimización de dichos recursos.

Objetivos

El objetivo básico de este trabajo, fue el de generar una herramienta que ayudara al gestor del territorio a responder las preguntas anteriores. Para lograr dicho objetivo recurrimos a los métodos de almacenamiento, gestión y análisis de la información ambiental implementados en un SIG. Al mismo tiempo se utilizaron procedimientos propios de las herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

El resultado final que se obtiene en este trabajo es un “mapa de gestión” (BONET, 2003) que asigna un grado de aptitud a los distintos pinares de repoblación desde el punto de vista de su idoneidad para recibir tratamientos selvícolas de aclarado tendientes a favorecer la regeneración de la vegetación natural. Así, por ejemplo, un pinar situado en una zona llana y rodeado de vegetación natural bien conservada, tendrá mucha más aptitud según los objetivos planteados, que otro situado en una fuerte pendiente, sobre suelos esqueléticos y sin vegetación natural adyacente. Si aclaramos el primer pinar, es probable que la vegetación natural invada el lugar con más rapidez que si aclaramos el segundo (donde probablemente aparecerán procesos erosivos tras el aclarado). Así, esta herramienta permite a los gestores priorizar los tratamientos selvícolas de aclarado en los pinares de repoblación, con objeto de ir sustituyéndolos por vegetación natural.

Generación de un modelo conceptual

Para generar el mapa de gestión anterior, fue necesario poner a punto una metodología de análisis que integrara la capacidad de manejo de información ambiental de los SIG, con las herramientas de apoyo a la toma de decisiones. El resultado obtenido puede considerarse como un modelo espacial basado en axiomas. En términos más comunes, el método utilizado consiste en repetir el razonamiento del párrafo anterior, incorporando todas las variables biofísicas que puedan determinar la capacidad de regeneración de la vegetación bajo los pinares, mediante la formulación de una serie de axiomas o afirmaciones que relacionan dichas variables. Así, por ejemplo, podríamos decir que un pinar tiene gran aptitud para los objetivos que nos planteamos, cuanto mayor sea la *profundidad del suelo* sobre el que se asienta y cuanto menor sea la *distancia* de éste a una *mancha de vegetación natural*. Cada una de las variables expresadas en negrita se corresponde con una capa de información digital de un SIG. La conjunción “y”, actúa como nodo o conector entre las distintas variables a la hora de integrarlas en el SIG. La capa digital resultante asignará una aptitud mayor a aquellos puntos que satisfagan las dos condiciones comentadas en el ejemplo.

El primer paso para poner en práctica la metodología anterior, consiste en “poner en papel” todos los axiomas o razonamientos que se consideran importantes dentro del proceso natural que se está modelizando. Se trata de plasmar en un lenguaje comprensible por un sistema informático, la experiencia y los conocimientos que se tienen sobre la dinámica de la vegetación en el ámbito que nos ocupa. Este proceso da lugar a lo que se denomina “modelo conceptual”.

Con objeto de simplificar la exposición y de sistematizar el proceso de elaboración del modelo conceptual, se ha dividido el mismo en varios submodelos conectados jerárquicamente. Así, se puede considerar que un lugar ocupado por un pinar de repoblación denso es apto para que en él se lleve a cabo un claro con vistas a potenciar la regeneración de la vegetación natural, si cumple las siguientes condiciones:

- Las condiciones *ecológicas* del lugar deberán favorecer la regeneración de la vegetación. Es decir, será necesario que las condiciones

climáticas sean adecuadas y que haya suficientes fuentes de semillas en los alrededores, que los suelos sean profundos, etc.

- Los factores **socioeconómicos** también condicionan en gran medida la idoneidad de un pinar de repoblación para que se lleven a cabo tareas de clareo. Estos tratamientos deberían ejecutarse en lugares con elevada tasa de paro (para tratar de revitalizar la economía local). Por otro lado es más fácil intervenir en montes públicos propiedad de la administración. También se incluyen aquí los criterios definidos por el PORN del P. N. Sierra de Huétor.
- Por muy interesante que sea sustituir los pinares de repoblación por vegetación natural, esto no debe de ir en contra de la conservación de **especies** animales o vegetales amenazados. Las zonas aptas para la intervención deben de estar alejadas de las áreas de distribución de estos taxones especialmente sensibles.

