

EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Joaquín Bosque Sendra¹ y Rosa C. García².

(Publicado en *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2000, nº 20, pp. 49-67)

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una importante herramienta en las tareas de planificación ambiental y ordenación del territorio. Con ellos es posible resolver con más facilidad complejos problemas de asignación "óptima" de actividades al territorio, considerando para ello tanto su aptitud intrínseca, como el posible impacto ambiental de la localización, en ese punto del territorio, de una concreta actividad. Un importante elemento auxiliar en esta tarea son las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) que, unidas a los SIG, forman una potente herramienta de gran utilidad y validez. La ponencia estudiará las posibilidades de interconexión de SIG y EMC y su uso en resolver diversos tipos de problemas de planificación ambiental: localización de equipamientos e instalaciones de carácter ambiental (vertederos, centrales nucleares...); determinación de la traza de mínimo impacto medioambiental de infraestructuras lineales (carreteras, redes de tendido eléctrico...) y la asignación de nuevos usos y formas de ocupación del territorio (selección de zonas a proteger, determinación de polígonos industriales, etc).

1.- La planificación territorial

Entendemos por planificación territorial las actividades, realizadas por cualquier agente público o privado, para establecer políticas que deben ser seguidas por la población y otros agentes económicos en cuanto al uso de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la asignación de las diferentes actividades.

Desde un punto de vista geográfico, el que nos interesa en este trabajo, la planificación territorial supone, principalmente, el establecimiento de los usos más apropiados para cada porción del territorio. La decisión sobre cuáles son estos usos depende, entre otros factores, de razones y criterios derivados de la conservación del ambiente natural y debe tener en cuenta tanto la vocación "intrínseca" de cada punto del territorio, determinada por su aptitud para cada uso o actividad, como el impacto potencial que tendrá sobre el medio ambiente la realización de una determinada actividad en ese punto del territorio.

2. Fases de la planificación territorial:

Un aspecto importante de nuestro planteamiento es la distinción entre dos etapas o

¹ Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, Madrid, España. Financiado parcialmente por el proyecto de investigación 06/0049/98 de la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid, España.

² Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas-Venezuela.

fases que se pueden establecer en la ordenación del territorio y la planificación ambiental:

* La primera fase (que no tiene carácter geográfico): establece los objetivos territoriales a alcanzar, por ejemplo: superficies dedicadas a cada tipo de ocupación, longitud de las carreteras a construir, cantidad de instalaciones y equipamientos a edificar, etc. En esta etapa inciden profundamente las disponibilidades económicas existentes y los objetivos políticos de la Administración y de los agentes sociales implicados.

* En una segunda fase (de base geográfica) la finalidad es la asignación "óptima" de la posición espacial para las ocupaciones antes seleccionadas, de las carreteras a construir, y de los equipamientos, etc. Una serie de nuevas herramientas de análisis y planificación, que vamos a discutir en este trabajo, tienen su aplicación, principalmente, en este momento de la planificación ambiental. Entre estas herramientas destacan los Sistemas de información geográfica.

No obstante, es evidente que los resultados alcanzados en segunda fase pueden afectar a la definición de los objetivos de la primera, de modo que existe algún tipo de ciclo de "realimentación" en todo el proceso. Y, por lo tanto, las citadas herramientas inciden, finalmente, en todos los momentos de la planificación.

El objetivo principal de este texto no es una discusión teórica sobre el significado real de la planificación territorial, sino el planteamiento, mucho más específico y limitado, de las funciones que ciertas nuevas herramientas geográficas pueden cumplir en la difícil tarea de desarrollar una útil planificación del territorio.

Las herramientas mencionadas son los Sistemas de Información Geográfica y las Técnicas de Evaluación Multicriterio. Su combinación proporciona grandes posibilidades a la elaboración de planes detallados de Ordenación territorial. Nuestro objetivo es discutir el uso de las dos herramientas en estas tareas.

3.- Papel de los SIG en la planificación ambiental

Los Sistemas de información geográfica² pueden ser útiles en multitud de actividades, en conjunto las podríamos clasificar en dos grandes grupos:

1º **GESTIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL TERRITORIO**: Es decir se trata de contestar a preguntas del tipo: **¿DÓNDE ESTÁN LAS "COSAS"?**. Por ejemplo: 1º El mantenimiento, cartografía y control de grandes infraestructuras (redes de abastecimiento y evacuación de aguas, red telefónica, ...), es decir los denominados sistemas AM/FM. 2º El control y gestión de datos catastrales, los sistemas LIS/SIC. 3º La gestión urbana y municipal.

2º **ORDENACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO**: En este caso se

³ No es el momento de una definición y descripción detallada de estos instrumentos. En Bosque Sendra (1997) se puede hallar un análisis en detalle de sus componentes.

trata de responder a cuestiones del tipo: **¿DÓNDE DEBEN ESTAR LAS "COSAS"?**. Por ejemplo: 1º Las tareas de planificación urbana. 2º La Ordenación del territorio y la Planificación ambiental. 3º El análisis y preparación de políticas sobre el transporte: flujo de tráfico, delimitación de áreas de influencia, cálculo de rutas óptimas. Ayuda a la conducción. 4º El Geomarketing y/o la Geodemografía.

En cada uno de estos dos grandes tipos de aplicaciones los SIG realizan tareas diferentes y, por lo tanto, se emplean distintas capacidades de estas herramientas. En concreto, en la **Gestión y descripción del territorio** las funciones más empleadas son las siguientes:

- Las de "Entrada de datos", necesarias para construir las importantes bases de datos imprescindibles para esta actividad (digitalización espacial, integración de los aspectos temáticos, etc).
- Las relacionadas con la organización y gestión adecuada de esta importante y compleja base de datos.
- La Cartografía y presentación de resultados.
- Finalmente, la búsqueda selectiva de información.

En resumen, en este caso principalmente se utilizan las funciones más básicas y más semejantes a las existentes en otros tipos de herramientas: programas de cartografía asistida por ordenador, bases de datos, etc.

Por el contrario, en las actividades relacionadas con la ordenación y planificación del territorio las funciones más empleadas son otras, principalmente las siguientes:

- Búsqueda selectiva de información.
- Exploración y descripción de los datos.
- Generación de modelos explicativos y su confirmación con la información preexistente.
- Manipulación de la información: superposición, cambio de tipo de elemento geográfico, etc.

Precisamente, en relación a estas necesidades de empleo de las funciones más avanzadas y complejas de un SIG es donde estriba el interés de la interrelación de los SIG y las Técnicas de Evaluación Multicriterio, ya que, como veremos posteriormente, estas técnicas enriquecen de modo importante las posibilidades tradicionales de un SIG para el análisis de la información geográfica.

A partir de este momento nuestra atención se centra exclusivamente en las aplicaciones de los SIG a la Ordenación del territorio y la planificación ambiental. En estos temas los nuevos instrumentos de análisis geográfico pueden cumplir diferentes funciones en las distintas etapas en que se suele dividir un proceso de planificación (Arentze, Borgers y Timmerman, 1996).

1º En la fase de **Identificación del problema**, los SIG son muy útiles por su capacidad de analizar los datos geográficos que definen el problema a tratar y a resolver con la planificación territorial y ambiental. Facilitan la Cartografía de los diferentes aspectos que inciden en la cuestión a conocer; permiten, mediante la superposición y otras formas de

manipulación de la información, combinar datos y observar algunas de sus interrelaciones. No obstante, sería necesaria una importante ampliación de las capacidades exploratorias de los SIG actuales para mejorar su uso en esta sentido (Bosque Sendra, 1996). Ya hace algún tiempo que se ha ido insistiendo en la grave insuficiencia de las técnicas habitualmente integradas en los programas SIG actuales para permitir una descripción en profundidad de las características espaciales y temáticas de los datos integrados en un SIG. El objetivo futuro sería la integración dentro de los programas SIG de funciones potentes de análisis estadístico, en especial de su enfoque exploratorio (Hoaglin y Mosteller, 1983; Hoaglin, Mosteller y Tukey 1985). Igualmente, están en desarrollo nuevos tipos de procedimientos de exploración donde se combina el análisis simultáneo e interactivo de los aspectos temáticos y espaciales (Bailey y Gatrell, 1995; Densham, 1996; Haslett, Wills y Unwin, 1990).

2º La etapa de **Especificación de los objetivos**, ya hemos indicado que esta tarea responde a la consideración de los criterios económicos y políticos generales y, por lo tanto, los SIG ocupan un papel secundario en esta fase. Normalmente, los SIG existentes en el mercado no disponen de capacidades para la visualización simultánea de diferentes objetivos y de las interrelaciones entre ellos, por lo que su empleo en esta tarea no es habitual. En cualquier caso, las posibilidades de visualización y cartografía existentes en los SIG siempre constituyen una ayuda para estas actividades.

