

Aplicación de los S.I.G. en el estudio del territorio: la cabecera alta del Guadarrama

Luis RODRÍGUEZ ALCALDE y José Ignacio SÁNCHEZ CARBONELL

Licenciados en Geografía.

RESUMEN: En el artículo se valora la oportunidad del uso de los Sistemas de Información Geográfica en las diferentes fases de un estudio territorial, basado en una metodología analítica y cualitativa, habiéndose elegido como zona piloto la cabecera alta del río Guadarrama (Madrid). Se consideran las potencialidades y problemas que representa. Entre sus ventajas destaca la capacidad de georreferenciación de los elementos, naturales y sociales, que conforman un espacio, y su facilidad para relacionarlos, además de su rápida actualización. De los aspectos mejorables, se subrayan los problemas detectados en la etapa de recogida y selección de la información y su posterior introducción en el sistema.

DESCRIPTORES: Análisis territorial. Métodos de investigación. Sistemas de Información Geográfica.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En la búsqueda de un conocimiento profundo y de un uso más racional del territorio, el análisis integral, que recoge las características del conjunto de elementos y sus interrelaciones que conforman un espacio, superando el estudio de éstos por separado, debe detectar las claves de organización y dinámica de un territorio, sentar las bases para la óptima utilización de sus recursos, compatibilizando las condiciones naturales con las actividades humanas, y en etapas posteriores, ser el instrumento con que los planificadores puedan elaborar programas de acciones

o actuaciones capaces de llevar a cabo los objetivos propuestos.

En un marco donde se cuestiona la actual Ley del Suelo, existen dificultades sobre legislación urbanística en el medio rural así como la necesidad de compatibilizar medio ambiente con desarrollo, los S.I.G. aplicados a la Ordenación del Territorio abren nuevas perspectivas para el análisis territorial y pueden, a corto plazo, ser un apoyo a las necesidades que tienen los Organismos e Instituciones, tanto públicos como privados, de contar con la información e instrumentos adecuados que garanticen un conocimiento territorial a la hora de la gestión, control y planificación de un ámbito espacial.

Un primer problema que suele plantearse en el momento de trabajar sobre un territorio es el de cómo articular toda la gama de información disponible. Esta información se suele caracterizar por ser de desigual calidad, encontrarse dispersa, sometida a escasa depuración y

[Recibido el 23-06-96].

Este artículo ha sido realizado a partir del trabajo efectuado con la ayuda concedida por el XV Concurso Público de Ayudas a la Investigación, convocado por la SEPTOP del MOPTMA en 1996.

apenas estar referenciada territorialmente (TROITINO VINUESA, en prensa). La aplicación del S.I.G. al estudio integral del territorio ofrece varias aportaciones privilegiadas en este sentido:

- El almacenamiento, localización, análisis y recuperación de gran cantidad de datos espaciales y múltiples bases cartográficas con la peculiaridad de poder relacionarlas y combinarlas rápidamente.
- Posibilidad de ajustarse periódicamente a los continuos cambios del territorio.

La utilización de Sistemas de Información Geográfica ofrece la ventaja, sobre otros procedimientos, de dar soluciones a problemas cruciales en el manejo de los datos: entrada, archivo/gestión y salida de la información; proporcionando además el soporte gráfico necesario para dibujar los mapas y gráficos asociados al análisis que se quiere realizar. La información temática expresada en mapas se puede combinar de múltiples maneras conforme al modelo que se diseñe como más adecuado, y sin perder nunca la referencia territorial.

2. OBJETIVOS

El proyecto que se resume en este artículo tuvo como objetivo fundamental la aplicación de un Sistema de Información Geográfica a una metodología analítica y cualitativa en el análisis y diagnóstico integral del territorio, valorando las posibles ventajas de su utilización, habiéndose elegido como zona piloto la cabecera del río Guadarrama (Madrid).

Ante el cuestionamiento actual de los modelos de planificación por su rígida estructura aportar, mediante el S.I.G., una mayor flexibilidad, gracias a la capacidad analítica de este soporte informático.

Por último, generar e integrar nueva información a partir de la ya existente.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO Y ESCALA DE TRABAJO

El área estudiada forma parte del sector central de la Sierra de Guadarrama, incluida

en el Sistema Central que divide Madrid de las provincias de Ávila y Segovia. Esta Sierra, en su conjunto, forma una de las dos grandes unidades geológicas representadas en la Comunidad de Madrid: la Sierra y la Depresión del Tajo.

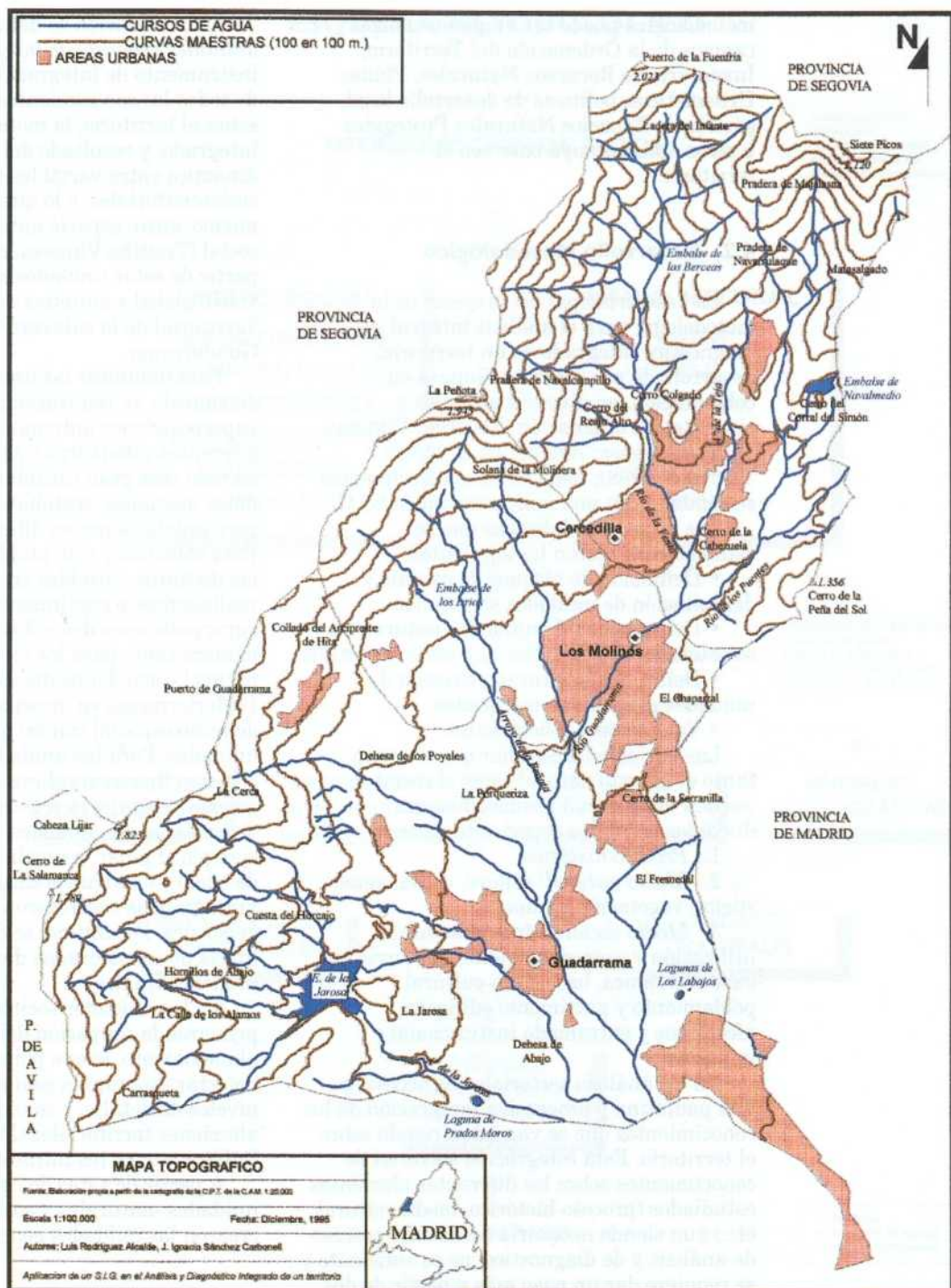
El ámbito de estudio se encuentra en la vertiente madrileña de este sector central de la Sierra, formando la cabecera alta del río Guadarrama, distando de Madrid unos 60 km. El área piloto en la que se considera la aplicación de esta metodología se circunscribe a los términos municipales de Cercedilla, Guadarrama y Los Molinos, que abarcan un área total de 112 Km² (ver mapa 1) La escala de análisis y diagnóstico ha sido, generalmente, 1:25.000, aunque en casos puntuales por falta de información se ha trabajado con escalas menores y se ha llegado a la escala de trabajo por reducción de la información. La representación de resultados, en un principio prevista a la misma escala, se ha representado finalmente a 1:50.000, dadas las características de la información recogida.

