

Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG¹

Joaquín BOSQUE SENDRA, Montserrat GÓMEZ DELGADO,
Víctor RODRÍGUEZ ESPINOSA, María Ángeles DÍAZ MUÑOZ,
Ana Esther RODRÍGUEZ DURÁN, Antonia VELA GAYO

1. INTRODUCCIÓN. EL PROBLEMA DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE INSTALACIONES NO DESEABLES

Uno de los problemas más acuciantes que sufre hoy nuestro medio ambiente, resultado directo de la propia evolución de la actual sociedad de consumo, es la producción de los residuos. Las actividades que el hombre realiza son de muy diversa índole y naturaleza, y, en función de las mismas se generan distintos tipos de residuos de diferente composición, estado o peligrosidad. De acuerdo con estas características, el tratamiento, gestión y almacenamiento de los distintos residuos varían dando lugar a la necesidad de crear toda una serie de infraestructuras y mecanismos de gestión con el fin de evitar cualquier deterioro ambiental.

La localización en el territorio de las instalaciones para estas funciones, instalaciones no deseadas, es un problema de gran importancia práctica y de fuerte contenido geográfico.

Podemos esquematizar, desde un punto de vista espacial, el problema de la siguiente manera (Bosque Sendra, 1992):

- a) Las instalaciones donde se producen, tratan o depositan residuos constituyen hechos de tamaño puntual (en términos relativos), a los cuales se debe otorgar una localización concreta en un espacio bidimensional.
- b) La población (y otros elementos del territorio sensibles a los efectos negativos de los residuos) se sitúa concentrada en muchos puntos de esa superficie espacial. Existe por ello una distribución espacial irregular con respecto a la posible afectación.
- c) Los desplazamientos o traslados entre los lugares de producción y de tratamiento pueden realizarse de maneras diversas sobre el espacio, aun-

¹ Investigación realizada en el proyecto de investigación 06/0116/1997 de la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid.

que lo más general es que se realicen a través de la red de comunicaciones (calles, carreteras, etc.).

En este contexto el problema geográfico se resume en contestar a la siguiente pregunta: ¿En qué punto o puntos se deben colocar las instalaciones para que atiendan de modo adecuado a las empresas productoras y/o a las personas que producen residuos domésticos? Para ello es preciso considerar, junto a otros elementos que después mencionaremos, el tipo de efecto (externalidad espacial) que cada instalación produce en su entorno inmediato. Podemos, sin demasiadas dificultades, clasificar las instalaciones de servicios en dos grandes tipos: **a)** las deseables, aquellas en que predominan las externalidades positivas: escuelas, hospitales, comercios, cines y **b)** las no deseables, en las que las externalidades negativas son predominantes. En este último caso se encuentran, sobre todo, los lugares donde se tratan y eliminan los residuos que la sociedad produce: vertederos de residuos sólidos urbanos, centros de tratamiento de residuos industriales (tóxicos y peligrosos), etc.

La población suele reaccionar con protestas y oposición a que estas infraestructuras no deseables se sitúen en sus proximidades: desde la oposición a que tales servicios se instalen en las cercanías de su domicilio, reacciones sintetizadas en las expresiones «No en mi patio trasero» (NIMBY en las siglas inglesas, «*Not in My Backyard*») o «Uso del suelo localmente indeseable» (LULU, «*Locally Unwanted Land Use*»), hasta la negativa absoluta a la creación de tales centros en ningún lugar, al considerar, por ejemplo, que es necesario llevar adelante políticas de reciclado absoluto y nula producción de residuos (BANANA, «*Build Absolutely Nothing at All Near Anybody*»).

Todas las cuestiones mencionadas plantean el interés de establecer algún tipo de procedimiento que, apoyándose en las nuevas tecnologías de la información geográfica, permita determinar los lugares más adecuados para situar estos centros teniendo en cuenta dos hechos fundamentales: la minimización de los costes y la minimización de los problemas ambientales. El objetivo de este trabajo es aportar algunas ideas en este sentido.

2. UN PROCEDIMIENTO PARA LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES NO DESEABLES

El procedimiento concreto que se desarrolla a continuación utiliza SIG y técnicas de evaluación multicriterio para determinar un conjunto de lugares candidatos que puedan acoger este tipo de instalaciones.

El procedimiento se sustenta en unos principios básicos que ya han sido formulados y definidos con claridad (McAllister, 1976; Morrill y Symons, 1977), para resolver de manera óptima problemas de localización de instalaciones. En concreto son los dos siguientes:

1. Principio de la **eficiencia** espacial. Se buscan localizaciones que, dada una posición concreta de la demanda (es decir, de los productores de

residuos), determinen un coste mínimo (tanto desde un punto de vista económico como de otro tipo) en la construcción y el uso cotidiano de estas instalaciones. Un elemento esencial en este sentido es la minimización de los desplazamientos necesarios para que estas instalaciones sean utilizadas por los productores de residuos. Simultáneamente, otro elemento significativo de la eficiencia espacial es la disminución de las molestias potenciales que estos centros ocasionan a la población residente en la región (Bosque y Franco, 1995).

2. Principio de la **justicia** espacial. Para este tipo de instalaciones no deseables, es importante igualmente, que no existan grandes diferencias geográficas ante la posibilidad de ser afectado por las molestias y riesgos provocados por ellas. Las distancias existentes entre centros y población residente *no deberían ser excesivamente diferentes, ya que esto implica grandes diferencias en la distribución de las molestias.*

Las estrategias para situar, de manera óptima, las instalaciones no deseables deben partir de considerar en algún modo los dos principios mencionados. Una primera propuesta sería situarlas en lugares donde se maximice la eficiencia espacial y, simultáneamente, se maximice la justicia. No obstante, existen otras posibilidades que más adelante se comentarán.

En este punto es necesario concretar como se puede medir de modo operativo los dos conceptos antes enunciados: eficiencia y justicia espacial. Para ilustrar de modo más claro las características del procedimiento planteado realizamos un aplicación de éste al caso de la Comunidad de Madrid. Todos los procedimientos de análisis y tratamiento de la información espacial fueron llevados a cabo con el SIG IDRISI para Windows versión 2.0.

3. LA EFICIENCIA ESPACIAL PARA LOCALIZAR CENTROS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

El concepto general de eficiencia espacial lo podemos subdividir en dos aspectos diferentes: la **eficiencia económica**, relacionada con los costes que ocasionaría, diferencialmente, situar una de estas instalaciones en cada punto del territorio y, en segundo lugar, la **eficiencia social**, ligada a las molestias y riesgos que una instalación de este carácter puede producir a la población que reside en el entorno cercano.

Para concretar de modo preciso los factores que miden la eficiencia debemos considerar los distintos tipos de instalaciones de tratamiento de residuos que podemos clasificar en dos grandes grupos:

- a) Aquellas que han de situarse en lugares muy especiales que cumplan determinadas condiciones de impermeabilidad del sustrato y que se encuentren lejos de cualquier lugar habitado por el hombre: vertederos de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y depósitos de seguridad para Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTP).