3º La fase de **Generación de alternativas**: esta actividad está basada en la combinación de los diferentes datos existentes sobre el problema y en el uso de técnicas y modelos que permitan generar diferentes soluciones a la cuestión. Los SIG están especialmente bien preparados para estas actividades, debido a sus diferentes capacidades para superponer y combinar estratos temáticos diferentes. Aún así es importante ampliar estas posibilidades, muy en especial integrando o relacionando los SIG con nuevos tipos de modelos matemáticos, en concreto los de tipo ambiental. La literatura sobre todo ello es cada vez más abundante, un buen y amplio resumen se puede encontrar en Goodchild, Parks y Steyaert (1993) y Goodchild, Steyaert y Parks (1996), dos extensos volúmenes con buenos ejemplos de la variedad de trabajos existentes sobre el tema.

4º Etapa de **Evaluación de las alternativas frente a los objetivos**. Una vez disponibles las diferentes soluciones al problema, resultado de la fase anterior, es necesario contrastar cada una de ellas con los objetivos establecidos en la fase 2º. Para ello, por un lado, es necesario reunir y manejar nueva información, en lo cual un SIG puede ayudar ampliamente, y, por otra, es fundamental establecer una evaluación precisa de cómo cada alternativa obtenida cubre los objetivos pretendidos. Esta evaluación, para que sea adecuada a la complejidad de los problemas ambientales, requiere el uso de técnicas muy elaboradas, entre ellas destacan las de evaluación multicriterio (Barredo, 1996). Por ello, es importante, la integración de estos instrumentos con los SIG. más abajo comentamos con cierto detalle la cuestión.

5º La fase de **Organización del plan**. Establecimiento de un programa coherente y sistemático donde se integren las distintas etapas que la puesta en práctica del plan supone. En este caso el uso de los SIG es difícil, ya que estos instrumentos no tienen capacidades para ello, más adecuado resulta la utilización de procedimientos de planificación de tareas como el *PERT* y otros semejantes.

6º Finalmente, la etapa de **Control de la aplicación del plan**. Si un plan de ordenación territorial quiere tener éxito, es necesario establecer mecanismos que permitan su control y el rápido establecimiento de las diferencias entre lo que realmente ocurre y lo que el plan había determinado. Para ello, nuevamente, los SIG pueden ser una interesante herramienta, dada su capacidad de comparar dos realidades espaciales, la que había imaginado el plan, y la que realmente se está produciendo, utilizando para ello las funciones de superposición y combinación de diferentes estratos temáticos.

Como vemos los SIG son útiles en bastantes momentos del proceso de planificación, por ello parece cada vez más necesario su uso en estas tareas. No obstante, también son ciertas las mencionadas insuficiencias de los SIG actuales para resolver la compleja tarea de la planificación territorial.

Una tendencia importante es la del uso combinado de SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio para la más completa evaluación cuantitativa de las alternativas disponibles y para la formulación de planes coherentes de ordenación del territorio.

4.- SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio en la Ordenación del territorio

La evaluación de las diferentes alternativas de planeamiento que se han generado en las etapas anteriores de la elaboración de un plan constituye un momento muy decisivo en la elaboración final de un conjunto de acciones y decisiones bien fundamentadas. Por ello, es imprescindible contar con medios adecuados para establecer la calidad de cada una de las alternativas posibles, en este sentido las Técnicas de Evaluación Multicriterio son una herramienta fundamental.

Las Técnicas de Evaluación Multicriterio constituyen un variado conjunto de métodos matemáticos que permiten medir de manera lo más precisa posible la validez relativa de cada una de un conjunto de soluciones respecto a un problema concreto. La evaluación se realiza de tal manera que se tiene en cuenta un alto número de criterios, cada uno de los cuales valora de modo independiente las soluciones. Por otra parte, estas técnicas permiten considerar diversos planteamientos u opiniones ante el mismo problema, de modo que las evaluaciones se pueden realizar considerando los enfoques contrapuestos que pueden existir ante una misma cuestión (por ejemplo, el de los empresarios frente al de los conservacionistas, ver Malczewski, 1996).

Las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) han tenido su origen en la Economía y en la Ciencia política y de la Decisión (Romero, 1993; Barba Romero y Pomerol, 1997), pero en los últimos años se ha empezado a introducir como una herramienta más en los SIG (Barredo, 1996; Eastman y otros, 1993).

El uso más habitual de la EMC dentro de un SIG se corresponde con la selección del lugar o lugares más adecuados para situar alguna de las actividades humanas. Utilizando para ello gran número de criterios que se pueden considerar incidentes en la validez y adecuación de la decisión.

La variedad de problemas donde esta idea general se puede concretar es muy grande, los podemos clasificar en función del tipo geométrico principal de los elementos a

localizar. De este modo tenemos los siguientes tipos de cuestiones:

a) Cuestiones relacionadas con la localización de **Polígonos**: se trata de la asignación "óptima" de las ocupaciones del suelo: urbano-residenciales, industriales, agrarias, protección natural, etc. Una tarea muy habitual en los planes de ordenación urbana o territorial. Existen numerosas modalidades para resolver el tema, una de la más conocida es la de establecer la **capacidad de acogida** de cada punto del terreno para recibir una actividad (Gómez Orea, 1992). Capacidad de acogida que depende de su aptitud intrínseca para soportar tal tipo de uso y del impacto ambiental que la localización allí de ese uso genera en el entorno. Determinadas las capacidades de acogida de todas las actividades previstas se puede elegir aquella donde, comparativamente, sea máxima la capacidad de acogida. En Barredo (1996) se puede encontrar una muy amplia discusión de toda la problemática del tema y en Eastman y otros (1993) el pormenor de su inclusión en un programa SIG concreto: IDRISI para WINDOWS. En un apartado posterior desarrollaremos un ejemplo detallado de este tipo de aplicación.

b) Problemas ligados a la localización de **Líneas**, por ejemplo, posición "óptima" del trazado de carreteras, caminos, líneas férreas, canales, y en general, todo tipo de infraestructuras lineales. Como en el caso anterior aquí también se deben considerar criterios de diverso tipo: económicos (minimización de los costes de construcción) y ambientales (reducción de los impactos negativos que el trazado de la infraestructura produce).

4.1 Tipos de problemas

a) Localización de caminos/rutas óptimas sobre redes lineales ya existentes

b) Determinación del nuevo trazado de redes o de caminos óptimos.

Problema a. Determinar una ruta/trazado óptimo sobre una red existente.

Ejemplo: establecer por donde debe viajar un repartidor de productos (leche, pan, etc) de manera que el coste del viaje (o el tiempo de recorrido, etc) sea mínimo. Clásico problema del viajante.

Problema b: dos variantes.

1º Se dan por encontrados varios trazados diferentes a una nueva ruta. Es necesario evaluar cual es el mas adecuado. Cada ruta se evalúa por separado y se elige la que sea mas corta o barata de recorrer.

2º Se emplea un procedimiento de búsqueda de un recorrido óptimo teniendo en cuenta los criterios necesarios que miden lo adecuado que es el paso por cada punto del territorio. La ruta óptima maximiza la adecuación o, lo que es lo mismo, minimiza los inconvenientes totales del trazado.

4.1.1 Criterios a emplear para medir la adecuación de una ruta

a) **Económicos** (establecen el coste de construir la ruta o las ventajas que su trazado supondrá para los usuarios o para las zonas servidas).

B) **Ambientales** (se mide en cada punto del trazado el efecto negativo de la ruta para el medio ambiente).

Nueva versión del modelo aptitud/impacto (ventajas/inconvenientes de la ruta).

Problema a. Para el problema de determinar una ruta/trazado óptimo sobre una red existente.

Existen diversos algoritmos matemáticos que resuelven el problema.

El más conocido es el de *Dijkstra*, Usualmente disponible en los programas de análisis de redes integrados en un SIG. Por ejemplo: *Network* de ARC/INFO: *Route*.

4.2 Solución en un SIG ráster (como IDRISI):

1º Establecer mapa de fricciones unitarias. Valores desde 1 al máximo en las rutas (dependiendo de su velocidad), en el exterior de las rutas valor -1 (imposibilidad de paso).

2º Calcular el mapa de costos de recorrido acumulados hasta uno de los extremos de la ruta, usando el algoritmo COSTGROW (el cual no permite pasar por pixels con fricción de -1).

3º Sobre este mapa de costes acumulados usar la orden *PATHWAY* con el otro extremo de la ruta como origen del camino. El resultado es un camino que minimiza los costes acumulados de ir desde un extremo al otro de la ruta. El resultado difiere y es algo peor que con ARC/INFO (Franco, ...).

Problema b: dos variantes.

1º Evaluar trazados diferentes de una nueva ruta.

A) Crear estratos temáticos de cada uno de los criterios.

B) Superponer cada trazado sobre los diversos criterios y extraer los valores de adecuación del paso de la ruta por cada punto.

C) Combinar los valores de adecuación extraídos en cada trazado para construir un único valor de medida de adecuación. Se pueden usar métodos de evaluación multicriterio.

D) Elegir el trazado con el mayor valor de adecuación

2º Procedimiento de búsqueda de un recorrido óptimo

a) Se crean estratos temáticos con los criterios de adecuación.

B) Los criterios se convierten a valores de fricción unitaria o dificultad de paso de la ruta por cada punto.

C) Se combinan las fricciones unitarias consideradas.