Aunque es un espacio reducido y no permite percibir en su totalidad la organización espacial de la comarca, se consideró suficiente como zona-piloto para analizar algunas problemáticas actuales como la presión urbanística y de ocio en áreas de montaña, la presencia de grandes infraestructuras (autopistas, embalses, etc.) dentro de una zona de interés natural, problemas que son extrapolables a otros ámbitos mayores.

4. METODOLOGÍA

4.1. Planteamiento Metodológico General

La metodología aplicada en este proyecto está encaminada a conseguir una operatividad plena en el análisis integral y diagnóstico de un territorio. Se parte de una doble reflexión: por un lado la aplicación de una metodología en un Estudio Territorial, y por otro, las posibilidades que ofrece la tecnología de los S.I.G. Este intento de imbricación



MAPA I: Mapa topografico de la zona de estudio.

Fuente: Cartografía de la Consejería de Política Territorial. 1:25.000.

metodológica puede ser ampliado a otros campos de la Ordenación del Territorio, Inventario de Recursos Naturales, Planes Urbanísticos, políticas de desarrollo local, gestión de Espacios Naturales Protegidos u otros ámbitos cuya base sea el territorio.

4.2. Desarrollo Metodológico

La base principal del proyecto es la metodología para el análisis integral y diagnóstico integrado de un territorio, desarrollada por Troitiño Vinuesa en colaboración, en diversos artículos y proyectos de ordenación (TROITIÑO VINUESA, 1986, en prensa; ARENILLAS, BURGUÉS Y TROITIÑO, 1988); tomándola como referencia se combina con una aplicación típica S.I.G.

Las fases metodológicas que se establecieron fueron las siguientes:

- Definición de bloques de estudio y delimitación de unidades sectoriales.
- Delimitación de unidades naturales y socioterritoriales.
- Delimitación y caracterización de unidades geográficas integradas.
- Valoración y conclusiones.

Las variables a estudiar que abarcan tanto el aspecto natural como el social se pueden definir en 3 grandes bloques divididos en varios soportes temáticos:

1. *Proceso histórico*
2. *Medio natural*: relieve, clima, agua, suelos, vegetación, fauna.
3. *Medio social*: infraestructuras, utilización y aprovechamiento del territorio, base económica, base socio-cultural, poblamiento y patrimonio edificado, afecciones y entramado institucional e impactos.

En los análisis sectoriales es necesaria, una paulatina y progresiva integración de los conocimientos que se van adquiriendo sobre el territorio. Esta integración sectorial de conocimientos sobre los diferentes elementos estudiados (proceso histórico, medio natural, etc.) aun siendo necesaria dentro del proceso de análisis y de diagnóstico, no es suficiente y se requiere dar un paso más y partir de dos tipologías de unidades básicas: *las unidades naturales y las unidades socioterritoriales*. Las primeras integran todas las variables concernientes al medio natural y las segundas las referentes al espacio social.

A continuación se delimitan las *unidades geográficas integradas*, instrumento de integración por excelencia de todos los conocimientos adquiridos sobre el territorio, la meta del análisis integrado, y resultado del equilibrio dinámico entre variables naturales y socioterritoriales, o lo que viene a ser lo mismo, entre espacio natural y espacio social (Troitiño Vinuesa, en prensa). A partir de estas unidades se expone una visión global y sintética del Modelo Territorial de la cabecera alta del río Guadarrama.

Para delimitar las unidades sectoriales y de síntesis, se realizaron multitud de superposiciones automáticas con las diferentes coberturas o capas temáticas. Este método crea gran cantidad de unidades y datos asociados, tratables técnicamente, pero poco prácticas por su dificultad de manejo. Para solucionar este problema se agruparon las distintas variables en grandes categorías, realizándose a continuación las superposiciones dos a dos. Se procedió de esta manera tanto para los elementos del medio natural como del medio social. Posteriormente se incorporaron criterios de dominio espacial con los que obtener las unidades. Para las unidades naturales estos criterios fueron el relieve (alturas y geomorfología) y la vegetación, que delimitaron las unidades a nivel general, por ejemplo el pinar; a escala de detalle, el tipo de suelo y en algunos casos las cuencas hidrográficas concretaron estos límites generales. Por último, se eliminaron las líneas no consideradas dando lugar a las unidades finales.

En las unidades socioterritoriales primaron la ocupación del suelo y el planeamiento, lo que por ejemplo permite detectar una rápida competencia de usos en niveles de detalle, y se concretaron con las afecciones territoriales (Montes de Utilidad Pública, etc.) y las infraestructuras.

A partir de estas dos grandes tipos de unidades -naturales y socioterritoriales-, se crearon las unidades geográficas integradas.

4.3. Esquema Metodológico

En la página siguiente se recoge el esquema metodológico que se siguió en el proyecto.