Cada uno de estos tres submodelos se desglosa en otros jerárquicamente inferiores. Así, por ejemplo, dentro del submodelo de factores ecológicos, un pinar tendrá gran aptitud si reúne una serie de condiciones bióticas y abióticas. Dentro de las condiciones bióticas, un pinar tendrá gran aptitud según los objetivos que se plantean si tiene unas condiciones edáficas determinadas, la vegetación natural adyacente tiene capacidad de colonizar el pinar y la vegetación subyacente al pinar tiene capacidad de regenerarse una vez aclarado el estrato arbóreo. De esta manera se puede ir descendiendo en la red hasta llegar a las capas de información digital. Así, en el caso de la vegetación natural subyacente al pinar, consideramos que un pinar es tanto más apto para los objetivos planteados cuanto mayor sea la densidad del estrato arbustivo y cuanto más cerca del clímax sucesional se encuentre dicha vegetación subyacente. Para implementar este razonamiento en un SIG, es necesario contar (en el caso del ejemplo) con dos capas de información: una que muestre la distribución de las distintas formaciones vegetales de la zona de estudio y otra que indique la densidad del estrato arbustivo.

Una vez definido el modelo conceptual, es fundamental identificar todas las variables

implicadas, con objeto de recopilarlas o generarlas si no existieran. En este caso se ha contado con la información digital recopilada por la Red de Información Ambiental de Andalucía (MOREIRA, 1993) que ha suministrado tanto ortofotografías aéreas, como mapas de suelos, modelos de elevaciones, mapas de distribución de especies, etc. En total, el modelo conceptual elaborado cuenta con 19 variables de diversa naturaleza que se corresponden con otras tantas capas de información digital que se requieren para ejecutar el modelo. La ejecución del modelo implica la integración de todas las capas mediante los conectores descritos más arriba. Cada uno de estos conectores es interpretado por el SIG como una operación matemática entre las distintas capas que se integran.

Integración de la información y obtención de resultados

Utilizando las aplicaciones informáticas adecuadas, capaces de realizar análisis espaciales sobre las capas de información contenidas en el árbol decisional descrito en el apartado anterior, obtenemos una nueva capa de información que muestra la aptitud de cada pinar según los objetivos iniciales planteados.

Si se analiza de forma genérica la zona de estudio, observamos que, en el P. N. Sierra de Huétor, los pinares objeto de este estudio tienen en general una aptitud alta para regenerar la vegetación natural bajo su dosel una vez que se aclaren. De hecho, más de la mitad de los pinares (Figura 1) tienen una aptitud media o alta. Sólo algunos pinares situados a gran altitud tienen una aptitud baja o muy baja, ya que se encuentran lejos de manchas de vegetación natural que actuaría como fuente de semillas y además carecen de vegetación subyacente para promover la regeneración una vez aclarados. Los pinares que adquieren una aptitud alta se caracterizan por estar rodeados de formaciones de vegetación natural, como encinares o matorrales. Estos pinares se encuentran en el extremo oriental del Parque, donde están englobados en una matriz de encinares bien conservados. Por último, se observa que la distribución de la aptitud por el espacio responde a un patrón heterogéneo, acorde con la topografía y con la distribución horizontal de la vegetación en el

Parque. Este análisis genérico de los resultados permite a los gestores de dicho Parque responder a la pregunta que se planteó al principio: ¿qué pinares debemos aclarar en primer lugar si queremos maximizar la regeneración de la vegetación natural bajo los mismos? Aunque es evidente que el modelo generado tiene múltiples puntos débiles (excesiva inferencia en algunas variables, modelo conceptual discutible, etc.), el resultado obtenido plasma en un mapa de gestión una visión determinada sobre el problema planteado. Es decir, el resultado obtenido es manifiestamente mejorable, pero lo interesante es precisamente eso, que el resultado sea mejorable. Gracias a las herramientas utilizadas, se pueden sentar las bases para ir mejorando progresivamente el modelo.