D) Se obtiene un superficie de costes acumulados de ir hasta uno de los extremos de la ruta.

D) El algoritmo de búsqueda determina, en la anterior superficie de costos, por donde pasa la ruta de manera que se minimice el costo acumulado. Esa es la ruta mas adecuada.

c) **Puntos:** localización "óptima" de instalaciones (con reducida extensión superficial): escuelas, hospitales, comercios, vertederos, etc. En este caso, la insistencia principal reside en conseguir posiciones de los equipamientos e instalaciones que maximicen la eficacia y la justicia espacial derivadas de su empleo por la población y reduzcan los posibles impactos ambientales. Existe una amplia literatura que trata estos temas en Bosque y otros (1999) se puede encontrar un resumen de la cuestión.

El significado de "**óptimo**" será preciso especificarlo en cada problema, pero de manera amplia se debe entender como la solución de máxima eficiencia espacial, mínimo coste ambiental y máximo grado de justicia espacial.

En todos las cuestiones anteriores es posible utilizar la evaluación multicriterio para que la decisión adoptada sea más fundamentada y considere mejor todos los factores incidentes y todas las perspectivas posibles.

Existe ya una amplia literatura donde se hace uso de estas técnicas, dentro de (o conectadas a) un SIG, para tratar problemas de todos los tipos mencionados. Por ejemplo, y entre otras muchas referencias, para la asignación óptima de usos del suelo, además de las indicadas de Barredo (1996) e Eastman y otros (1993), podemos mencionar: Carver (1991), Hopkins (1977), Jankowski (1995), etc. Para el trazado y evaluación de elementos lineales: Gómez y otros, 1996; Brainard, Lovett, y Parfitt, 1996. Finalmente, para el caso de la localización de instalaciones: Bosque y Franco (1995), Joerin y Musy (1995), etc.

No obstante, existen algunos problemas importantes para un correcto uso de la EMC dentro de un SIG. En especial el amplio número de alternativas habitualmente existentes en un problema de planificación ambiental (en muchas ocasiones las alternativas coinciden con los puntos del territorio) dificulta el empleo de muchas Técnicas de Evaluación Multicriterio. La razón estriba en que algunas de las reglas de decisión usadas en ellas a veces no son capaces de comparar entre sí, en un período de tiempo razonable, todas las alternativas. Por ello, lo habitual es utilizar reglas de decisión compensatorias, en ellas el mecanismo de combinación de los criterios permite que las valoraciones bajas en uno o varios factores se compensen con el valor alto en uno (o más de uno) de los restantes factores. De este modo la solución elegida puede resultar poco adecuada en alguno de los factores. Frente a ellas se encuentran las reglas de decisión no compensatorias: en este caso la combinación de los factores es de tal tipo que no permite compensar valores bajos en unos factores con los más elevados de otros factores.

Entre las reglas de decisión compensatorias más empleadas en los SIG se

encuentran las de la suma lineal ponderada de los criterios (ver el trabajo de Eastman y otros, 1993 y el programa SIG: IDRISI para WINDOWS) o el análisis de la distancia del conjunto de los criterios al punto ideal (Barredo, 1996). Con cualquiera de ellas es posible obtener muy interesantes resultados, de manera que se consigue valorar de modo muy detallado y preciso las distintas soluciones generadas, estableciendo de este modo un buen planeamiento ambiental, bien fundado y por ello más viable de aplicar y desarrollar.

5.- Un ejemplo de ordenación del territorio usando SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio

5.1 Objetivos de la ordenación del territorio en el área bajo estudio.

Para la aplicación conjunta de Sistemas de Información Geográfica con Técnicas de Evaluación Multicriterio, se ha seleccionado un sector de la Cuenca del Río Tuy, en Venezuela, la cual ha experimentado la multiplicación de espacios urbanos, residenciales, industriales y comerciales de manera acelerada, reforzados por la presencia de la ciudad de Caracas, que ha contribuido con la multiplicación de los espacios urbanos sobre un medio físico con severas restricciones.

La existencia de la alta dinámica poblacional asociada al fuerte equipamiento industrial y desarrollo de diversos macroproyectos económicos, ha generado en la cuenca del río Tuy, una serie de problemas ambientales reflejados en la contaminación de las aguas, conflictos de ocupación del territorio, degradación de suelos y presión sobre los recursos disponibles. En todas estas zonas donde la ocupación humana se ha densificado, la presión del medio se ha incrementado considerablemente, contribuyendo a la disminución de la calidad de vida y del ambiente MARNR (1979).

Tal situación conduce a la necesidad de una propuesta de ordenación del territorio, donde la asignación de usos del suelo y un eficaz control sobre el mismo, representen una contribución importante, de forma de que la región se oriente hacia un modelo de desarrollo donde la calidad de vida prevalezca sobre la cantidad de bienes, fundamentándose en decisiones que organicen internamente el crecimiento de las zonas en las mejores condiciones sociales, económicas y ambientales.

Una de las propuestas de ordenación del territorio para la Cuenca del Río Tuy, se refleja en el mapa de Imagen Objetivo producido por el MARNR, mediante técnicas tradicionales, donde se presentan de forma resaltada, las áreas destinadas a la asignación de usos del territorio teniendo como meta el año 2010, y que fueron tomadas como metas a cubrir en el mapa de asignación de usos del suelo empleando Técnicas de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica.

Superficie en ha del mapa Imagen Objetivo por Tipo de Ocupación

Tipo de Uso	Superficie en ha
1. Parque Nacional	94.017,27
2. Zona Protectora	54.234,16
3. Monumento Natural	804,79
4. Área para desarrollo urbano	77.026,39
5. Área de interés turístico-recreacional	3.740,27
6. Área con potencial agrícola	21.097,35
7. Programa de Prev. Y Vig. (Uso hidr.-Min)	44.323,43
8. Área para desarrollo turístico	12.271,36
9. Área agrícola El Jarillo	19.863,74
10. Programa de Previsión y Vigilancia	44.105,32
11. Centros poblados actuales	66.390,85
12. Zonas industriales	149,31
13. Áreas de aprovechamiento agrario	4.340,74
14. Embalses	448,56

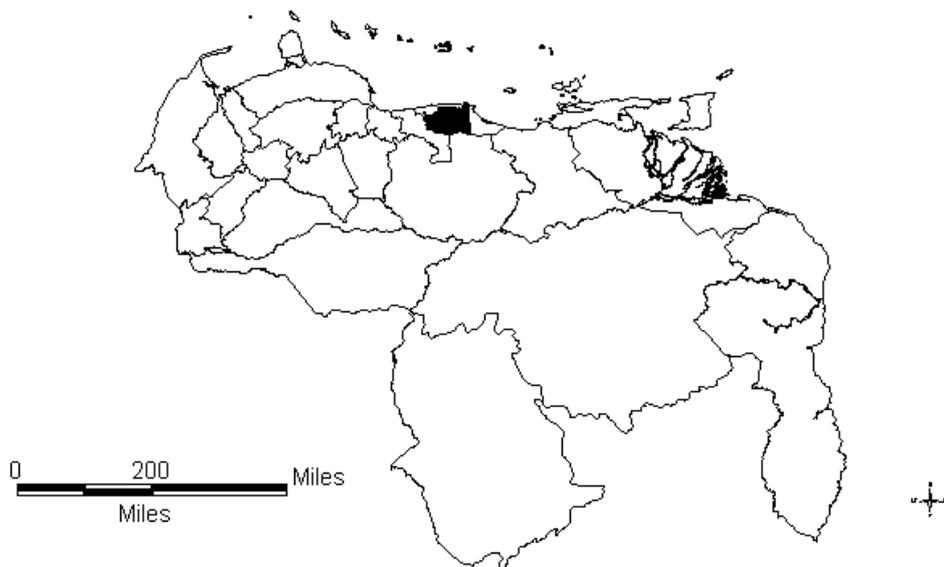
Fuente: Superficie suministrada por el programa Idrisi en base a digitalización del mapa Imagen Objetivo/MARNR/1991.

5.2 Descripción de la región de trabajo.

La unidad geográfica definida hidrológicamente como Cuenca de Río Tuy, para efectos del Plan de Ordenamiento del Area Critica con Prioridad de Tratamiento Cuenca del Río Tuy, del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales MARNR (1991^a), esta constituida por siete unidades de ordenamiento y cinco subcuencas, de las cuales, las subcuencas Alta y Media de Río Tuy, la del Río Guaire y la Subregión Guarenas-Guatire, conforma el área de trabajo en esta investigación, lo que corresponde a su vez, con el denominado Módulo I, del Sistema de Información Ambiental del MARNR.

Se encuentra ubicada en la parte centro norte costera de Venezuela y se localiza entre las coordenadas geográficas 10° 00' y 10° 33' de Latitud Norte y los 66° 30' y 67° 20' de Longitud Oeste (MARNR,1992) y ocupa una superficie de 442,821,51 ha ⁽³¹⁾ lo que representa el 0,43% del territorio venezolano.

⁴Superficie suministrada por el programa Arc/info, Comando AREA .



Mapa N. 1. Ubicación del área de trabajo en Venezuela.