ESQUEMA METODOLÓGICO



GRAFICO 1: Esquema metodológico adaptado para el presente artículo a partir de Troitño Vinuesa (en prensa)

5. VALORACIÓN DEL MEDIO

A partir del análisis y diagnóstico integrado realizado y de las unidades geográficas integradas que de él se han derivado se concluyeron una serie de

valoraciones generales del medio con el fin que puedan servir como base a una adecuada gestión de este espacio, y que se exponen a continuación. Se delimitaron las siguientes unidades geográficas integradas (ver mapa 2):

UNIDADES GEOGRÁFICAS INTEGRADAS

CATEGORÍA	ÁREA (Has.)	%
1. AREAS URBANAS DE PIEDEMONTE	2.095,1	18,6
2. ZONAS AGRICOLAS	88,3	0,8
3. UNIDADES CON APROVECHAMIENTO AGROPECUARIO	4.136,2	36,8
4. LADERAS DE ALTO VALOR ECO CULTURAL	1.974,0	17,5
5. LADERAS DE FRENTES DE SIERRA DE BASE FORESTAL	2.240,5	19,9
6. CUMBRES CON ECOSISTEMAS POCO DEGRADADOS	574,1	5,1
7. AREAS DE INTERES NATURALISTICO A NIVEL REGIONAL	133,9	1,2
TOTAL	11.242,1	100

La cabecera alta del río Guadarrama es un territorio muy humanizado desde antiguo, estando atestiguada la presencia romana desde el siglo I, entre otras causas por su carácter estratégico como zona de comunicaciones entre las dos mesetas, a través de los pasos serranos del puerto de Tablada, Guadarrama, la Fuenfría y de Navacerrada (este último fuera del área de estudio). Tradicionalmente dedicado a la ganadería y silvicultura, a partir de las primeras décadas de este siglo comienzan a configurarse los elementos que marcaran su situación actual, con la llegada de los primeros turistas y el comienzo de un fuerte proceso urbanizador.

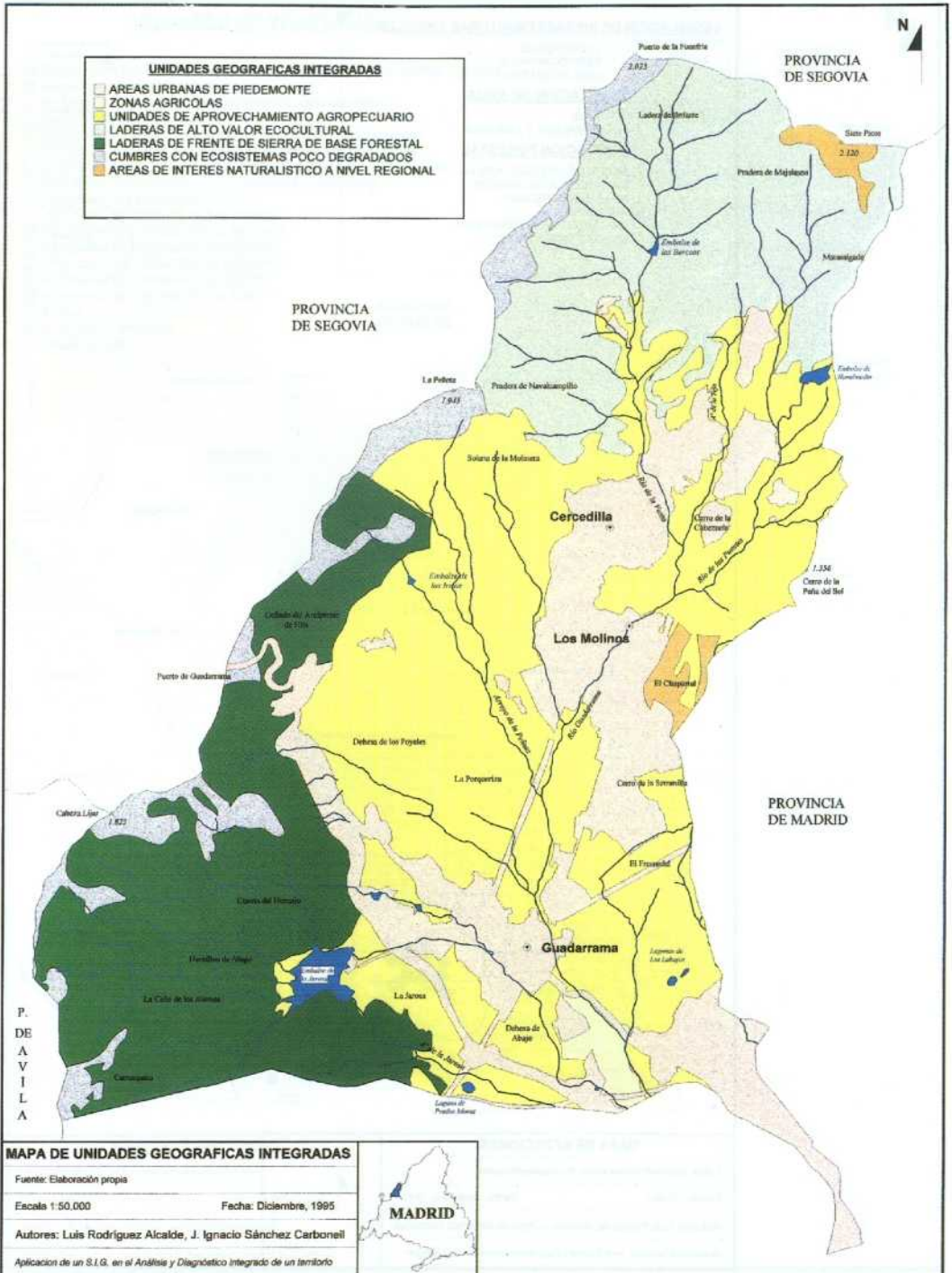
Hoy son dos los aspectos que conforman esta zona, por otro lado característicos de otras áreas de montaña: es uno de los principales espacios naturales con que cuenta la Comunidad de Madrid, con importantes valores paisajísticos, geomorfológicos, culturales, etc., y es visitado anualmente por una cifra superior a la mitad de su población, es decir casi tres millones de personas. Confluyen, en estos dos aspectos, valor natural/espacio de ocio, los recursos y

oportunidades que ofrece el territorio, con los problemas que ello genera.