- b) Instalaciones que, aunque molestas y peligrosas en alguna medida, no necesitan condiciones especiales de impermeabilidad ni de distancia a los lugares habitados, de hecho podrían situarse en polígonos industriales. En este grupo podemos considerar a las estaciones de transferencia de RSU y las plantas de tratamiento físico-químico o de tratamiento biológico de RTP. Más aún, las dos últimas necesitan disponer en sus proximidades de una depuradora de aguas que reciba sus emisiones líquidas para ser tratadas y vertidas, finalmente, a un río; lo que quiere decir que, en estos dos casos, la distancia a los ríos supone un factor de localización añadido.

La eficiencia económica

Los costes económicos de crear centros de residuos en un punto son, evidentemente, complicados de estimar, pero únicamente nos interesan en este planteamiento aquellos que puedan tener variaciones de carácter espacial. Por ello, los podemos dividir en dos partes:

1. Los costes relacionados con la adquisición y adaptación de cada punto del territorio a la labor planteada, construcción de un centro de residuos.
2. Los costes derivados del uso de este punto para la recepción de los residuos, es decir, los costes de transporte de los residuos desde su origen hasta este lugar y, en el caso de las plantas de tratamiento de RTP, la distancia a los ríos.

Costes de adquisición del terreno

En cuanto a la adquisición del lugar para su conversión en centro de residuos, podemos considerar que el coste estará relacionado con el uso actual que se produce en cada punto del territorio. El coste será más alto cuando el terreno esté dedicado a actividades de alto valor: zonas residenciales, zonas industriales, etc. y será más bajo en la medida en que las actividades actuales sean de menor importancia económica: eriales, roquedos, etc.

Para introducir en nuestro estudio este criterio, es decir, la valoración otorgada a cada uso del suelo y tipo de vegetación en función del coste que supondría realizar un cambio de uso de un determinado terreno, se utilizó un mapa de vegetación y ocupaciones del suelo de la Comunidad de Madrid (proporcionado por la Dirección General de Urbanismo y Planificación Regional de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, a escala 1:50.000, con fecha de referencia a 1995). El mapa utilizado contiene un total de 162 categorías que fueron agrupadas en función de los costes estimados de adquisición para la labor estudiada.

El método elegido para otorgar un valor final a cada una de estas categorías fue el método de la Matriz de Comparación por Pares de Saaty. Se trata de uno

de los procedimientos de ponderación, dentro del método de jerarquías analíticas, que nos permite establecer la importancia relativa de los factores o categorías que intervienen en los denominados Modelos de Capacidad de Acogida, y, en concreto, en los procedimientos de Evaluación Multicriterio integrados en los SIGs para este fin (Barredo, 1996).

El método propuesto por T. Saaty consiste en establecer un juicio de valor que represente la importancia relativa de cada factor sobre los demás. Los juicios de valor han de oscilar entre 1/9 (extremadamente menos importante) y 9 (extremadamente más importante).

Tras analizar la relación entre las distintas categorías, en función de los costes estimados de expropiación de las mismas, los pesos finales obtenidos se muestran en la tabla 1: cuanto más alto es un valor más costosa es la creación de un centro de residuos en ese tipo de ocupación del suelo:

Tabla 1
Pesos finales para cada tipo de ocupación

<i>Categorías</i>	<i>Peso</i>
A: instalaciones varias (depuradoras, campings, insta. Agropecuarias, etc.)	0,37
B: regadío, frutales, olivares, mosaicos de cultivos, etc.	0,25
C: zonas arboladas con especies autóctonas	0,16
D: Pinares	0,10
E: Secano y pastizales	0,06
F: Matorrales	0,04
G: Baldíos (áreas incendiadas, eriales, etc.)	0,02

Una vez otorgados los valores calculados para los distintos usos del suelo, era necesario convertir los datos a una escala común (Barredo, 1996; Barba-Romero, 1997) que sería aplicada a todos los criterios. En nuestro caso, se decidió aplicar un ajuste lineal mediante el cual los valores originales de todas las variables o criterios tenidos en cuenta, serían reescalados entre un mínimo y máximo determinado (0-255).

Costes de adaptación del terreno

Una vez adquirido un punto del territorio, éste debe ser adaptado a las necesidades exigidas por su conversión en un centro de residuos. Evidentemente éstas varían mucho según el tipo de residuos a tratar y el tipo de actividad a desarrollar en ese lugar: vertedero, planta de tratamiento, etc. Un estudio profundo y suficientemente detallado de este tema exige un análisis específico de cada lugar candidato a cumplir esta función, pero en esta primera fase, donde la finalidad es la propia selección de lugares candidatos, podemos introducir una

consideración de esta problemática a través de la idea de que cuanto menos permeable sea la litología existente en un lugar, más barata y sencilla será su conversión en una instalación para el tratamiento de residuos.

En concreto, la normativa para la localización de este tipo de instalaciones, en especial de vertederos de residuos tóxicos y peligrosos, recoge la necesidad del cumplimiento de una serie de requisitos que se basan, fundamentalmente, en el tipo de litología del terreno. Así, estos vertederos han de evitar zonas de posible contaminación de aguas subterráneas por infiltración a través de terrenos permeables (PCARI, 1987). Los depósitos de naturaleza arcillosa o yesífera, junto con zonas de materiales ígneos y metamórficos son los más favorables, globalmente, para la localización de este tipo de instalaciones.

Para poder representar espacialmente este criterio de costes de preparación del terreno (y ante la imposibilidad de conseguir información digital más detallada), se digitalizó y utilizó el mapa de Vulnerabilidad de los mantos acuíferos existente para toda España a escala 1:1.000.000 (elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España). Tras un análisis de las distintas categorías y nivel de vulnerabilidad de los terrenos, se establecieron los siguientes pesos (cuanto más elevado sea un valor más difícil y costosa es la impermeabilización de ese punto):

Tabla 2
Pesos finales otorgados a cada formación en función de la vulnerabilidad del sustrato

<i>Vulnerabilidad de los mantos acuíferos</i>	<i>Peso final</i>
1. Formaciones aluviales. Acuíferos libres	10
2. Calizas muy fisuradas y/o karstificadas	9
3. Formaciones muy fisuradas	9
4. Acuíferos en arenas o areniscas	7
5. Formaciones de permeabilidad variable	5
6. Formaciones sedimentarias impermeables	1
7. Terrenos antiguos, plegados y metamorfizados	2
8. Terrenos graníticos y ultrametamórficos	3

Costes derivados del transporte de los residuos.