Limita al norte con el flanco sur de la Serranía de la Costa, en su sección central, al sur, con el flanco norte de la Serranía del Interior, al este con los municipios Acevedo y parte del Zamora del Estado Miranda y al oeste, con la divisoria de aguas de la Cuenca del Lago de Valencia.

Fisiográficamente el área esta conformada por dos grandes subunidades de relieve: el complejo rocoso metamórfico correspondiente a la Cordillera de la Costa que se divide en la Serranía de Litoral y la Serranía del Interior, y los valles ubicados entre ambas serranías consistentes principalmente en un conjunto de valles intramontanos tales como los de Caracas, Guarenas -Guatire y el sector del Tuy.

Desde el punto de vista climático se pueden identificar diferentes tipos de clima dependiendo de la ubicación de los sectores en relación a la altitud, orografía, cercanía al mar, influencia del viento y perturbaciones atmosféricas. Independientemente del sistema climático utilizado, la ubicación del área en la zona intertropical le imprime rasgos característicos, como la muy poca diferencia entre las temperaturas medias de los meses más cálidos y más fríos.

El clima tropical con lluvia es el tipo climático que se presenta en el Tuy Medio, valles de Guarenas-Guatire y valle de Caracas. Las características que distinguen el clima

de la región son sus periodos lluviosos y secos bien diferenciados asociados con altas temperaturas todo el año. La temperatura media del mes más frío es superior a los 18°C, la temperatura media anual en el Tuy Medio oscila entre 25°C y 26°C, en el sector Guarenas-Guatire, entre 23°C y 24°C, mientras en el valle de Caracas, es alrededor de 21°C (Guevara, 1983).

El periodo lluvioso se presenta de mayo a noviembre, que coincide con los meses de mayor radiación solar y con la acción de la Convergencia Intertropical, asociada a vientos ascendentes con inestabilidad. El periodo seco, coincide con los meses de menor radiación y la acción de las masas de aire más secas y estables. La precipitación media anual registrada en la zona, oscila entre los 1000 y 2000 mm (MARNR, 1983).

Generalmente, el mes donde ocurre la mayor precipitación media puede ser mayo o junio (tipo Awx de Koeppen), y julio o agosto (tipo Aw de Koeppen), sin embargo, la máxima precipitación puede registrarse en cualquier mes de la temporada lluviosa y, ocasionalmente, en temporada seca. El periodo seco se presenta cada año en los cinco meses comprendidos entre diciembre y abril; en esta época, el calor es más pronunciado alcanzando el máximo entre marzo o abril. Asimismo, es característico del periodo seco, la disminución del caudal de los ríos, para luego recuperarse en el periodo lluvioso.

La hidrografía presente en el área se caracteriza por ser corrientes de poco recorrido y caudal a excepción del río Tuy, que constituye el cauce principal y designa el nombre a toda esta importante cuenca. Nace en la vertiente sur de la Serranía del Litoral en las inmediaciones del Pico Codazzi, atraviesa en sentido oeste-este los valles del Alto Tuy y Tuy Medio, para desembocar en el mar Caribe, después de un recorrido aproximado de 200 km. (Guevara, 1983).

Para el aprovechamiento de las aguas superficiales, en el área de trabajo, se localizan algunos embalses que suministran agua para diferentes usos que cubren el alto consumo y la creciente demanda. Guevara, (1983), menciona: Los embalses de Agua Fría, con capacidad para 5,8 millones de m³, Ocumarito, Lagartijo, con capacidad para 80 millones de m³, Quebrada Seca con capacidad para 7 millones de m³ y La Mariposa, con capacidad de almacenar 8 millones de m³.

En cuanto a los suelos y vegetación, las limitaciones y potencialidades de los suelos del área fue elaborada según la Séptima Aproximación. La clasificación mundial de los suelos del U.S.D.A. (*Soil Taxonomy, del Soil Survey del U.S. Department of Agriculture*). Los suelos presentes en la zona se pueden simplificar resumiendo que los subórdenes Fluvent (F), Orthent (o), Tropept (T), Ustoll (US) y Ustalf son suelos con buen drenaje, sin mayores dificultades para su manejo ni problemas de fertilidad.

En cuanto a la capacidad agrológica del suelo, la información referida a la zona, esta elaborada según el sistema de clasificación de Klingebiel y Montgomery (1961), el cual hace referencia a la aptitud de las clases agrológicas para su desarrollo agropecuario, forestal y forrajero, incluyendo riegos de deterioro y limitaciones de uso en función de las características de los suelos, topografía, drenaje y condiciones climáticas imperantes.

Las clases agrológicas de capacidad agrupan suelos con características similares

tales como: restricciones para su utilización, riesgos al deterioro por tipos de cultivos y por último, las aptitudes generales.

En relación a la vegetación, en la región se identifican diferentes formaciones vegetales, como consecuencia de la combinación de las distintas variables ambientales. Dentro de estas formaciones se mencionan: Bosques, Matorral, Sabana abierta, Sabanas con chaparros, Bosques tropófilos, Selvas nubladas y Formaciones herbáceas.

En cuanto al aspecto humano, la ocupación de las regiones Central (conformada por las entidades federales Cojedes, Carabobo y Aragua) y Capital (constituida por el Distrito Federal y Estado Miranda), está íntimamente relacionada con la ocupación histórica del territorio venezolano, donde el patrón poblacional siguió la distribución iniciada por la población aborigen que habitó estas tierras, asociada a los recursos presentes. Actualmente, la población que habita en las regiones mencionadas, se ubica intensificando la ocupación histórica, a través del crecimiento y expansión de sus centros urbanos, reflejando la importancia y atracción ejercidas por esas regiones sobre otras más deprimidas de la geográfica venezolana.

En épocas más recientes, la rapidez del crecimiento económico venezolano y la aceleraciones que este sufrió a partir de 1974, ha causado un impacto en el espacio regional del arco centro norte costero del país, produciéndose una dinámica no planificada en el territorio con lo que se afianza más el proceso histórico generado. De esta manera, el primer censo oficial realizado en 1873 en la Región Central, registró una población de 310.221 hab y la región Capital 189.522 hab, mientras el conjunto regional acumuló un total de 499.743 hab. Para 1981, ambas regiones totalizaron la suma de 5.700.000 hab, constituyendo el área más densamente poblada de Venezuela (Guevara, 1983). La población total de los centros urbanos de mayor población en el área de trabajo y su proyección para el año 2010, según el MARNR (1992), registra que solamente la ciudad de Caracas registró para el censo de 1990 un total de 3.124.171 hab., mientras que su proyección para el año 2010 es de 4.475.630 hab.

La distribución subregional del empleo por sectores de la actividad económica de la Cuenca, refiere una alta concentración en el sector terciario, que es el principal captador de empleo, ocupando porcentajes por el orden del setenta por ciento (70%). Es en el sector servicios donde se concentra el mayor número de empleos, generando una población ocupada con escasa especialización y bajos niveles de ingreso, cuya extensión espacial conforma relevantes zonas de marginalidad.

3º La metodología de la capacidad de acogida: aptitud e impacto. Detallar los criterios usados para medir la aptitud y el impacto de una de las actividades; por ejemplo la industrial y explicar cómo se consigue el mapa de acogida para esta actividad. En las restantes actividades solo se enumeran los criterios y muestran los mapas resultado.

Enmarcándose dentro del ámbito del objetivo de este trabajo, es importante comentar la metodología que se aplicará, fundamentándose en los modelos de capacidad de acogida del territorio, los cuales pueden ser abordados por diferentes métodos, dentro de los cuales se hará énfasis en el modelo de impacto/aptitud (Gómez Orea 1992), de forma conjunta, debido a que permite la evaluación integral de la problemática.

La utilización de los Sistemas de información Geográfica y los Métodos de Evaluación Multicriterio se basa en el interés de utilizar técnicas de vanguardia con procedimientos que pueden ser adaptadas a los diferentes procesos que involucran dichos métodos. La multiplicación de factores que inciden en la determinación de las áreas de asignación de usos, requiere de la definición de un proceso integral que tenga en cuenta procesos incidentes. Un planteamiento de esta naturaleza requiere de los siguientes aspectos.

1. Determinación de un primer conjunto de soluciones al problema de localización mediante Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) dentro del Ambiente de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello se requiere de la consideración de criterios englobados en aspectos ambientales y socioeconómicos, de donde se derivan la aptitud y limitaciones que es necesario tener en cuenta para la obtención final de los modelos.
2. Obtención de soluciones más detalladas y precisas mediante la aplicación de los modelos de localización-asignación.
3. Aplicación de Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) para diferencias entre los lugares candidatos y posterior selección de los más adecuados.

Esta metodología está basada en las capacidades de los SIG, para generar áreas de aptitud para acoger determinada actividad, el método que considera tanto factores de aptitud como de impacto, Gómez Orea, (1992) y la evaluación de estos elementos mediante Técnicas de Evaluación Multicriterio, (Barredo 1995;1996).