5.1. Recursos y oportunidades

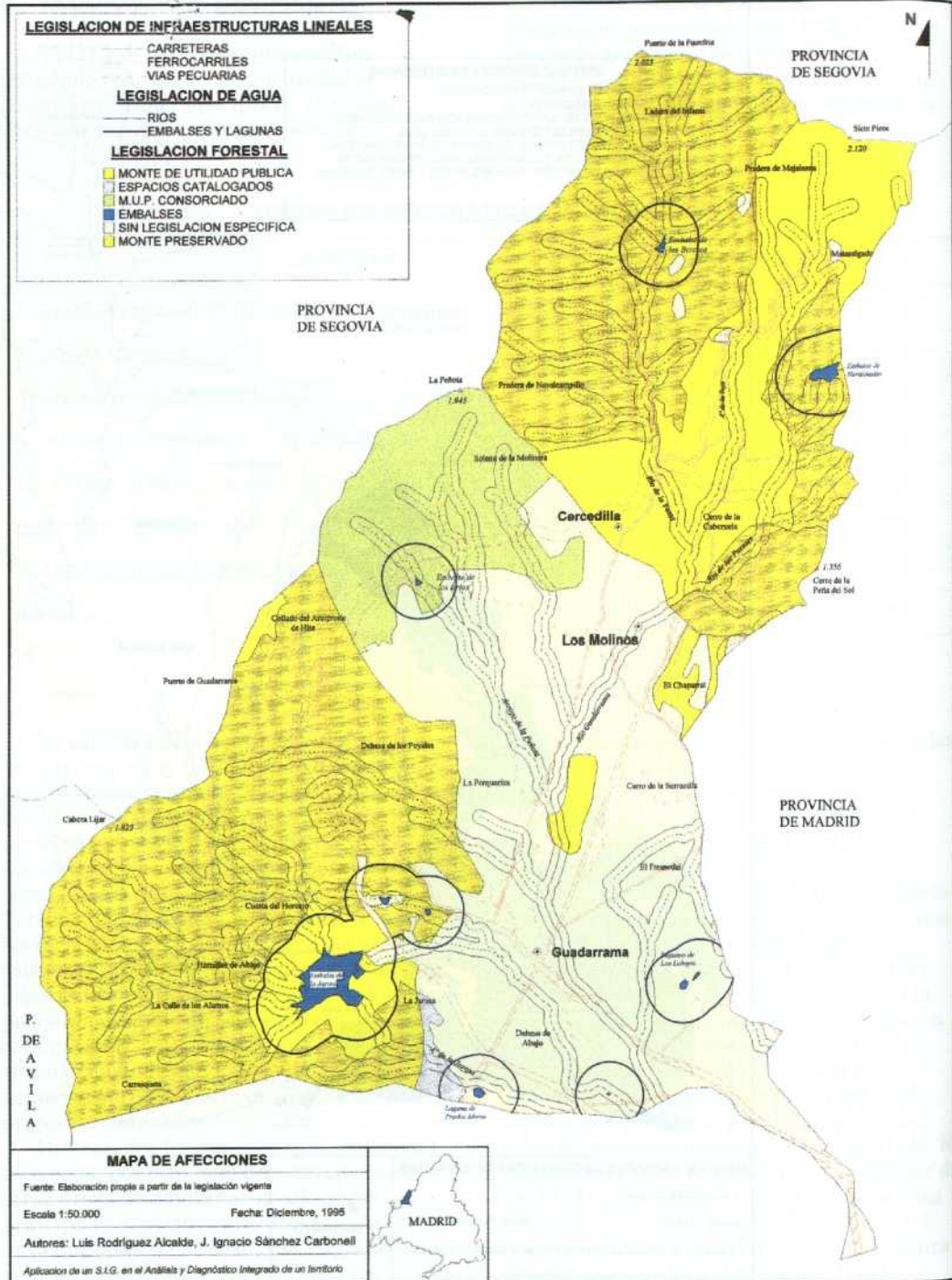
Los recursos que un espacio natural ofrece abarcan a todas las variables físicas y sociales que en él se encuentran (vegetación, suelo, estructura de la población, etc.). A partir de ellos se generan unas oportunidades para la población que los explota y aprovecha, que en definitiva dependen en buena parte de la calidad del medio donde se realizan las actividades. Hablando para el conjunto del territorio se pueden destacar los siguientes:

– *Espacio de montaña bien conservado.* El 80,8 del territorio se encuentra por encima de los 1.000 m. de altura, con cotas que oscilan entre los 870 m. del piedemonte y los 2.136 del Alto de Siete Picos. La vegetación cuenta con pinares de alto valor estético ligados a fisonomía de la sierra y ejemplares de tejo, serbal y acebo, especies protegidas dentro de la Comunidad de Madrid. Cuenta con espacios catalogados por la C.A.M. por su interés natural (ver mapas 1, 3, 4)



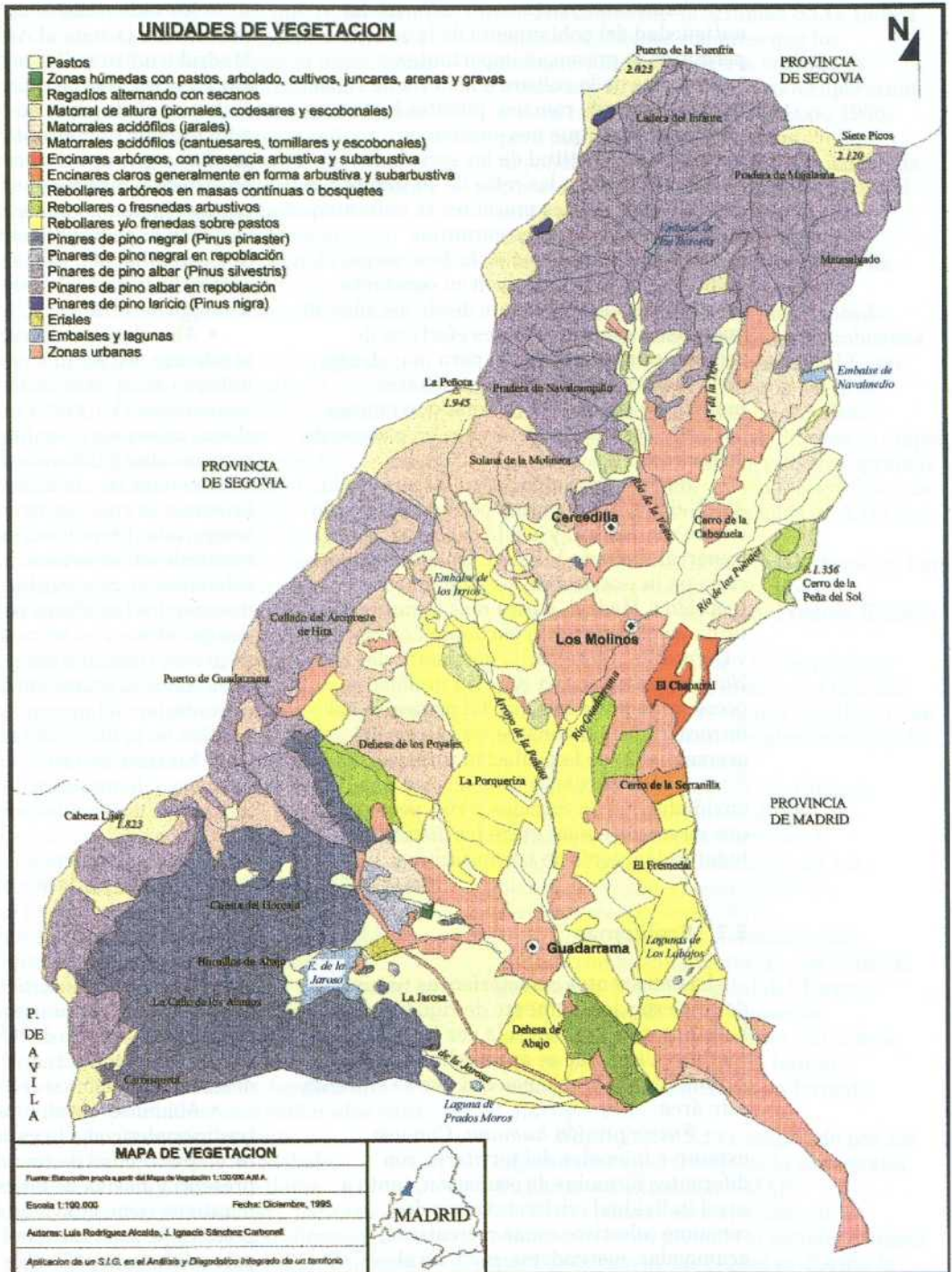
MAPA 2: Mapa de Unidades Geograficas Integradas.