El tercer criterio mencionado, y quizás el más importante de los tres, se refiere a los costes de transporte derivados de llevar los residuos de los lugares de producción hasta cada lugar del territorio de la Comunidad, en el cual potencialmente se instale un centro de residuos. Estos transportes deben ser efectuados a través de la red de carreteras actualmente existente en la región; hemos de conocer, por tanto, el coste relativo de ir desde cada punto de la Comunidad de Madrid al centro productor de residuos más cercano, desplazándonos por el sis-

tema de carreteras de la Comunidad. No obstante, no todos los puntos de la región de Madrid están conectados de manera directa a la red de carreteras, por lo que el cálculo ha de ser algo más complejo, teniendo en cuenta dos elementos: en primer lugar, el coste de transporte desde cada punto situado en la red de carreteras hasta el centro productor más próximo y, en segundo lugar, los costes de transporte desde cada punto del territorio al lugar más próximo situado sobre la red de carreteras. *La combinación de estos dos costes medirá el coste global de llegar hasta un centro productor desde cualquier lugar de la Comunidad. El procedimiento fue el siguiente:*

1. Para realizar este cálculo consideramos como principales centros de producción de RSU todos los núcleos urbanos de la Comunidad de más de 100 habitantes y como principales productores de RTP todos los polígonos industriales existente en la Comunidad. En los dos casos anteriores no se ha considerado el tamaño de la producción de residuos ocurrido en cada uno de los centros y núcleos de población, que, evidentemente, son bastante diferentes en unos casos y otros. Sin embargo, dado el carácter preliminar de este estudio, creemos preferible no tener en cuenta esta magnitud, que debería ser empleada en una fase posterior a la hora de escoger entre los lugares candidatos que ahora seleccionemos.
2. En cuanto a la red de carreteras a través de la cuál se transportarán ambos tipos de residuos, se establecieron distintas fricciones unitarias según lo más o menos dificultoso, rápido o costoso que pudiera ser ese traslado en función del tipo de carretera utilizada. El criterio utilizado para medir el coste de desplazamiento a través de las distintas vías fue una combinación de la velocidad y el tipo de vía (cuanto más elevado el valor más difícil es el paso por ese tipo de vía):

Tabla 3
Fricción o coste de desplazamiento otorgada a cada tipo de carretera en función de la velocidad y tipo de vía

<i>Tipo de vía</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fricción</i>
Autopistas y autovías nacionales	Carreteras de 4 a 6 carriles y velocidad máxima de 120 Km/h	1
Carreteras Nacionales y Principales	Carreteras de 2 a 4 carriles y velocidad máxima de 100 Km/h	3
Carreteras Secundarias y Locales	Carreteras de 2 carriles y velocidad máxima de 90-100 Km/h	4
Enlaces	Carriles de aceleración y deceleración de entrada o salida a las principales vías. Velocidad entorno a 60 Km/h	7
Travesías	Vías urbanas de circunvalación en las principales ciudades. Velocidad 30 Km/h.	10

A partir de esta superficie de fricción y los mapas de centros productores se generaron dos mapas de costes de desplazamiento hasta cada tipo de centro de producción (núcleos urbanos y polígonos industriales) a lo largo de las carreteras. Para ello se empleó la orden *COSTGROW* del comando *COST* de *IDRISI*.

3. El siguiente paso consistía en calcular el coste relativo de desplazarse desde las carreteras ya existentes hasta cualquier punto de la región que actualmente no se encuentre conectado con éstas. En este caso, se decidió asumir como coste de desplazamiento la distancia existente entre cualquier punto y la carretera más próxima. El comando *DISTANCE* de *IDRISI* nos permitió realizar dos mapas de distancias: uno a partir del mapa derivado del mapa de costes de desplazamiento desde los núcleos de población a lo largo de las carreteras y otro a partir del mapa de costes de desplazamiento desde los polígonos industriales a lo largo de las carreteras.
4. A continuación se asignó a cada unidad espacial obtenida en el cálculo de distancias el valor de costes de desplazamiento del tramo de carretera más próximo. Esta operación es posible llevarla a cabo en *IDRISI* mediante el comando *ALLOCATE*.
5. Una vez obtenidos el mapa de costes de desplazarse por cada carretera desde los centros de producción y los costes de desplazarse desde cada punto del territorio hasta la carretera más próxima, fueron normalizados los valores contenidos en dichas imágenes. Posteriormente se realizó una suma de estos valores, obteniendo así dos mapas finales de accesibilidad a los productores de residuos, o dicho de otra manera, mapas de costes de recorrido desde un punto de la región a los dos tipos de centros de producción.
6. Finalmente, se decidió utilizar un criterio adicional para la localización de plantas de tratamiento de RTP, puesto que éstas suelen encontrarse directamente conectadas a una depuradora. Así, tras un análisis de la actual localización de las depuradoras de la Comunidad respecto a la red fluvial, consideramos que la localización de este tipo de plantas no debería distar más de 2.500 m. de un curso de agua.

Para realizar este mapa-factor, se calculó la distancia desde la red fluvial de la Comunidad a cualquier punto de la región mediante el comando *DISTANCE* de *IDRISI*. Una vez obtenido fue normalizado, otorgando valores entre 0 y 255 a todos aquellos puntos que distaban menos de 2.500 m. de cualquier curso de agua. A partir de 2.500 m. se mantendría un valor constante de inadecuación de 255. Esta normalización de tipo no lineal se llevó a cabo mediante el comando *FUZZY* de *IDRISI* y concretamente aplicando una función de tipo Sigmoide e incremento monótono.

La eficiencia económica, por fin, será la combinación de los tres factores en un caso y de los cuatro factores en otro, que hemos planteado hasta el momento: coste de adquisición, coste de conversión, coste de transporte y distancia a

los ríos. Cada uno de ellos deberá recibir una ponderación diferente en esta combinación, en concreto se consideró que las ponderaciones más adecuadas serían las siguientes:

- El coste de transporte, por su importancia y continuidad durante todo el tiempo de operación del centro alcanza un mayor significado, y se le debe atribuir un peso mayor: 0,50 (utilizando pesos entre 0 y 1).
- Los costes de adquisición y adaptación presentan una importancia más similar entre ellos, por lo que pueden ponderarse con un valor igual a 0,25.
- En el caso de las plantas de tratamiento y de transferencia el peso de la adaptación disminuye o incluso desaparece ya que se pueden utilizar zonas ya preparadas (polígonos industriales, por ejemplo), por el contrario el coste de la distancia a los ríos adquiere un cierto significado, que podemos hacer similar al de adquisición del terreno (0,25).

En resumen, la valoración de los distintos costes se plantea de la siguiente manera:

Tabla 4
Valoración de los diferentes factores de eficacia económica

<i>Instalación</i>	<i>Adquisición</i>	<i>Adaptación</i>	<i>Transporte</i>	<i>Distancia ríos</i>
Vertedero RSU	0,25	0,25	0,50	—
Depósito RTP	0,25	0,25	0,50	—
Planta transferencia	0,25	—	0,75	—
Planta tratamiento físico-químico	0,25	—	0,50	0,25
Planta de tratamiento biológico	0,25	—	0,50	0,25

En la figura 1 aparece el modelo cartográfico con todos los pasos seguidos para obtener los cinco mapas-factores que fueron finalmente utilizados para llevar a cabo el cálculo total de eficiencia económica.