Agradecimientos

Este trabajo no habría podido desarrollarse sin la ayuda del personal de la Delegación Provincial de medio ambiente de la Junta de Andalucía en Granada y del Servicio de Evaluación e Información Ambiental. Ellos aportaron los medios materiales para la realización de este trabajo. El proyecto fue financiado por una beca predoctoral de la Junta de Andalucía.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, G.M. & GOULD, E.M.; 1986. Complexity, wickedness, and public forests. *J. Forestry* 84: 20-23.
- AMA / IARA. CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA; 1989. *Plan Forestal Andaluz*. I.A.R.A. / A.M.A. Junta de Andalucía. Sevilla.
- BARBER, K.H. & RODMAN, S.A.; 1990. FORPLAN: The marvelous toy. *J. Forestry* 88: 26-30.
- BONET GARCÍA, F.J.; 2003. *Herramientas de apoyo a la toma de decisiones aplicadas a la gestión forestal del Parque Natural Sierra de Huétor y LIC de Sierra Arana*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- BRADSHAW, G.A. & BORCHERS, J.G.; 2000. Uncertainty as Information: Narrowing the Science-policy Gap. *Conservation Ecology* 4.
- DANGERMOND, J.; 2005. *Speaking the language of geography: GIS*. *ArcNews*. <http://www.esri.com/news/arcnews/fall04articles/speaking-the-language1of2.html>
- D'ANGELO, M.; 2000. Mitigating land degradation in Mediterranean agro-silvo-pastoral systems: a GIS-bases approach. *Catena* 40: 37-49.
- GÓMEZ-LIMÓN, J.; 2000. *Conclusiones de los talleres del esparc 2000. Plan de acción para los espacios naturales protegidos del estado español: una visión desde la gestión*. Olot.
- GOUGH, J.D. & WARD, J.C.; 1996. Environmental decision-making and lake management. *J. Environ. Manage.* 48: 1-15.
- KLIR, G.J.; 2000. From ordinary (crisp) sets to fuzzy sets: a grand paradigm shift. In: *Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications*: 1-33. New Jersey. EUA.
- MITCHELL, B.; 1999. El enfoque ecosistémico. *En: La gestión de los recursos y del medio ambiente*: 65-86. Madrid. España.
- MOREIRA, J.M. Y GÍMENEZ, P.; 1993. El Sistema de Información Ambiental de Andalucía. SinambA. Una herramienta para el análisis y gestión del medio ambiente. *En: II Congreso de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica*.
- RAUSCHER, H.M.; 1999. Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: A review. *Forest Ecol. Manage.* 114: 173-197.
- REYNOLDS, K.M.; 2001. *Fuzzy logic knowledge bases in integrated landscape assessment: Examples and Possibilities*. USDA-Northwest. Oregon. EUA.
- VICENS I PERPINYÀ, J.; 2002. La gestión activa en los Parques Naturales, una asignatura pendiente. *Ecosistemas* 2: 1-6.
- ZADEH, L.A.; 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8: 338-353.
- ZAVALA, M.A. & BURKEY, T.V.; 1997. Application of ecological models to landscape planning: the case of the Mediterranean basin. *Lands Urban Plann.* 38: 213-227.

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN COMO HERRAMIENTAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN LA GESTIÓN DEL MEDIO NATURAL

Francisco J. Bonet García

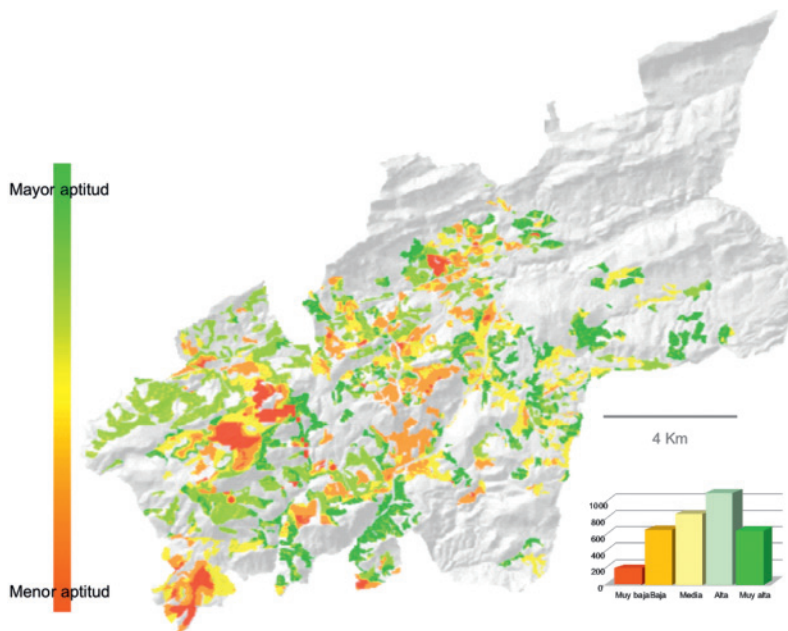


Figura 1. Muestra de forma general los resultados obtenidos en el P. N. Sierra de Huétor. El mapa indica la aptitud de los distintos pinares de repoblación según los objetivos planteados inicialmente. El gráfico representa la distribución superficial de las distintas clases de aptitud