Fuente: elaboración propia.



MAPA 3: Mapa de afecciones.

Fuente: elaboración propia.



MAPA 4: Mapa de vegetación.

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa de vegetación 1:100.000 del A.M.A.

– *Importante patrimonio cultural.* La antigüedad del poblamiento de la zona ha permitido la presencia importantes testimonios de la cultura e historia de siglos pasados (calzada romana, puentes históricos, vías pecuarias), que nos enseñan a comprender la actitud de las sociedades anteriores frente a los retos de su tiempo y a que las generaciones presentes se enfrenten a los suyos con mayores garantías.

– *Evolución positiva de la base socio-cultural.* Con una población en constante crecimiento, especialmente desde los años 50, que cuenta con importantes efectivos de jóvenes, con una media de paro muy debajo de la nacional –la media para los tres municipios es del 10%–, y unos porcentajes bastante aceptables de jóvenes en proceso de formación.

– *Buenas comunicaciones.* El paso de la A-6/N-6 por Guadarrama permite un rápido enlace con Madrid y con la cabecera comarcal, Collado-Villalba. Guadarrama se sitúa en la isocrona de los 30 minutos respecto a Madrid, y poco más tiempo se tarda en el recorrido a y/o desde Los Molinos y Cercedilla. La cercanía del puerto de Navacerrada coloca a Segovia también a pocos minutos de la zona. La presencia del ferrocarril ha sido una de las causas del acercamiento de la población urbana a la Sierra. El área cuenta también con una envidiable red de caminos y vías pecuarias, que sirven de enlace entre los distintos lugares de interés de los municipios.

5.2. Problemas

Las atrayentes características naturales de este espacio son fuente de riqueza para los habitantes de la zona. A la vez las condiciones en que se aprovecha es causa de algunos de los problemas con que se enfrenta este área.

– *Fuerte presión humana.* Con uso extenso e intensivo del territorio, con diferentes fórmulas de ocupación, tanto a nivel individual (vivienda) como de consumo colectivo (zonas recreativas, acampadas, merenderos, etc.). Es el elemento perturbador más importante, por su intensidad, llegando a triplicarse la población en los meses de verano, y duración en el tiempo, del que se derivan una serie de conflictos:

- Elevado número de visitantes. La cercanía de la zona al Área Metropolitana de Madrid (cuatro millones de habitantes a 60 km.) y la escasez de espacios naturales y de recreo en el conjunto de la Comunidad acerca a un elevado número de visitantes, que producen graves alteraciones en los ecosistemas más frágiles, primero en el paisaje, la fauna y posteriormente en la vegetación, principalmente. En las Dehesas de Cercedilla, 300 Ha., se pueden contabilizar hasta 10.000 personas un domingo de verano.

- Abundante construcción de 2ª residencia. De los diversos factores que influyen en la localización de residencias secundarias (VALENZUELA RUBIO, 1976 cita el clima, paisajísticos-naturalísticos, accesibilidad y dotación de servicios) todos ofrecen aquí las condiciones idóneas para favorecer la creación de viviendas de temporada. En muchas ocasiones se han realizado sin someterse a los planes urbanísticos. Son muchos los autores que discuten los beneficios para la comunidad que generan estas economías, más causantes de graves impactos naturales y sociales. Señalamos la ocupación de vías pecuarias, degradación del paisaje, contaminación, pérdida de la identidad rural, ...

- En relación con lo anterior, observar la existencia de un sector servicios frágil y todavía dedicado a los servicios de distribución (comercio) y personales (ocio, hostelería), muy dependiente del turismo estacional. Hay que apuntar la importancia que están empezando a adquirir las empresas que prestan servicio a otras, los denominados servicios de producción (banca, seguros, etc.). Es a partir de la consolidación de esta tendencia cuando se puede producir el aprovechamiento de los efectos causados por las actividades turísticas para el desarrollo económico de los municipios.

- Abandono de algunas actividades tradicionales como la ganadería debido a la incompatibilidad de cierto tipo de ésta con la presencia masiva de visitantes. Solo se mantiene como actividad complementaria a pesar de la gran cantidad de superficie potencialmente utilizable (4.000 Ha. aptas para el aprovechamiento agropecuario, especialmente ganadero).

- Gestión territorial sectorial. La importancia que tiene este sector serrano en el conjunto de la Comunidad de Madrid y el

gran número de visitantes que recibe ha hecho de esta zona un espacio fuertemente intervenido. La administración autonómica ha realizado diversas inversiones especialmente en lo que a la gestión de los Montes de Utilidad Pública se refiere (montes que ocupan gran parte del territorio), regulando las visitas, alejándola de los ecosistemas más frágiles, promocionando la educación ambiental, manteniendo los montes, creando áreas recreativas, etc., pero ha faltado una visión global a la hora de plantearse la política regional.

Cualquiera que sea la estrategia de desarrollo que se plantee para el conjunto de la sierra, es preciso que integre las diferentes políticas sectoriales (turismo, ganadería, infraestructuras, medio ambiente,...), que en ocasiones tienen planteamientos contradictorios, manteniendo el equilibrio entre los intereses productivistas o de uso intensivo del territorio y las medidas conservacionistas. Es decir, hacer compatibles la protección de los recursos naturales y medio ambientales con la promoción del potencial productivo y humano. En la oportunidad de estos planteamientos, enmarcados en los conceptos de desarrollo sostenible y desarrollo local, seguramente apenas quepan dudas. Más difícil es establecer los límites que uso y conservación deben tener.

6. VALORACIÓN Y CONCLUSIONES

No existe una definición única sobre lo que es un Sistema de Información Geográfica, existiendo varias acepciones, pero se puede considerar la más extendida la realizada por el *National Center for Geographic Information and Analysis*, N.C.G.I.A.: "un sistema de *hardware*, *software* y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión" (BOSQUE SENDRA, 1992). Es, como se ve, una definición global, que incluye, en un único sistema, todos los diversos elementos, *hardware*, *software*, base de datos, ..., necesarios para la resolución de problemas territoriales.

Los diferentes programas S.I.G. tienen unas capacidades comunes que los definen: funciones para la entrada de información, para su archivo/recuperación y para la salida (CEBRIÁN Y MARK, 1986) pero también otras específicas, dependiendo de su calidad, que viene dada por el entorno o sistema operativo para el que ha sido diseñado, su tamaño, su orientación, etc. que condicionan las herramientas y cualidades concretas de que consta, y que lo distingue de los demás. En este trabajo se ha intentado considerar las potencialidades y problemas que surgen con el empleo de los S.I.G. en general, evitando la discusión sobre el programa concreto utilizado (Arc/Info).

Para el desarrollo de las diferentes etapas ha sido necesario manejar varios programas de Sistemas de Información Geográfica y de Diseño Asistido por Ordenador (C.A.D.) Son los siguientes:

- *Arc/Info 3.4 DPlus*: S.I.G. donde se han realizado los principales análisis y procesamiento de los datos. Produce ficheros en formato Arc/Info.

- *Arcview*: del mismo fabricante que Arc/Info, con el que se integra totalmente, permite la creación de mapas sencillos y con opciones para exportar los planos realizados a un procesador de textos.