La eficiencia social

Un planteamiento muy diferente requiere la cuestión de la eficiencia social. En este caso, se trata de intentar minimizar las molestias y riesgos que la presencia de centros de tratamiento de residuos genera en su entorno inmediato y considerar las posibles afecciones de estas instalaciones a la población, al medio físico más sensible y a los lugares importantes del patrimonio cultural de la región. Dicho en otras palabras, medir la mayor o menor vulnerabilidad del territorio a los efectos de los residuos.

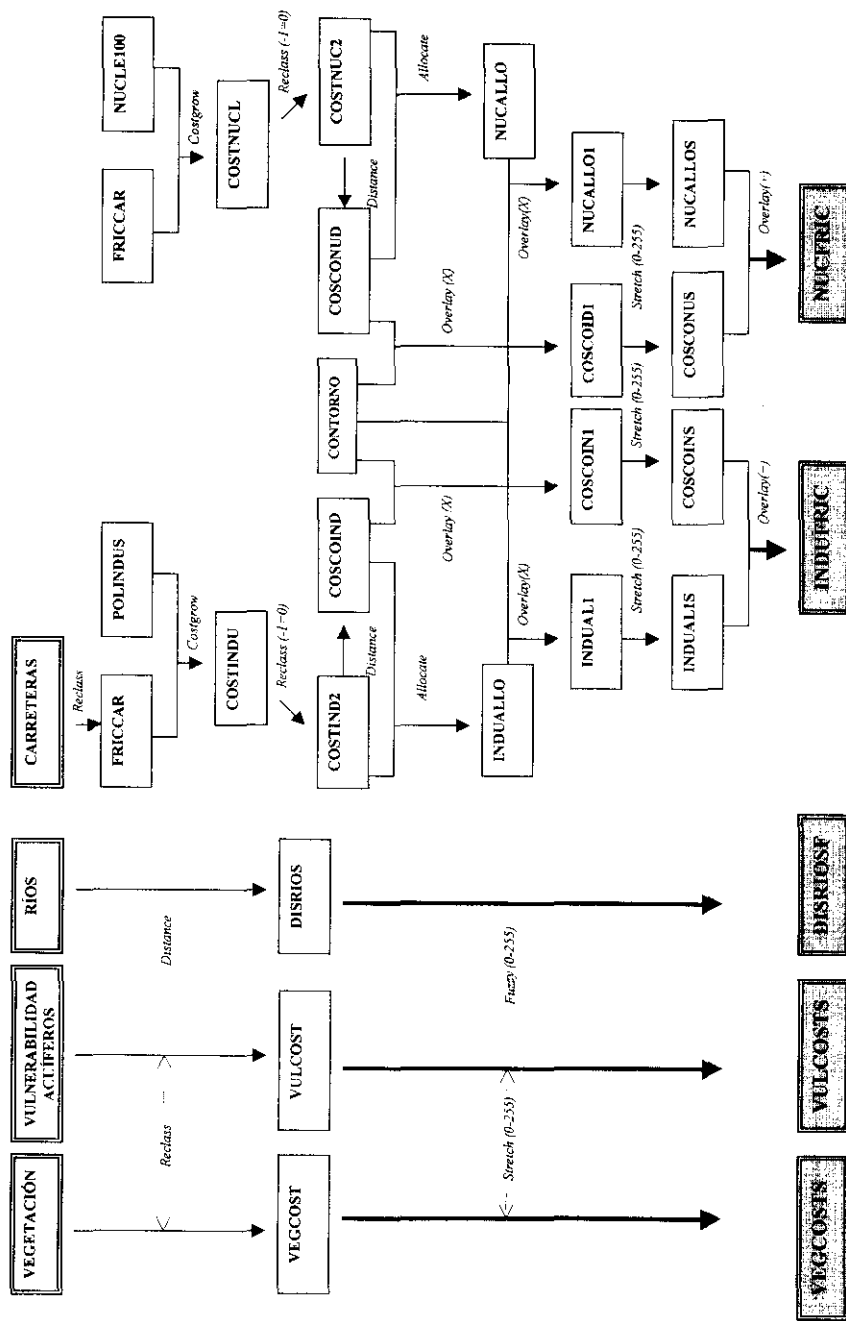


Figura 1.—Procedimiento para la obtención de los factores que determinarán la EFICIENCIA ECONÓMICA.

La posibilidad de afecciones mayores o menores a la población son resultado de considerar la densidad de población residente existente en cada punto del territorio, matizada esta densidad por la consideración de la mayor o menor vulnerabilidad a los riesgos derivados de estos centros sobre diversos grupos de población; por ejemplo, la vulnerabilidad parece mayor entre los niños/jóvenes y los ancianos que entre los adultos (Zografos y Davis, 1989). Igualmente, ciertas instalaciones sociales parecen más vulnerables y deben ser especialmente protegidas: escuelas y centros de enseñanza, hospitales, centros de salud, residencias de ancianos, centros comerciales importantes, etc., instalaciones en las que se acumulan grandes cantidades de población y que deben ser alejadas lo más posible de la localización de los lugares donde se tratan los residuos; por lo tanto, debemos considerar que contribuyen a incrementar de manera significativa la vulnerabilidad de un punto del territorio.

Un elemento no desdeñable se refiere al impacto visual que estos centros de residuos pueden tener sobre el territorio. Algunas de estas instalaciones son una visión desagradable, formadas por almacenes que reúnen barriles y otros envases, además de que la presencia visual se convierte en un permanente recordatorio de su existencia en un punto y, por lo tanto, puede incrementar el rechazo de la población allí residente. En resumen, parece conveniente buscar posiciones para colocar estos centros que resulten lo menos visibles que sea posible.

Todas estas consideraciones (densidad de población, presencia de elementos sensibles, visibilidad) nos permiten establecer otra magnitud: la eficiencia social, que tendrá una diferente valoración en cada punto del territorio. Utilizada en combinación con la eficiencia económica, podremos medir el grado de eficiencia global que tendría la instalación de un centro de recursos en cada punto del territorio.

Hemos asumido como indicadores de vulnerabilidad los más frecuentemente usados en estudios de este tipo (Braun, 1993; Petts y Eduljee, 1994; Lowry et al., 1995; Hewitt, 1997): volumen y densidad de población afectada, estructura por edad; usos del suelo, presencia de elementos y actividades sensibles (servicios públicos, centros de trabajo, etc.) y la calidad visual del medio.

Densidad de población: A partir del *Censo de Población y Vivienda de 1991* la población residente en cada municipio fue dividida en tres estratos: población joven (menores de 16 años), población adulta (de 16 a 65 años) y población anciana (mayores de 65 años). A los dos grupos de población considerados como más sensibles al riesgo (jóvenes y ancianos) se les dio un peso doble, dividiendo el resultado entre el área de cada municipio para hallar, de esta manera, la densidad de población vulnerable en cada municipio de la Comunidad de Madrid:

$$DENS.DE\ POBL.\ VULNERABLE = [(2 * POBL_JOVEN) + POBL_ADULTA + (2 * POBL_ANCIANA)] / AREA$$

Densidad de empleos: obtenida a partir de los datos del Directorio de establecimientos elaborado por el Instituto Nacional de Estadística para la Comunidad de Madrid. En dicha base se recoge el número de personas que tienen su lugar de trabajo en cada unidad censal, referido al año 1994. Este indicador pretende medir la concentración de población en áreas, por ejemplo los polígonos industriales, que se considerarían como no habitadas en términos estrictamente residenciales.