Los estudios de capacidad del territorio están dirigidos a valorar el potencial y las restricciones naturales para la instalación de una actividad o uso del suelo en un territorio. Una vez realizado el inventario del medio físico, el paso seguido es el de combinar esta información entre sí, mediante otras variables de índole socioeconómica a través de diversos modelos y técnicas.

Para obtener los modelos de asignación de usos, se generarán primeramente modelos de capacidad de acogida, para posteriormente evaluar cada lugar del territorio, según la capacidad que muestra para los diferentes usos y actividades definidos previamente, en este caso, se basarán en los conceptos de aptitud e impacto.

La aptitud puede definirse como el potencial que posee un lugar para soportar una actividad determinada, es decir, el conjunto de requisitos locacionales que debe poseer un lugar para podrá acoger una actividad determinada; la aptitud varía como es lógico, a medida que varían los factores del medio o las clases de los factores, estableciéndose así un rango de aptitud para una actividad en un territorio dado. Barredo, (1996), mientras el impacto, puede entenderse como el efecto que una determinada actuación produce en los elementos del medio, o en las unidades ambientales, efecto que puede ser beneficioso o no, es decir, positivo o negativo. MMA, (1996).

De acuerdo a los objetivos y problemática planteada, se evaluará principalmente el

efecto causado por los cambios de usos en el suelo, como principal elemento generador de impactos.

Para obtener los mapas de aptitud e impacto, debe partirse del establecimiento de una serie de criterios ambientales que incidan positivamente en forma de atracción de la actividad o uso (criterios de aptitud), y de aquellos que puedan afectar de forma negativa al medio tratado (criterios de impacto).

En este sentido, la elección de los criterios y factores de evaluación (criterios ponderados), va a incidir de forma notable en todo proceso de evaluación y los resultados quedarán afectados por la exclusión o inclusión de algunos criterios.

La localización multiobjetivo, constituye uno de los más importantes procesos de toma de decisiones empleados en el manejo y planificación del uso del suelo, especialmente bajo objetivos conflictivos; en este sentido, las funciones de evolución de los SIG, facilitan la decisión bajo múltiples criterios. Estas funciones incluyen: generación de tabla de decisión, enumeración de preferencias, selección de funciones de agregación y análisis de sensibilidad. Estas funciones representan operaciones comunes en muchas técnicas multicriterio, y permiten además seleccionar una técnica específica de una interfase de usuario convirtiendo estas funciones en una parte de la caja de herramientas de los SIG.

En concreto, el *software* IDRISI (Eastman et al, 1993^a), ha desarrollado una serie de nuevos módulos donde se exploran procedimientos específicos de localización multiobjetivo para objetivos conflictivos y su lógica. El método más directo consiste en considerar el problema de la localización de los usos del suelo bajo la perspectiva de un objetivo simple, por lo que la esencia de la solución de los conflictos multiobjetivos es presentada como una extensión de esa lógica.

Bajo este enfoque, en la aplicación de las Técnicas de Evaluación Multicriterio, los factores continuos son relacionados en la forma de la combinación lineal de pesos y las restricciones se ejecutan mediante la aplicación de la lógica booleana (Eastman, *et al.*, 1993^a,pág. 262).

Un procedimiento simple utilizando la orden RANK del programa Idrisi, especifica que el mapa de adecuación debe estar en la forma de imagen formato entro 8-bit (byte) con valores entre 0 y 255, lo que origina una imagen con rangos de adecuación en números reales ordenada en forma creciente o decreciente. Una vez que las adecuaciones han sido ordenadas, seleccionar un conjunto de celdas que luego serán reclasificadas según criterio preestablecido como las más adecuadas, asignando a éstas un valor desde 1 hasta el límite del criterio establecido y 0 a todas las áreas restantes. El procedimiento multiobjetivo creado en Idrisi se basa en esta misma lógica, la cual es ejecutada por los módulos RANK/RECLAS para el procedimiento de localización de un objetivo simple. Igualmente se ha desarrollado una extensión multidimensional de este mismo principio denominado MOLA (*Multi-Objective Land Allocation*).

Lógicamente, las áreas de conflicto deben ser resueltas, para ello, el procedimiento RANK/RECLASS, equivalente a mover la línea perpendicular de decisión desde el origen hacia la posición de máxima adecuación hasta capturar suficientes celdas para lograr la meta areal, (Eastman *et al.*, 1993b, pág. 164).

En el caso de dos objetivos, dos líneas de decisión son utilizadas, (cada una correspondiente a un objetivo), y la rutina del *MOLA* efectúa la reclasificación de los mapas de adecuación ordenados con la consecuente resolución de las celdas bajo conflicto, y ubicar las celdas conflictivas uniformemente entre los dos objetivos, aplicando una simple heurística, y de acuerdo con este procedimiento, una línea de decisión dividiría el espacio en conflicto y se obtendría una distribución proporcional de las celdas.

Al ordenarse previamente los rangos de adecuación con el comando RANK antes de aplicar el comando *MOLA*, las celdas tenderán a alinearse a lo largo de los 45° de la diagonal del espacio de decisión, como resultado, la única línea de decisión de la mínima distancia al punto ideal, tendrá una tendencia a coartar en pares iguales las celdas de dispersión en el espacio de decisión, en el caso de dos objetivos planteados. Si son más los objetivos conflictivos, las líneas en el espacio de decisión se multiplicarán hasta el punto de no poderse representar en el espacio.

La localización multiobjetivo de los usos del suelo, constituye uno de los más importantes procesos de toma de decisiones que pueden ser empleado eficazmente, cuando existen objetivos conflictivos.

El mecanismo de Evaluación Multicriterio y Multiobjetivo para asignar de forma óptima los usos del suelo, opera de la siguiente manera:

1. Primeramente, son seleccionadas los criterios y factores que luego serán ponderados con un método adecuado; en este caso, se utilizó el Método de las Jerarquías Analíticas de Saaty, cuya escala comprende los valores entre 1/9 y 9.

Este proceso se expresa mediante una matriz de comparación por pares y los pesos deberán sumar 1 (mediante el procedimiento de la Sumatoria Lineal Ponderada) (Eastman *et al.*, 1993^a). En este caso, el programa IDRISI incluye el módulo *Weight*, que efectúa el cálculo del valor del eigenvector principal a partir de la matriz que es completada previamente en el módulo EDIT, permitiendo verse los resultados del ordenamiento y tomando decisiones en cuanto a la resolución de las inconsistencias.

2. Una vez seleccionadas los criterios y ponderados, tanto para las capas de aptitud e impacto, son seleccionadas las restricciones, que constituyen las limitaciones tanto físicas, socioeconómicas como legales, que impiden la asignación de uso de estos espacios con actividades humanas.
3. Las variables de aptitud e impacto son entonces ordenadas en función del Método de las Jerarquías Analíticas para otorgarles un peso dentro de la matriz de comparación por pares y luego se combinan con las limitantes mediante el módulo *Multi-Criteria Evaluation (MCE)* del programa IDRISI, que fue el utilizado en este trabajo y se

obtiene el modelo de capacidad de acogida, que es requisito previo para el modelo de asignación de usos del suelo.

- Una vez elaboradas las capas de capacidad de acogida, se procedió a la selección de las mejores parcelas para cada tipo de uso en función de un tamaño adecuado a la actividad que se desarrollará en ellas. En este caso, la selección estuvo en función del valor medio de capacidad de acogida y al menor valor de desviación típica, que indica la diversidad interna de cada parcela en función de su adecuación.

En el caso que nos ocupa, tomando el orden de importancia suministrado por el MARNR (1991b, Cap. 1, Pág. 47), se considerará esta misma jerarquía en la asignación de pesos a los factores, los usos prioritarios son representados en la tabla siguiente.

Niveles jerárquicos relativos a los usos prioritarios

Nivel Jerárquico	Modelo de Asignación de Uso	Metas de superficie en ha	Porcentaje de cubrimiento
1	Agrícola	21.097,35	19,08
2	Res. Alta densidad	77.026,39	69,67
3	Industrial	149,31(*)	0,13
4	Uso turístico recreac.	12.271,36	11,10

Fuente: Cálculos propios.

(*) Esta es la superficie que fue digitalizada, pero para las propuestas se tomarán 1000 ha que no repercuten espacialmente y es más operacional para la representación de los resultados.

Según el orden seguido, en primer lugar para la Cuenca del Río Tuy, la prioridad de inicia por el ordenamiento de las zonas agrícolas, luego las residenciales de alta densidad, el uso industrial y finalmente el uso turístico.

Como puede observarse en la tabla anterior, el en área de estudio, la mayor superficie a ordenar corresponde con el uso urbano que constituye una zona de alto conflicto por el crecimiento urbano incontrolado. En tercer lugar, el uso industrial que no se pretende fomentar más allá de los actuales polígonos industriales y finalmente, el uso turístico recreacional, al cual se le otorga un poco más de superficie a la ocupada con respecto al valor digitalizado.

La primera etapa en el procedimiento de aplicación del procedimiento multiobjetivo, consiste en la elaboración de los mapas de capacidad de acogida que abarca las siguientes fases:

Factores de aptitud \Rightarrow Limitantes \Rightarrow MCE \Rightarrow Capa de aptitud.
De la misma manera se procede para la capa de impacto.