- *Microstation v5*: C.A.D. utilizado por el Centro Informático de la Consejería de Política Territorial (C.A.M.) para la digitalización de sus planos, a los que se obtuvo acceso. Ficheros en formato *.DGN.

- *Idrisi 4.0*: S.I.G., formato raster, aunque con módulo vectorial, con el fin de generar un Modelo Digital del Terreno (M.D.T.) capaz de crear mapas de pendientes y de orientaciones, funciones que no posee el software de formato vectorial. Produce ficheros en formato *.IMG y *.VEC.

- *MapInfo 3.0*: S.I.G. empleado por sus capacidades en el diseño de la cartografía. Ficheros con extensión *.MAP.

Para elaborar este apartado de valoración se ha dividido el estudio en fases para cada una de las cuales se discute la oportunidad de utilización de un S.I.G. y su problemática, desde un punto de vista eminentemente práctico, relacionándola con los aspectos teóricos y globales presentes en los proyectos S.I.G.

Fases:

- Recogida y selección de la información
- Análisis y tratamiento de la información
- Delimitación de unidades y diagnóstico
- Cartografía

6.1. Recogida y selección de la información

La información con que se ha trabajado se ha recogido de la bibliografía y cartografía existente sobre el área de estudio y se ha complementado, para aspectos concretos, con trabajo de campo. Esto significa que se ha trabajado con fuentes de diversa índole con lo que los métodos de introducción de datos en el ordenador han sido también diferentes.

Han consistido en :

- Conversión de ficheros, desde Microstation e Idrisi a Arc/Info.
- Escaneado de mapas temáticos, generando ficheros de extensión .TIF
- Introducción de mapas temáticos

La *conversión de ficheros* es quizá uno de los pasos más habituales en informática y también en la información geográfica, campo este último donde no están todavía solucionados los problemas que esta conversión produce y que se deben tener en cuenta a la hora de iniciar un proyecto.

Microstation puede generar ficheros DXF, ficheros ASCII creados para el intercambio de datos, capaces de ser leídos por Arc/Info, pero su mayor capacidad de dibujo, generando planos con elementos complejos, impide que Arc/Info lea toda la información correctamente, produciéndose errores en los objetos de forma poligonal compleja, elipses, arcos elípticos, curvas verdaderas y en las cadenas y formas complejas.

El paso de ficheros de Arc/Info a Idrisi y desde éste, una vez realizadas las operaciones deseadas (mapa de pendientes y de alturas) a Arc/Info se realiza de forma rápida y sencilla.

La *entrada de información por escáner*, o lector óptico, no se ha podido realizar de manera totalmente automática al no contar con algunos de los programas presentes en el mercado capaces de vectorizar correctamente los datos creados, es decir convertir los datos raster procedentes del escáner al formato vectorial. Así el proceso se hace más largo y tedioso y ha consistido básicamente en la vectorización manual del fichero

digitalizando sobre pantalla. En la actualidad los programas de vectorización raster están aumentando su calidad en términos de tiempo de conversión y precisión.

Introducción de los atributos temáticos. Una vez finalizado el proceso de conversión hay que generar la base de datos espacial, es decir, crear la *topología* o localización relativa de los elementos respecto a los que le rodean, y la *geometría* o referenciación absoluta, a la información *importada*. Posteriormente es necesario añadirle la base de datos temáticos correspondiente a los elementos del plano. Para ello es necesario etiquetar cada objeto geográfico con un identificador o etiqueta unívoco al que asignarle la información temática correspondiente. Este paso puede ser más o menos costoso dependiendo de la complejidad de las coberturas, el tipo de datos, ...

Añadir a cada elemento del dibujo de las curvas de nivel de la zona de estudio (casi 1.000 líneas en el mapa final, depurado) el valor que cada altura representa es una tarea laboriosa que no se puede mecanizar. Más fácil resulta la incorporación de la información temática a un mapa de pocos polígonos, como el mapa de erosión (37 polígonos) o de asociaciones de suelo, (43 polígonos), donde además la visualización de la categoría que corresponde a cada objeto geográfico es más rápida, facilitando el proceso.

La entrada de información en un Sistema de Información Geográfica es uno de los principales problemas a los que se enfrenta esta técnica, al no existir una estandarización de los formatos de transferencia de ficheros -en A.E.N.O.R. se está trabajando para la normalización de la Información Geográfica Digital-, y producirse todavía poca información cartográfica y temática digital o ser ésta de poca calidad..

Entradas de precisión. Una situación habitual en los proyectos de ordenación es el trabajo con datos e información ya establecida, por ejemplo por el organismo contratante, en la bibliografía, en documentos oficiales, etc. Cuando esta información se refiere a medidas espaciales, como longitudes o áreas, es difícil hacerlas coincidir, a un nivel alto de precisión, con las originadas por el programa. En los sistemas de C.A.D. este es un problema superado por las denominadas "entradas de precisión" que permiten elegir las coordenadas, el ángulo, la

longitud o el área de un elemento. Solo la elección de coordenadas es normalmente posible en un S.I.G. del ámbito de los ordenadores personales o microordenadores (*desktop mapping*), lo que obliga, en caso de necesitarse precisiones absolutas, a levantamientos cartográficos. Como es lógico esto será un problema más o menos grave dependiendo de nuestra necesidad de información precisa.

6.2. Análisis y tratamiento de la información

Ya se ha comentado como en la fase de recogida de información han sido varias las fuentes a las que se ha recurrido. Debido a ello, en ocasiones, se obtiene información redundante (límites municipales, áreas urbanas, carreteras, etc.) y en diferentes escalas que no están dibujadas exactamente igual (exactitud posicional), bien por una incorrecta digitalización bien por el cambio de escala, lo cual es más comprensible. De esta forma se causan problemas de ajustes de líneas en las superposiciones y/o cartografía, además de distorsionar la realidad, arrastrando la inexactitud a los mapas derivados que contengan estos elementos (como se comenta en el apartado de problemas con las superposiciones, en las páginas siguientes).

Es obligado por tanto el retoque de las líneas u otros objetos geográficos para que coincidan cuando deben hacerlo. Al no contarse con levantamientos topográficos, la forma de subsanar en lo posible estos errores, es tener en cuenta la fiabilidad de las fuentes en un determinado tema (capacidad cartográfica de una institución, escala, objeto del mapa, etc.), la forma de obtenerlos y la manera en que se han introducido en la base de datos (control de la calidad de los datos por su historia, *lineage*, o procedencia de los datos, Comas y Ruiz 1993, pág. 139) además de tener en cuenta puntos de referenciación relativa. La exactitud que se pierde no es tan necesaria cuando lo que se busca es una buena cartografía temática para las diferentes variables, capaz de mostrar de forma clara y sencilla los resultados obtenidos y no la creación de mapas topográficos o levantamiento de planos, como por ejemplo en trabajos de ordenación.

Hay que tener en cuenta que esta exactitud no es mayor porque aumente la *precisión* de los datos facilitados por el S.I.G. en cualquier medición o coordenada, que puede llegar fácilmente a la décima de milímetro (4 decimales si la unidad de medida es el metro). La escala planteada para este trabajo es nominal ya que la escala real se pierde por los errores introducidos en la digitalización y escaneado y en el paso de escalas donde aumenta el tamaño del mapa, no de la información incluida en él.