DENSIDAD DE EMPLEOS= TRAB. POR CUENTA PROPIA+TRAB. POR CUENTA AJENA/AREA

Elementos sensibles: Equipamientos de interés social y servicios públicos que, por ser de uso colectivo (muchos de ellos están destinados a población sensible), serán especialmente perjudicados por un medio ambiente deteriorado. Entre ellos se encuentran: centros educativos, centros sanitarios, residencias de personas mayores y grandes superficies comerciales.

Visibilidad general del medio: La variable se construye estableciendo cuencas visuales a partir de un conjunto de puntos «de control» distribuidos sistemáticamente en el territorio de la Comunidad. Serán más visibles aquellos sectores del territorio que aparezcan en un mayor número de las cuencas visuales definidas. Dicho de otro modo, la «accesibilidad visual» de cualquier «pixel» del territorio será una consecuencia del número de puntos de control que lo incluyen en su cuenca visual.

Una vez establecidos los factores mencionados habría que decidir a cuáles de estos factores se les otorgaba mayor importancia en la eficiencia social. Se decidió dar más peso a la densidad de población, después a los elementos sensibles, luego a la densidad de empleos y, por último, a la calidad visual del medio. El procedimiento para ponderar cada uno de estos factores fue la *Matriz de comparación por pares de Saaty*, ya mencionada anteriormente. En esta ocasión se muestra la matriz de comparación por pares utilizada y los valores de los pesos de cada factor deducida de ella.

Tabla 5
Pesos de los factores de la eficiencia social

	<i>Densidad población</i>	<i>Densidad trabajador</i>	<i>Elementos sensibles</i>	<i>Cuenca visual</i>	<i>Pesos</i>
DENS. POBLACIÓN	1				0,50
DENS. TRABAJADOR	1/4	1			0,16
EL. SENSIBLES	1/2	2	1		0,28
CUENCA VISUAL	1/9	1/7	1/8	1	0,03

Los cuatro mapas que intervienen en la eficiencia social: densidad de población, elementos sensibles, densidad de empleos y calidad visual del medio fueron ajustados a una escala común para, posteriormente, poder ser sumados según la ponderación descrita anteriormente:

$$EFICIENCIA SOCIAL = [(0.50 * DENSUR) + (0.16 * DENSEMR) + (0.28 * SENSIBLE) + (0.03 * CALIDADR)]$$

En la figura 2 aparecen detallados los pasos seguidos para la obtención del mapa final de eficiencia social.

La eficiencia combinada: económica y social

La combinación de estos dos criterios se realizó mediante una simple suma lineal ponderada, otorgando el mismo peso (0,5) a cada uno de los tipos de eficiencia (económica y social). De esta manera, los dos criterios tendrían la misma influencia a la hora de calcular la eficiencia final o total.

En los mapas a y b de la figura 3 aparece la distribución espacial en el territorio madrileño de esta eficiencia final para la localización de dos de los cuatro tipos de instalaciones barajadas en este estudio, a saber, plantas de tratamiento de RTP y vertederos de RSU, por ser los que presentaban mayores diferencias en cuanto a la aptitud del territorio a recibir este tipo de centros de gestión de residuos. En el primero de los casos observamos una concentración de áreas de eficiencia muy alta y alta en torno a los valles de los principales ríos de la Comunidad debido a la importancia que, en este caso concreto, cobraba la proximidad a los cursos fluviales. Como podemos comprobar, estas zonas son, por el contrario, las de menor eficiencia a la hora de localizar un vertedero de RSU, dándose los valores más altos en la zona de la Sierra y el sureste de la Comunidad.

4. LA JUSTICIA ESPACIAL EN LA LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

La justicia espacial en estas cuestiones resulta, como ya hemos indicado, muy importante y relevante como factor de localización. La población puede adoptar posturas muy negativas ante la presencia de centros no deseables próximos a sus lugares de residencia o de trabajo. Diversos estudios han mostrado que un elemento destacado en la movilización de la población es un sentimiento de injusticia y maltrato referente a estas cuestiones. En principio, todos aceptan que estas instalaciones son necesarias y que tiene que estar situadas en algún lugar, pero también todos opinan que, a ser posible, se coloquen lejos de su domicilio. Si los habitantes de una zona de la región perciben que esta área

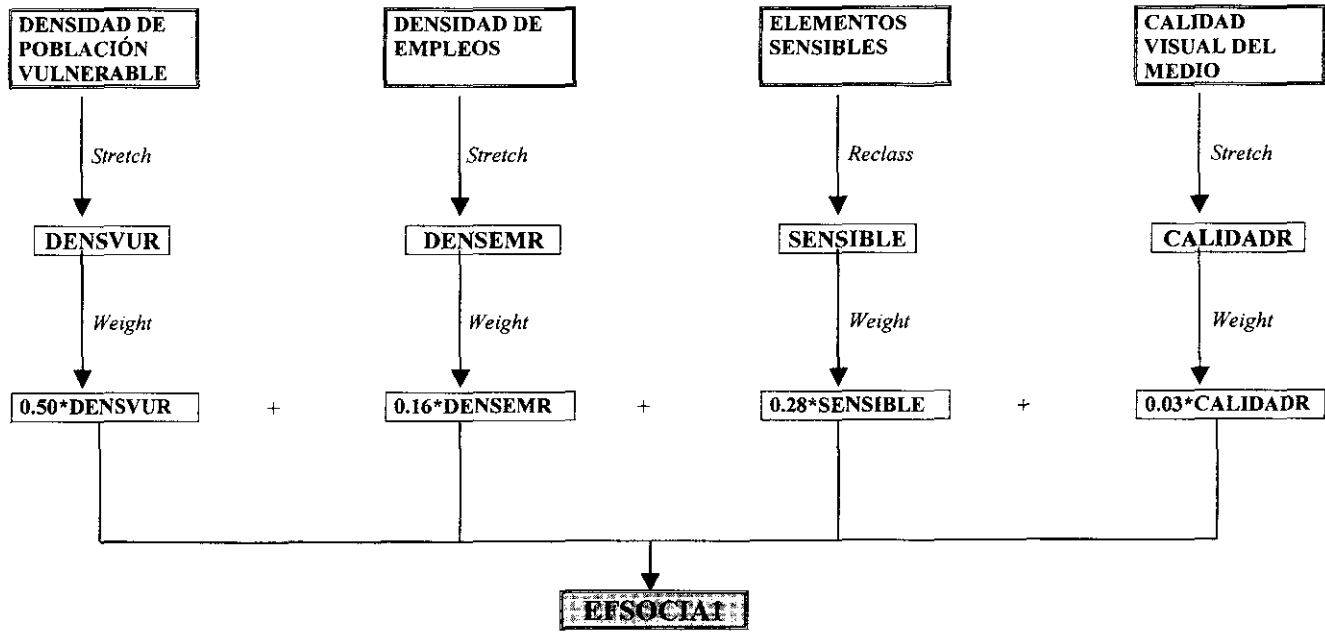


Figura 2.—Procedimiento para la obtención de los factores que determinarán la EFICIENCIA SOCIAL.