Factores de impacto \Rightarrow Limitantes \Rightarrow MCE \Rightarrow Capa de impacto.
Con la misma idea, se construye la el modelo de capacidad de acogida.

Factores de aptitud \Rightarrow Factores de impacto \Rightarrow Limitantes \Rightarrow MCE \Rightarrow modelo de capacidad de acogida.

La selección de los criterios de aptitud e impacto con las limitantes, quedó estructurado de la siguiente manera para los cuatro usos tratados:

RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE APTITUD E IMPACTO SELECCIONADOS PARA EL MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA PARA USO RESIDENCIAL DE ALTA DENSIDAD

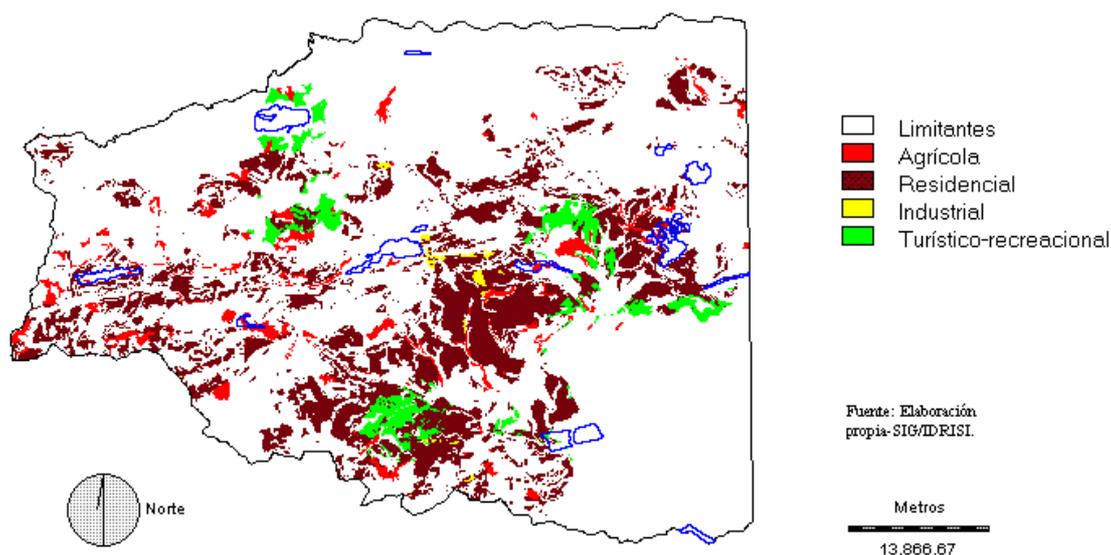
1	Selección de los criterios de aptitud	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad Portante del suelo para uso urbano - Estabilidad de taludes - Rangos de Pendientes - Accesibilidad a la vialidad - Accesibilidad a zonas urbanas - <u>Tierras con régimen de propiedad adecuado para urbanizar</u>
2	Selección de criterios de impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas - Tipos de formación vegetal - <u>Áreas agrícolas existentes</u>
3	Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Centros urbanos existentes - Zonas cubiertas por parques nacionales - Zonas de preservación en torno a cursos de agua - Cuerpos de agua - Áreas industriales existentes. - <u>Zonas de conservación paisajística.</u>
4	Ponderación de criterios	<p>A. De aptitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad portante para instalación de industria pesada: 0,2795 - Estabilidad de taludes: 0,2795 - Rango de Pendientes: 0,2018 - Accesibilidad a la vialidad: 0,0790 - Accesibilidad a zonas urbanas: 0,0512 - Régimen de propiedad adecuado: 0,1089 <p>B. De Impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas: 0,5396 - Tipos de formación vegetal: 0,2970 - <u>Áreas agrícolas existentes: 0,1634</u>
Modelo de Capacidad de Acogida para Desarrollo de Zonas Agrícolas		
1	Selección de los criterios de aptitud	<ul style="list-style-type: none"> - Accesibilidad a la vialidad - Accesibilidad a cursos de agua - <u>Tierras con régimen de propiedad adecuado para uso agrícola</u>
2	Selección de criterios de impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Tipos de formación vegetal - Estabilidad de taludes
3	Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Zona Protectora de Caracas - Zonas cubiertas por parques nacionales - Zonas de preservación en torno a cursos de agua - Cuerpos de agua - Áreas industriales existentes. - Centros urbanos existentes - Zonas de conservación paisajística - <u>Zonas agrícolas existentes.</u>
4	Ponderación de criterios	<p>C. De aptitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas potencialmente productivas: 0,4582 - Accesibilidad a la vialidad: 0,2404

		<ul style="list-style-type: none"> - Accesibilidad al agua: 0,1851 - Régimen de propiedad adecuado: 0,1163 <p>D. De Impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estabilidad de taludes: 0,3333 - Tipos de formación vegetal: 0,6667
Modelo de Capacidad de Acogida para Instalación de Industria Pesada		
1	Selección de los criterios de aptitud	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad Portante del suelo para uso industrial - Estabilidad de taludes - Rangos de Pendientes - Accesibilidad a la vialidad - Accesibilidad a zonas industriales - Tierras con régimen de propiedad adecuado para uso industrial
2	Selección de criterios de impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas - Tipos de formación vegetal - Cercanía a cuerpos de agua - Áreas agrícolas existentes
3	Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Zona Protectora de Caracas - Zonas cubiertas por parques nacionales - Zonas de preservación en torno a cursos de agua - Cuerpos de agua - Áreas industriales existentes.
4	Ponderación de criterios	<p>E. De aptitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad portante para instalación de industria pesada: 0,2742 - Estabilidad de taludes: 0,2742 - Rango de Pendientes: 0,1982 - Accesibilidad a la vialidad: 0,1047 - Accesibilidad a zonas industriales: 0,0829 - Régimen de propiedad adecuado: 0,0657 <p>F. De Impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas: 0,3397 - Tipos de formación vegetal: 0,2390 - Cercanía a cuerpos de agua: 0,2808 - Áreas agrícolas existentes: 0,1404
Modelo de Capacidad de Acogida para Zonas de Desarrollo Turístico-Recreacional		
1	Selección de los criterios de aptitud	<ul style="list-style-type: none"> - Paisaje con valor escénico - Estabilidad de taludes - Accesibilidad a la vialidad
2	Selección de criterios de impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas - Áreas agrícolas existentes
3	Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas urbanas presentes - Zonas cubiertas por parques nacionales - Zonas de preservación en torno a cursos de agua - Cuerpos de agua - Áreas industriales existentes. - Zonas de vegetación de carácter singular
4	Ponderación de criterios	<p>G. De aptitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paisaje con valor escénico: 0,5286 - Estabilidad de taludes: 0,3330 - Accesibilidad a la vialidad: 0,1384 <p>H. De Impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clases agrológicas del suelo potencialmente productivas:

		0,6667
		- Áreas agrícolas existentes: 0,3333

Siguiendo el procedimiento antes señalado, se elaboró el mapa de asignación de usos del suelo, para los cuatro usos especificados. El procedimiento que se aplicó, se ha desarrollado sobre la base de un proceso comparativo entre los resultados producidos por el comando *MOLA* de la forma habitual en que este comando genera la capa de asignación de usos del suelo, mediante la combinación de las capas de información tratadas previamente con el comando *RANK* de forma descendiente y el resultado producido con este mismo comando, pero aplicando previamente un procedimiento de generación de parcelas. De esta manera se trata de comparar los resultados producido mediante uno y otro procedimiento y evaluar sus ventajas y desventajas.

El procedimiento habitual del programa *IDRISI* con el comando *MOLA*, indica que las capas de capacidad de acogida intervinientes en el procedimiento de asignación de usos son ordenadas en forma creciente o decreciente con el comando *RANK* y luego, son tratadas con comando *MOLA*, estableciendo las prioridades en función de los pesos y superficies de ocupación, produciéndose un mapa donde aparecen reflejados los usos tratados. En el caso del Módulo I de la Cuenca del Río Tuy, se obtuvo un mapa como el que se muestra a continuación, con la problemática de que el procedimiento *IDRISI* de forma habitual produce mucha fragmentación:



Mapa N. 2. Asignación de usos del suelo mediante píxeles.

Como puede observarse, el procedimiento del programa *IDRISI* produce mucha zonas de pequeña superficie. Esto se debe a que los cálculos son realizados a partir del píxel sin considerar la autocorrelación espacial. Debido a esto, fue que se planteó una

mejora al procedimiento de generación del modelo de asignación de usos empleado por *IDRISI*, con la finalidad de producir áreas con mayor superficie y más homogénea en función de algunos criterios establecidos. Bosque y García, (1999). Para producir este mapa con mayores superficies de asignación de usos, se empleó un procedimiento como el que sigue, en el cual se combinaron la elaboración de los mapas de capacidad de acogida en primer lugar, luego el procedimiento para generar las parcelas y seguidamente, la utilización del comando *MOLA*, con el cual se produjo el mapa de Asignación de Usos del Suelo.