Es necesario tener en cuenta el concepto de tolerancias (distancias) que utiliza el programa como medidas a partir de las cuales ciertos objetos gráficos (líneas, puntos) se agrupan o no y que pueden cambiar la forma de las líneas o polígonos y por tanto sus coordenadas.

6.3. Delimitación de unidades de síntesis y diagnóstico

La delimitación de las diferentes unidades integradoras del análisis sectorial efectuado se ha realizado en buena parte utilizando una de las características fundamentales de un S.I.G., la capacidad de superposición de las variables, capas o coberturas temáticas interrelacionando sus atributos. Sin embargo y a pesar de que "la superposición ha estado en la base de la mayoría de análisis espaciales realizados con un S.I.G. desde los tiempos pioneros hasta hoy" y ser considerado como "la única vía para analizar espacialmente y de forma combinada las múltiples capas de información que forman la base de datos de un S.I.G." (COMAS Y RUIZ, 1993) son varios los problemas que su uso produce.

Problemas de la superposición

- Elevado número de coberturas intermedias. El cruce de información produce un gran número de coberturas intermedias que dificultan la gestión de los archivos, restan memoria al sistema, alargan las actualizaciones o correcciones, etc. Por ejemplo una superposición genera una cobertura donde se recogen los nuevos datos. La depuración de errores manualmente o por las herramientas que suelen acompañar a los programas, en Arc/Info por ejemplo

ELIMINATE (eliminación de polígonos sliver) o DISSOLVE (eliminar polígonos contiguos con las mismas variables), produce otras coberturas intermedias, además de las copias de seguridad que se deben de hacer antes de manipular una cobertura. Así para realizar un mapa son necesarias varias coberturas previas, que dependiendo de la dificultad del trabajo puede oscilar entre 3 ó 4 coberturas fácilmente. Es necesario llevar un control exhaustivo de las coberturas que se van creando, cual es su contenido, que manipulaciones se han realizado en ella, etc. Arc/Info crea un archivo *log* (fichero que guarda la historia de una cobertura o de un directorio) con parte de esta información, como algunas de las ordenes empleadas durante las sesiones de trabajo, pero no es una información completa.

- Polígonos ficticios. Se ha hablado del proceso de depuración que requiere el cruce coberturas, proceso que se explica a continuación. La superposición de coberturas aunque es un proceso automático realizado por el programa, exige un seguimiento de la calidad de los datos generados, especialmente de los datos geográficos. Uno de los errores más habituales es lo que algunos autores llaman de inconsistencia lógica (Comas y Ruiz 1993) o aparición de polígonos ficticios o sliver (Bosque Sendra 1992), es decir polígonos producidos por la superposición de dos mapas con contornos que deberían ser iguales pero por errores en la digitalización, o una incorrecta utilización de las tolerancias, no coinciden con exactitud, generando multitud de pequeños polígonos de extensión muy reducida y no existentes en la realidad.

Una forma sencilla de eliminar estos polígonos ficticios es seleccionarlos por su pequeño tamaño y eliminarlos (ELIMINATE en Arc/Info). De este modo se elimina la etiqueta que identifica al polígono (se rompe su relación con la base de datos temáticos) y los segmentos sobrantes que lo forman, disolviéndose en los polígonos contiguos. El inconveniente es que, en Arc/Info, por ejemplo, los segmentos eliminados no lo son por su pertenencia o no al contorno correcto, argumento que no se puede introducir en el programa, sino por su tamaño, con lo que en ocasiones no son eliminadas las líneas deseadas, desapareciendo los falsos polígonos pero variando los límites originales.

El método más seguro, y más largo y laborioso, consiste en evitar los errores de

digitalización, asegurándose el usuario de que los objetos geográficos comunes sean exactamente los mismos en todos los mapas, es decir copiando el elemento correcto en todos los demás mapas que lo vayan a contener. El problema radica en los mapas procedentes de fuentes diversas y que contienen algunos de estos elementos comunes, como por ejemplo los límites municipales, lo que obliga a eliminar el límite de un mapa para añadir el correcto y retocar los demás elementos gráficos que nacen o cruzan estos límites y que con el cambio han variado su posición relativa.

- Polígonos por debajo de la unidad mínima cartografiada. La superposición de coberturas puede producir elementos que se encuentran por debajo del nivel de detalle exigido, aunque su posición y atributos temáticos sean correctos (no son polígonos ficticios) que se deben eliminar para una adecuada legibilidad del mapa. No suelen ser numerosos por lo que la eliminación manual se puede realizar rápidamente.

6.4. Cartografía

El diseño y confección de la cartografía, a partir de las coberturas creadas durante el desarrollo del proyecto, se ha realizado en MapInfo, software especialmente pensado para la elaboración de cartografía. Las posibilidades de representación cartográfica de los datos obtenidos es muy variada, en este y en otros programas, debido a la posibilidad de elección de gran cantidad de símbolos, tramas, colores, etc. reduciendo costes en la producción de cartografía.

En la elaboración de cartografía es importante tener en cuenta, antes de comenzar a generarla, qué escalas de representación son las recomendables para cada mapa. Este dato hay que tenerlo presente, pues se está acostumbrado a ver todas las coberturas con el mismo tamaño en pantalla, y por ello se tiende, en muchos casos, a realizar toda la cartografía en la misma escala, generalmente la de trabajo. Para seleccionar adecuadamente la escala de representación de cada mapa hay que considerar dos aspectos: uno, la cantidad de información que trasmite, su importancia dentro del trabajo general; otro, la calidad de esa información y su legibilidad. Un mapa no es más claro porque tenga mucha

información, pero con un tratamiento adecuado de ésta se puede conseguir el objetivo de todo mapa, dar información legible y correcta.

Otra cuestión a destacar es la correcta utilización de la gama de colores ya que no siempre los que se aprecian en la pantalla son los mismos que los resultantes en la impresión, puesto que cierto tipo de periféricos de salida de datos gráficos, especialmente impresoras, emulan los colores compuestos. La utilización de colores estandarizados (*pantones*) tanto por el *software* y el *hardware* de cierta categoría está solucionando estos problemas.

La generación de cartografía analógica a partir de las diferentes coberturas de Arc/Info, a través de MapInfo 3.0, no presenta ningún problema, pues esta herramienta posee un programa, llamado Arc-Link, que transforma las coberturas de Arc/Info, en formato 'export' (extensión E00), en mapas perfectamente legibles por MapInfo. Una vez realizados los pasos previos, solo resta realizar el diseño (colocación, escalas, textos, tramas, leyendas, etc.) que ha de llevar cada mapa.