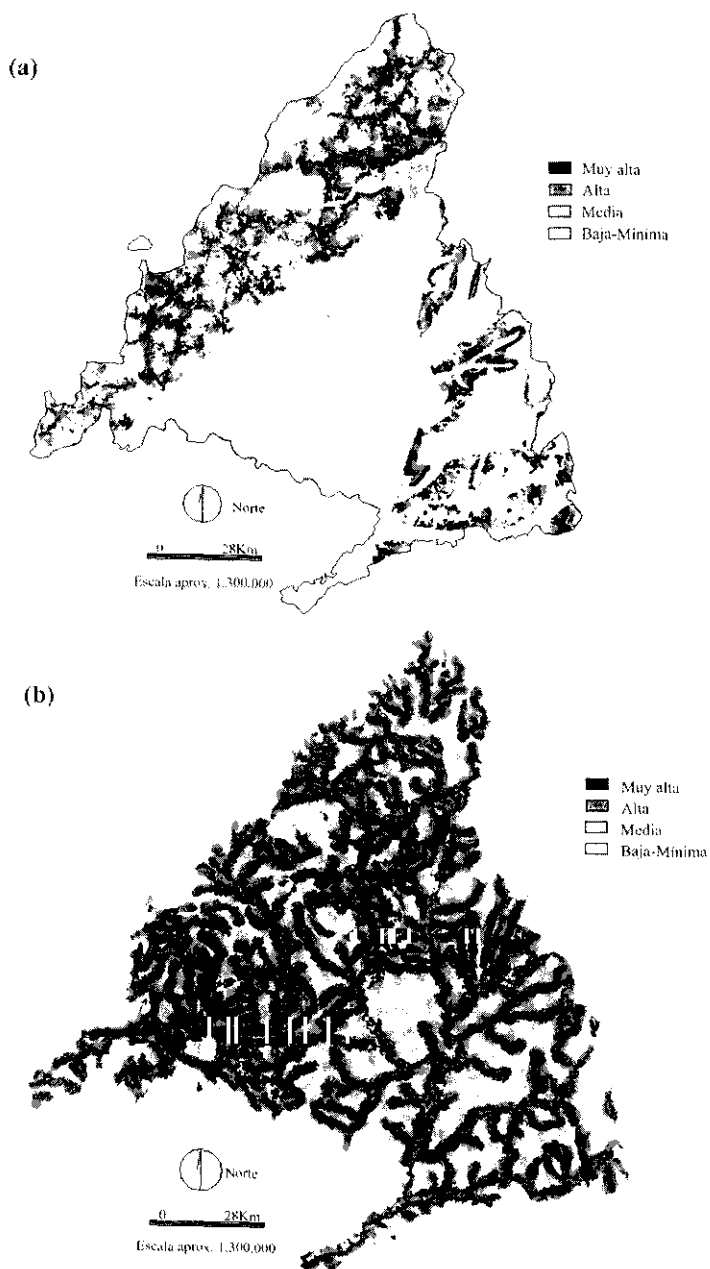


Figura 3.—Eficiencia combinada para localización de Vertederos de RSU (a) y Plantas de Tratamiento de RTP (b).

esta siendo maltratada, en cuanto que allí se acumulan de manera más que proporcional instalaciones de este tipo, su actitud se radicaliza y sus movilizaciones se hacen muy importantes y difíciles de resolver. Por todo esto, un criterio que debemos considerar es la diferente concentración en cada punto del territorio de instalaciones no deseables.

La exposición al riesgo tecnológico

La exposición al riesgo tecnológico es una medida del concepto antes citado. Se trata de establecer las instalaciones no deseables que puedan existir en una región, analizar su distribución espacial y la de sus zonas de incidencia, combinar todas ellas, ponderando de modo diferencial sus diversos grados de riesgo y/o molestia, y obtener de este modo un mapa de la exposición al riesgo existente en la actualidad en la región de Madrid. Este mapa, que es una medida de la injusticia espacial existente sobre este tema, se convierte en un nuevo factor de localización a combinar con los antes descritos: eficiencia económica y social.

La enumeración de los factores de exposición al riesgo tecnológico es complicada y, probablemente, incompleta. Siempre será posible encontrar alguna otra instalación que resulta potencialmente perjudicial o molesta y es rechazada por la población circundante. No obstante, una lista susceptible de ser estudiada es la siguiente:

- Industrias donde se producen actividades y residuos peligrosos: químicas, farmacéuticas, etc.
- Centros ya existente para el tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos (RTP).
- Carreteras por donde sea habitual el traslado de RTP.
- Vertederos y centros de gestión de RSU.
- Depósitos de combustibles.
- Gasolineras.
- Instalaciones que generan ruidos importantes: aeropuertos, etc.
- Depuradoras de aguas residuales.
- Líneas eléctricas de alta tensión.

En todos estos casos se obtendrá su distribución espacial en el momento actual en la Comunidad de Madrid y se estimará sus zonas de incidencia potencial. Posteriormente se combinarán todos los mapas para obtener el de exposición al riesgo. Este mapa medirá el grado actual de injusticia espacial derivada de la localización presente de las instalaciones no deseables existentes en la región.

Se ha asumido que la exposición al riesgo no se manifiesta uniformemente sobre el terreno y que tiende a adoptar sesgos direccionales entre los que destacarían los derivados de la topografía; por tanto, ésta puede adoptarse como factor determinante de la exposición.

La cuenca visual, generada a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT), representa el conjunto de todas las zonas visibles desde un punto o conjunto de puntos; puede ser empleada para medir la exposición del territorio al riesgo, ya que introduce el factor topografía en el cálculo de la exposición. Dentro de la cuenca visual de cada elemento no han de existir obstáculos, como, por ejemplo, relieves acusados, que pudieran impedir alcanzar ese punto del territorio desde la instalación considerada, de modo que cualquier acción peligrosa alcanzaría ese lugar con más facilidad y rapidez que a aquéllos situados fuera de la cuenca visual.

En la delimitación de las cuencas visuales, el radio máximo de la misma, en todas las instalaciones, se ha fijado de acuerdo con la establecida por el R.D. 2414/61 sobre *Actividades molestas, nocivas y peligrosas* para la ubicación de este tipo de actividades con respecto a zonas pobladas: 2.000 metros de distancia.

Otro elemento importante en la delimitación de la cuenca visual de una instalación se refiere a su altura. En función de las características de los elementos considerados esta altura varía entre los 0 metros tomados para los vertederos y depósitos de seguridad y los 5 metros de instalaciones de tipo industrial.