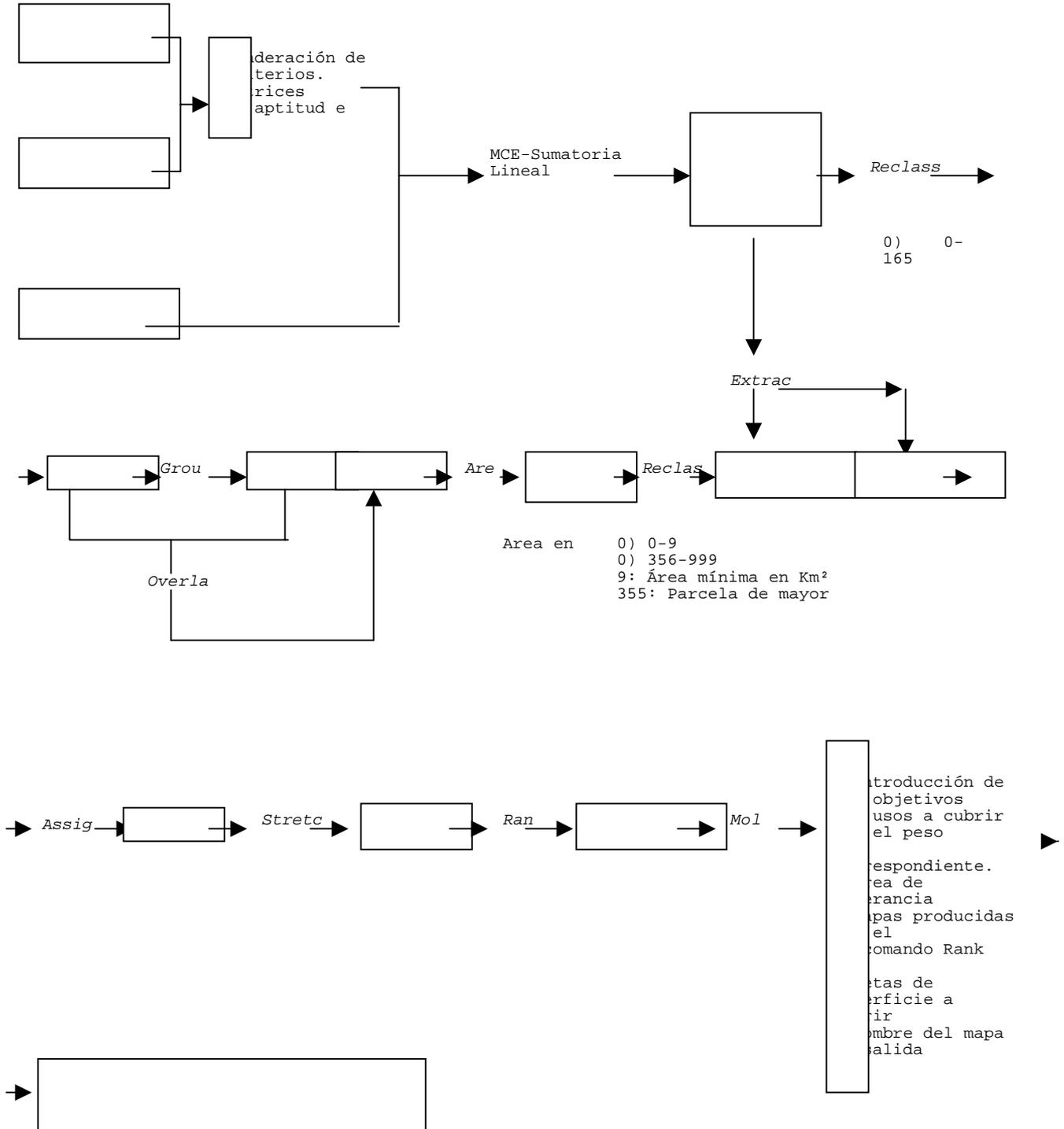
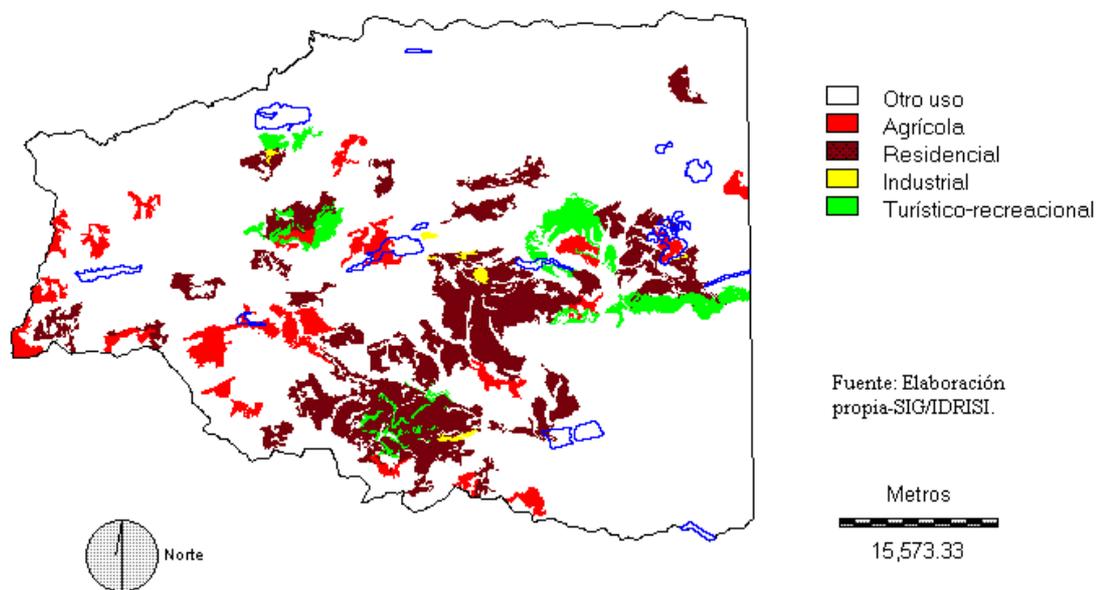


Figura N. 1. Esquema metodológico de elaboración del mapas de Asignación de Usos del Suelo.



Mapa N. 3. Asignación de usos del suelo en función de parcelas.

Primeramente puede observarse que en el mapa producido en función de parcelas, no se produce la multiplicación de áreas de muy pequeña superficie, Igualmente, puede verificarse áreas mayores y más compactas que alcanzan las metas de superficie indicadas y que la mayor zona, dedicada al uso residencial, se ubica al centro, sur, este noroeste y en menor proporción hacia el oeste.

Con respecto al sector agrícola, las áreas propuestas poseen mayor superficie, las cuales si pueden ser aprovechadas para este uso. Estas se encuentran ubicadas principalmente hacia el oeste, siendo este sector de amplia tradición agrícola, como es el eje Tejerías-El Consejo. Finalmente, también pueden observarse áreas agrícolas hacia el sur y al centro.

El uso en el mapa de asignación de usos se ubican de forma estratégica cerca del centro urbano de mayor atracción (Caracas), concretamente hacia el sur-oeste y también al centro, donde se localizan otros centros industriales y zonas residenciales que influyen en el intercambio comercial y accesibilidad de mano de obra para las industrias; las áreas turísticas sugiere diferentes propuestas al centro y este.

6.- Conclusiones

De acuerdo, con lo planteado podríamos resumir en dos grandes defectos la problemática que el uso de un SIG plantea a la planificación ambiental.

1º La insuficiencia de los instrumentos disponibles en los SIG para la generación de alternativas y soluciones que se integren al proceso de planificación para resolver un problema.

2º Las dificultades e insuficiencias de la evaluación precisa y completa de las alternativas establecidas en relación a los objetivos definidos.

El primer problema se tiene que solucionar integrando en los SIG nuevas funciones de análisis y, más en concreto para la planificación ambiental, relacionando los SIG con el modelado ambiental. Las alternativas saldrán del uso de estos modelos ambientales, integrados o relacionados de alguna manera con los SIG.

La segunda cuestión se puede resolver combinando el uso de SIG con los procedimientos de evaluación multicriterio, que permiten comparar de modo preciso las diferentes soluciones y escoger alguna de ellas como la más conveniente. La integración de este tipo de técnicas en los SIG es posible y ya existen numerosas aplicaciones concretas.

Con estos dos desarrollos se pueden esperar mejoras sustanciales en la planificación ambiental y en el tratamiento de los graves problemas ambientales que ahora afectan a nuestro mundo.

Con respecto al método aplicado para producir los mapas de asignación de usos de suelo puede decirse, que este procedimiento permite mejorar sensiblemente los resultados produciendo zonas para localización de usos, de tamaño razonable y simultáneamente, manteniendo el alto grado de capacidad para acoger el tipo de uso tratado. Los resultados obtenidos son suficientemente útiles y adecuados, mucho más que los encontrados con el procedimiento habitual IDRISI.

Bibliografía

ARENTZE, T.A., BORGERS, A.W.J. y TIMMERMAN, H.J.P. (1996): "Integrating GIS into the Planning Process" en M. Fischer, H.J. Scholten y D. Unwin (editores): *Spatial Analytical Perspectives on GIS* Londres, Taylor and Francis, pp. 187-198.