6.5. Conclusiones

La aplicación de un Sistema de Información Geográfica en el análisis y diagnóstico integrado de un territorio ha llevado a este equipo de trabajo a una serie de conclusiones que considera importantes a la hora de trabajar en este campo.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que, en una primera fase, la recolección de la información sobre un determinado territorio presenta problemas, por su distinta procedencia, por las escalas en las que se encuentra, por la cantidad de información existente, (escasa o excesiva), etc. Si bien estos problemas se producen también trabajando con cartografía analógica, se acentúan a la hora de introducirlos en un S.I.G. También ocurre que existe información de alguna manera *oculta*, sin catalogar, que hay que rastrear. La fase de recogida de información se convierte en un paso vital para que las siguientes etapas se desarrollen perfectamente. Para ello hay que recoger la información *sensible* que se necesita para realizar el

trabajo. Esta fase de criba, que anteriormente hacía inevitable el descarte de información, mejora notablemente con un Sistema de Información Geográfica. Con estos sistemas las variables que tienen una difícil georreferenciación se pueden introducir de manera indirecta mediante su asociación con los elementos gráficos objeto del análisis, a través de la base de datos, manipulándola de la forma que más convenga. Pero en este aspecto incide la elección de un S.I.G. determinado: por un lado, los sistemas raster ofrecen una mayor capacidad analítica; por otro lado, los sistemas vectoriales se acercan mucho más a la realidad, plasmando de forma más ajustada la disposición de la información sobre un ámbito territorial. Si bien hasta hace poco tiempo se podía relacionar el primero con una herramienta más cuantitativa, y el segundo, con criterios más cualitativos, en la actualidad la inclusión de herramientas sofisticadas de análisis espacial y la posibilidad de trabajar imágenes raster en los programas basados en sistemas vectoriales permite utilizar y combinar ambos modelos por lo que se reduce en principio la pérdida de calidad, y permite que el grado de objetividad aumente considerablemente.

Es por todo ello por lo que se pueden superar una serie de problemas, sobre todo a la hora de seleccionar la información. Con estas herramientas se permite avanzar en este tema, aunque no se ha de conseguir toda la información disponible de forma sistemática. Así, en escalas grandes se puede utilizar y manipular toda la información necesaria, ya que esto permite mejorar el análisis, aproximarse a la realidad, y a la hora de realizar propuestas, como puede ser en la planificación regional, dar con las claves territoriales que permita que estas propuestas sean coherentes, operativas y ajustadas. Como es lógico, en escalas pequeñas no se utiliza toda la información, pero los planteamientos generales se realizan sobre un conjunto mayor de datos, lo que aumenta la fiabilidad de las conclusiones.

En una escala como la del presente trabajo, y utilizando las herramientas informáticas de forma correcta, se puede

incorporar nueva información que anteriormente, siguiendo los sistemas tradicionales en los estudios territoriales, tanto desde el punto de vista metodológico como desde la perspectiva práctica, no era posible considerar o era tratada de paso. Es el caso de la población, muchas veces relegada en los estudios de este tipo, cuando es un aspecto fundamental para conocer la dinámica y situación actual de cualquier zona; también ocurre con otros muchos temas, que encuentran en los Sistemas de Información Geográfica la forma de relacionarse con multitud de variables y que permiten descubrir interrelaciones que, sin este tipo de herramientas, quizá pasarían desapercibidas.

Otro de los elementos que pueden llegar a mejorar sensiblemente los estudios del territorio es la posibilidad de realizar modelizaciones del ámbito de trabajo a partir de estos programas, sobre todo con herramientas que incorporan programas estadísticos. Se pueden cuantificar los procesos de cambio entre distintas fechas, y realizar predicciones —usos de suelo, población, vegetación...— que permiten confeccionar distintos modelos futuros de comportamiento de las distintas variables sobre el territorio, un aspecto que puede dotar de mayor fiabilidad a las decisiones de las administraciones públicas en campos como puede ser la ordenación territorial.

Uno de los aspectos más problemáticos es la superposición de los distintos tipos de elementos que conforman un territorio, ya que "la superposición de mapas temáticos produce un elevado número de unidades territoriales cuya definición y descripción llega a ser redundante y costosa, resultando su agrupación en sectores de orden más amplio, difícil y problemática." (De Pablo y Pineda 1985, pág. 236). Este ha sido uno de los hechos más dificultosos de este trabajo, sobre todo por el origen y escala de la información recogida. Pero aunque el simplificar unidades pueda resultar bastante costoso —sobre todo en tiempo—, es una obligación *sine qua non* para lograr operatividad e integración de los elementos.

Un aspecto novedoso que ofrecen los S.I.G. es la rápida actualización de los

cambios que se producen en el territorio, de manera eficaz. Esta actualización es más inmediata para los datos temáticos o tabulares que para los elementos gráficos, que necesitan un proceso de reelaboración para la topología.

Hay que recordar que una unidad territorial se define por ser un sistema abierto, dominado por diversos elementos, en constante interacción, con continuos flujos de entradas y salidas de información. Todos estos cambios, que se producen de forma casi continua, se pueden introducir de forma rápida en un S.I.G., algo que con anterioridad era impensable. Y para que esta actualización sea realmente operativa, se necesita un esfuerzo por parte sobre todo de las administraciones implicadas para normalizar toda la información susceptible de ser tratada en un estudio territorial. Se trata, en suma, que los estudios sobre el medio no sean fuentes de información que pierdan su vigencia con el paso del tiempo. Esta actualización no implica necesariamente que se pierda la información de la situación de un territorio en una determinada época, periódicamente actualizada, que se puede solucionar con la creación y mantenimiento de un registro histórico de las variaciones producidas.

La experiencia de introducir las herramientas S.I.G. en los distintos ámbitos de estudios territoriales es, por lo que se refiere a nuestro país, bastante escasa. En un principio se introdujo desde el punto de vista estrictamente cartográfico, sin competencia en lo que se refiere a la presentación analógica de mapas respecto a las formas tradicionales de elaboración cartográfica. Actualmente, se introduce poco a poco en campos como los Estudios de Impacto Ambiental, Planes Especiales de Protección, etc., pero de manera lenta. Los S.I.G. ofrecen soluciones para enriquecer los procesos de análisis de un estudio territorial, permiten una gestión rápida y controlada del espacio, y otorga la posibilidad de conocer aún mejor las claves de funcionamiento del entorno. Esto es lo que se ha pretendido con este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARENILLAS, T.; BURGUES, J. A., y TROITÑO, M. A. (1988) "Plan Especial de regulación de usos del suelo en los Picos de Europa", en: *Congreso Europeo de Ordenación del Territorio*, Valencia.
- BOSQUE SENDRA, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica* Rialp, Madrid.
- CEBRIÁN, J. A., y MARK, D. A. (1986) "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos", en: *Estudios Geográficos*, 184: 277-99, C.S.I.C., Madrid.
- COMAS, D., y RUIZ, E. (1993). *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel Geografía, Barcelona.
- DE PABLO, C. L., y PINEDA, F. D. (1985). "Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica", en: *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 5: 235-60, Editorial de la U.C.M., Madrid.
- TROITÑO VINUESA, M. A. (en prensa). "Análisis integrado del territorio y recursos locales", en *Desarrollo Local y Medio Ambiente*. Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- TROITÑO VINUESA, M. A. (1986). "Análisis Territorial del área de Gredos" en: *Estudios Territoriales* 21: 71-100. M.O.P.U., Madrid.
- VALENZUELA RUBIO, M. (1976) "La residencia secundaria en la provincia de Madrid". *Ciudad y Territorio* 2-3/1976: 135-152. INAP, Madrid.