Pero la magnitud de la exposición también se ve necesariamente influida por la distancia: es lógico pensar que a medida que aumenta la distancia al punto potencial de origen de riesgos el impacto irá disminuyendo de manera progresiva.

El SIG utilizado en este modelo ofrece también la posibilidad de disponer de mapas de distancia a cada una de las instalaciones. Al multiplicar estos mapas por las cuencas visuales (donde las zonas interiores presentan valores de 1 y las exteriores, no expuestas, valores 0) se obtiene una magnitud de exposición variable en el interior de la zona potencialmente expuesta.

Este valor combinado de exposición puede ser matizado aún más introduciendo un nuevo factor que sea reflejo del número de exposiciones a distintos focos emisores de riesgo a que está sometido cada punto del territorio. La posibilidad de ser afectado por cualquier incidente aumenta al hacerlo el número de zonas de exposición a que está sometido ese punto. La suma de las cuencas visuales de todas las instalaciones puede ser una medida válida de este nuevo factor; el resultado será un mapa con valores que variarán entre 0 y un número igual al de elementos individuales considerados como potenciales fuentes de riesgo.

Así, el mapa final resultaría de la combinación de esos tres aspectos:

$$\text{MAPA DE EXPOSICIÓN} = \text{CUENCAS VISUALES} * \text{MAPAS DE DISTANCIA} * \text{MAPA DE N° DE EXPOSICIONES}$$

El proceso seguido para la obtención del mapa final de exposición (figura 5) aparece reflejado en el esquema metodológico de la figura 4.

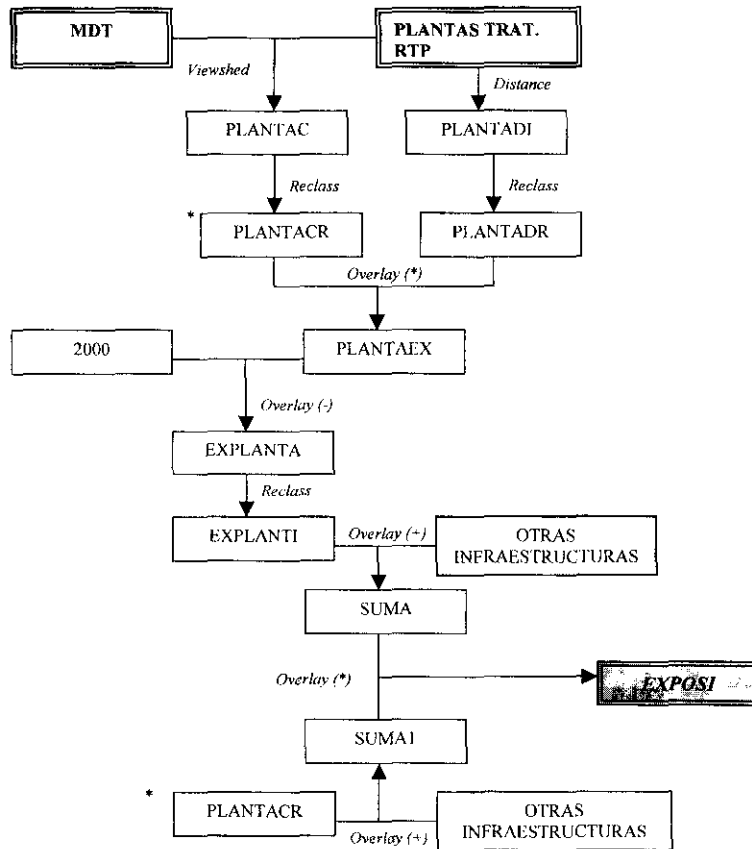


Figura 4.—Procedimiento para la obtención del mapa de exposición al riesgo.

5. DETERMINACIÓN DE LUGARES ADECUADOS PARA SITUAR INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Las localizaciones que maximizan la eficiencia y la justicia espacial

Llegados a este punto, un primer planteamiento de solución al problema inicial, parte de localizar todos aquellos lugares del territorio que maximicen la eficiencia total y minimicen la exposición al riesgo para la creación de una planta de tratamiento y/o eliminación de residuos. Como vimos en apartados anteriores, disponemos de un mapa de exposición para toda la Comunidad y cuatro mapas de eficiencia total (uno para cada tipo de instalación).

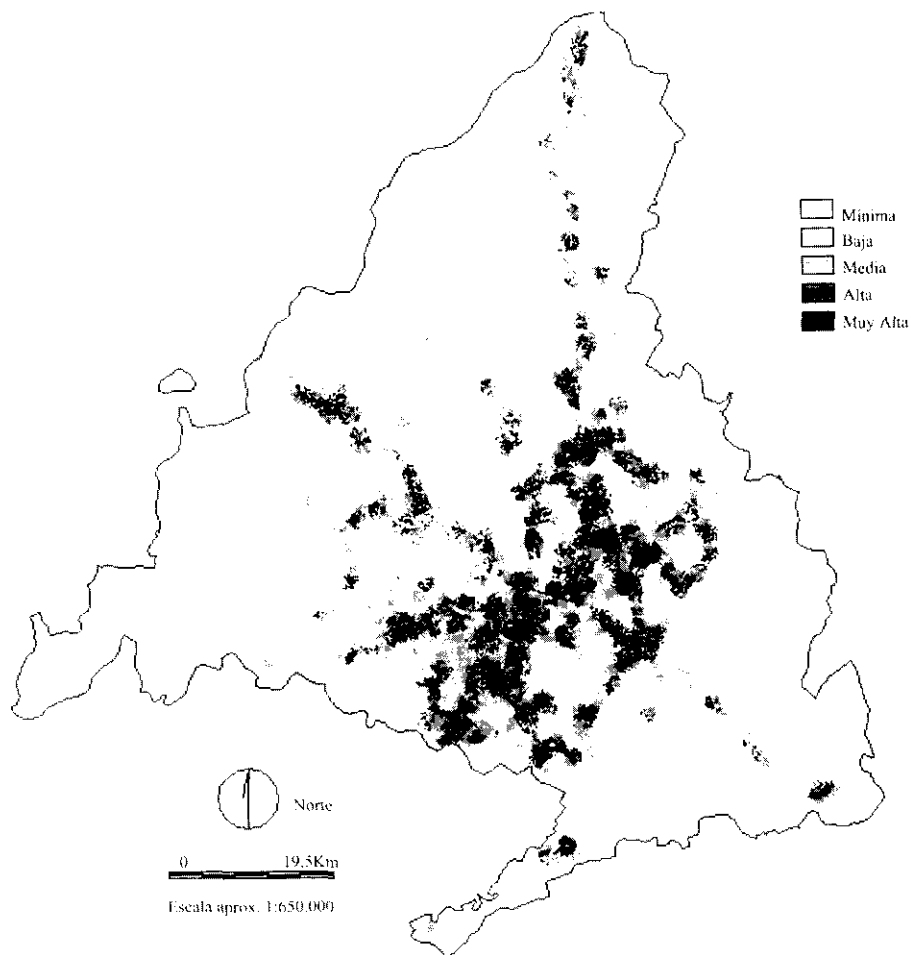


Figura 5.—Exposición del territorio a riesgos tecnológicos.