BAILEY, T.C. Y GATRELL, A. C. (1995): "Interactive Spatial Data Analysis". Harlow, Longman, 413 p. y un disco de ordenador (programas, ejemplos, etc).

BARBA ROMERO, S. y POMEROL, J-C. (1997): "Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica". Alcalá de Henares, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá. 420 p.

BARREDO, J. (1993)

Modelo Cartográfico para determinar Áreas de Crecimiento Urbano a través de un SIG. Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela). Trabajo de investigación de Doctorado. Universidad Alcalá de Henares, Dpto. de Geografía. Alcalá de Henares - España, pp. 119 más anexos

BARREDO, J. (1995)

"Aplicación de Técnicas de Análisis Espacial Integrando Evaluación Multi-Criterio y Sistemas de Información Geográfica para la Realización de Estudios de Localización/Asignación de Actividades". Tesis doctoral (Inédita). Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Geografía. Alcalá de Henares - España, pp. 366.

BARREDO CANO, J.I. (1996): "Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio". Madrid, Editorial RA-MA, pp. 264.

BOSQUE SENDRA, J. (1997): "Sistemas de información geográfica". Madrid, Ediciones Rialp, 2º edición corregida, 451 p.

BOSQUE SENDRA, J. (1996): "Técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en la ordenación del territorio" en *Portugal-España. Ordenación territorial del suroeste comunitario*. Coordinadores: A-J. Campesino Fernández y Carmen Velasco Bernardo. Universidad de Extremadura, Servicio de publicaciones, Cáceres, pp. 69-76.

BOSQUE SENDRA, J. Y FRANCO MAASS, S. (1995): "Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables". *Serie geográfica*, nº 5, pp. 97-114.

BOSQUE SENDRA, J., GARCÍA, R.(1999): "Asignación Óptima de Usos del Suelo Mediante Generación de Parcelas por medio de SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio" VII Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica. Mérida - Venezuela.

BOSQUE SENDRA, J., GÓMEZ DELGADO, M., MORENO JIMÉNEZ, A. y DAL POZZO, F. (1999): "Hacia un Sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos". *Estudios geográficos*, (enviado para publicación).

BOSQUE SENDRA, J., GÓMEZ DELGADO, M., RODRÍGUEZ DURAN, ANA E., RODRÍGUEZ ESPINOSA, V.M., VELA GAYO, A. (1997): "Valoración de los aspectos visuales del paisaje mediante la utilización de un sistema de información geográfica". *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, nº 30, p. 19-38.

BRAINARD, J. LOVETT, A. y PARFITT, J. (1996): "Assessing Hazardous Waste Transport Risks using GIS". *International Journal of GIS*, vol. 11, nº 4, pp. 375-396

- BROOKES, Ch., (1997)

"A Parameterized Region-Growing Programme For Site Allocation on Raster Suitability Maps. *International Geographical Information Science*". Vol. II, Nº 4, pp. 375-396.

CARVER, S. J. (1991): "Integrating multi-criteria evaluation with GIS" *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 5, nº 3, pp. 321-339

- COMISIÓN NACIONAL DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. (1990)

"Bases para el Plan Nacional de Ordenación del Territorio". Vol. II, Documento I. El Recurso Tierra. Secretaría Técnica Nacional. Caracas - Venezuela, pp. 104.

EASTMAN, J.R. y otros (1993a): *GIS and Decisión Making. Explorations in Geographic Information Systems Technology*. Vol. 4 Ginebra, UNITAR European Office, 112 p. (3 discos).

EASTMAN, J.; TOLEDANO, J.; KYEN, P., (1993b).

"An Algorithm for Multi-Objetive Land Allocation Using GIS. Proceeding. International Workshop on GIS". August 19-22. Beijing: Chinese Academy of Science. Pág. 261-270.

EASTMAN, J.; WEIGEN, J.; PETER, A.; y TOLEDANO, J., (1995)

"Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objetive Decisions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing". American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 61, Nº 5, pp. 539-547.

EASTMAN, J. (1997a)

"IDRISI for Windows". User's Guide. Versión 2.0, January, 1997. Clark Labs for Cartographic Technology and Cartographic Analysis. Worcester - USA.

EASTMAN, J. (1997b)

"IDRISI for Windows: Tutorial Exercices". Versión 2.0, January, 1997. Clark Labs for Cartographic Technology and Cartographic Analysis. Worcester - USA

DENSHAM, P.J. (1996): "Visual interactive locational analysis" en P. Longley y M. Batty: *Spatial Analysis: Modelling in a GIS environment* Cambridge, Geoinformation

international, pp. 185-206

FRANCO, S., (1996)

"Metodología para la Localización de Confinamientos Controlados de Desechos Industriales Peligrosos. El caso de Toluca - México". Trabajo de Investigación del Programa de Doctorado. Universidad de Alcalá de Henares, Departamento de Geografía. Alcalá de Henares - España, pp. 135.

GÓMEZ DELGADO, M., RODRÍGUEZ DURAN, ANA E., RODRÍGUEZ ESPINOSA, V.M., CHUVIECO, J. y CHUVIECO, E. (1996): "Diseño de carreteras con un SIG. Factores económicos y factores ambientales" *Ciudad y territorio/Estudios territoriales*,

GÓMEZ, D., (1992a)

"Evaluación de Impacto Ambiental". Editorial Agrícola Española S.A.. Madrid - España, pp. 221.

GÓMEZ, D., (1992b)

"Planificación Rural". Editorial Agrícola Española S.A. Madrid - España, pp. 396

GÓMEZ, D., (1994)

"Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico". Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid - España, pp. 380

GOODCHILD, M.F., PARKS, B.O. y STEYAERT, L.T. (Editores) (1993): "Environmental Modeling with GIS". Nueva York, Oxford University Press, 488 p.

GOODCHILD, M.F., STEYAERT, L.T. y PARKS, B.O. (Editores) (1996): "GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues". Fort Collins, CO., GIS World Books, 486 p.

GUEVARA, J., (1983)

"Geografía de las Regiones Capital y Central". Ariel Seix-Barral Venezolana.. Caracas - Venezuela. pp.344

HASLETT, J., WILLS, G. y UNWIN, A.R. (1990): "SPIDER. An Interactive Statistical Tool for the Analysis of Spatial Data" *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 4, n° 3, pp. 285-296

HOAGLIN, D.C. y MOSTELLER, F. (1983): *Understanding robust and exploratory data analysis* Nueva York. J. Wiley.

HOAGLIN, D.C, MOSTELLER, F. y TUKEY, J.W. (1985): *Exploring data, tables, trends, and shapes* Nueva York, J. Wiley.

HOPKINS, L.D. (1977): "Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation" *Journal of American Institute of Planners*, vol. 43, n° 4, pp. 386-400

JANKOWSKI, P. (1995): "Integrating geographical information system and multiple criteria decision-making methods" *Int. J. of GIS*, vol. 9, n° 3, pp. 251-273

JOERIN, F. y MUSY, A. (1995): "Localisation d'un site par l'utilisation combinee de SIG et de methodes multicriteres" en *41e Journées du Groupe de travail européen "Aide multicritere à la décision"*. Lausanne, Ecole Polytechnique federale.

MALCZEWSKI, J. (1996): "A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making" *Int. J. Geographical Information Systems* vol. 10, n° 8, pp. 955-971

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1979). "Esquema de Ordenamiento de la Región Centro Norte Costera. Diagnóstico". Serie de Informes Técnicos DGSP OA/IT/51. Caracas - Venezuela, pp. 156.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1983). "Sistemas Ambientales Venezolanos". Proyecto VEN/79/00-001, Regiones Capital y Central, Distrito Federal y Estados Miranda, Aragua y Carabobo, Vol. 3, Caracas - Venezuela, pp. 922.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1989). "Atlas de Capacidad de Uso de las Tierras, Estados Centrales y Centroccidentales." DGSIIA/Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna, Primera Edición. Caracas - Venezuela.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1991a). "Síntesis del Plan de Ordenamiento del Área Crítica con Prioridad de Tratamiento Cuenca del Río Tuy". DGSP OA/Oficina Técnica Cuencas Lago de Valencia/Río Tuy. Proyecto VEN/90/002. MARNR-PNUD. Caracas - Venezuela, pp. 33.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1991b) "Plan de Ordenamiento del Área Crítica con Prioridad de Tratamiento Cuenca del Río Tuy". Proyecto VEN/90/002. Oficina Técnica Cuenca del Lago de Valencia/Río Tuy. Caracas - Venezuela. pp. 130.

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR), (1992). "Sistema de Información Ambiental de la Cuenca del Río Tuy". MARNR/FII/FP. Caracas - Venezuela, pp. 218.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, (1996) "Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología". Secretaría General de Medio Ambiente. Centro de Publicaciones. Serie monografías. Segunda reimpresión. Madrid - España, pp. 808.

ROMERO, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid, Alianza editorial.

- VOOGD, H., (1983)

"Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning". Pion, Londres. pp.