El siguiente paso consiste en aplicar un método de combinación de estos mapas que logre una solución eficaz en función de la filosofía planteada; el método escogido fue el *Análisis de Punto Ideal (API)*.

En el marco de la Decisión Multicriterio, el análisis de punto ideal es un método de gran potencia operativa dentro de la tipología de métodos de evaluación multicriterio (EMC) compensatorios. Se basa en el cálculo de las desviaciones de cada alternativa con un punto ideal que se debe considerar inalcanzable; este desvío, diferente para cada alternativa (en nuestro caso un punto, píxel, del territorio) mide el grado de adecuación relativa de ese lugar para la

tarea estudiada; la mejor solución compromiso será aquella que se encuentre a menor distancia del punto ideal (Barredo, 1996, p. 84). Los criterios que intervienen en el análisis, por tanto, se disponen como ejes de un sistema de referencia (X, Y). El punto ideal, se encontraría fuera del plano donde se encuentran las alternativas, resultando, por tanto, inalcanzable.

En este estudio, sin embargo, se introduce una modificación a este planteamiento inicial. Normalizados (entre 0 y 255) los criterios que intervienen en el análisis, es decir, los valores del mapa de eficiencia y del mapa de exposición, el punto ideal se encontraría en el par de coordenadas 0,0, puesto que se pretende encontrar una solución que minimice la exposición y maximice la eficiencia (recordemos que según el sistema de ordenación que venimos adoptando en los distintos pasos, los valores más bajos se corresponden con los valores de mayor eficiencia).

Así, la distancia al punto ideal, considerando dos criterios (E=eficiencia, y, Ex=exposición), se calcularía mediante la ecuación:

$$D_i = \sqrt{(E_i - 0)^2 + (Ex_i - 0)^2}$$

En la figura 6 (adaptada de Barredo, 1996) se presentan los aspectos teóricos básicos de esta técnica y la modificación introducida en nuestro caso. **P** sería el plano donde se encuentran constreñidas todas las alternativas posibles (en nuestro caso todos los píxeles de la imagen de la Comunidad); **M** sería el punto ideal, establecido en las coordenadas 100,100 (a) y 0,0 (b). En el primer caso, la alternativa óptima o de compromiso sería *p*, mientras que en el segundo (representativo de nuestro caso particular), la alternativa (píxel) óptima o de compromiso sería *c*.

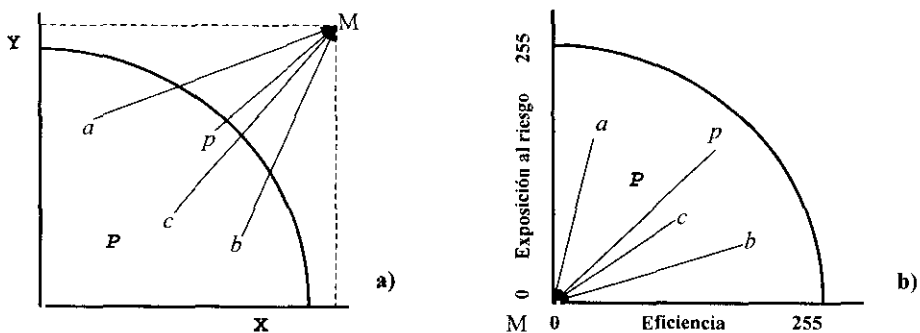


Figura 6.—Análisis de punto ideal maximizando (a) y minimizando (b) las distancias entre las distintas alternativas.

A partir del Operador de Imágenes de IDRISI fue posible realizar este cálculo de punto ideal para cada tipo de instalación. Una vez obtenidos los distin-

tos mapas, se les sumó una unidad a todos los valores contenidos en ellos (de esta manera se evitaba que el valor de máxima adecuación coincidiera con las zonas excluidas, con valor cero) para después superponerles todos aquellos elementos (con valor 0) que fueron considerados restrictivos para la localización de plantas de tratamiento de residuos. En concreto, los siguientes: lugares de interés histórico-artístico, lugares de interés comunitario para la Red Natura 2000, humedales y todas aquellas zonas ya ocupadas por núcleos de población, la red hidrográfica o por polígonos industriales. Esta última restricción no fue utilizada para la localización de plantas de tratamiento de RTP ya que este tipo de instalaciones normalmente se sitúa en polígonos/zonas industriales.

Determinación de parcelas de adecuación

Una vez obtenido el nivel de adecuación del territorio para la localización de plantas de tratamiento y/o eliminación de residuos a través del método del Análisis de Punto Ideal, el siguiente paso consiste en seleccionar el conjunto de píxeles contiguos que se configuran como los más adecuados y que, además, cumplen los requisitos de área mínima requerida para cada una de las instalaciones. Respecto a este último punto, y tras una revisión de las extensiones de las plantas y vertederos existentes en la Comunidad, se establecieron las siguientes superficies mínimas:

Tabla 6
Superficie mínima requerida para cada tipo de instalación

<i>Tipo de Instalación</i>	<i>Superficie (Has.)</i>	<i>Nº de píxeles</i>
Vertedero de RSU	40	160
Depósitos de Seguridad	5	20
Plantas de Tratamiento de RTP	3	12
Plantas de Transferencia	2,5	10

El procedimiento de selección de estos píxeles de mayor adecuación disponible en IDRISI presenta ciertos inconvenientes (Franco y Bosque, 1999). Este procedimiento mediante la ordenación de los píxeles de la imagen y posterior reclasificación hasta conseguir tantos píxeles como sean necesarios para cubrir las necesidades mínimas de superficie, no permite un control sobre los valores de adecuación y, por otro lado, no es posible establecer ninguna restricción mínima a las parcelas de salida, lo que puede provocar que el resultado sea una serie de píxeles muy adecuados dispersos en el mapa e insuficientes en superficie.

Con el ánimo de resolver estos inconvenientes, se realizó un análisis de la distribución de los valores en el mapa de adecuación mediante un histograma

numérico. Observando el comportamiento de los mismos y mediante una sencilla reclasificación, se extrajeron los intervalos más adecuados y que, en conjunto, pudieran cubrir las necesidades de superficie. A continuación se agruparon todos aquellos píxeles contiguos con el mismo valor, para conseguir identificar, individualmente, cada una de las parcelas o regiones resultantes. Una vez agrupadas se obtuvo el área de las mismas, eliminando aquellas que no cumplieran las necesidades mínimas de superficie. Si las parcelas finales resultaban escasas, se repetía el proceso aumentando el intervalo de adecuación.

Este proceso fue llevado a cabo para cada tipo de instalación. No obstante, en el caso de los vertederos de RSU y Plantas de Transferencia, los resultados se concentraban en determinadas zonas de la Comunidad que difícilmente podrían abastecer al conjunto regional. Así, se decidió utilizar la distribución espacial de las 5 UTG (Unidades Territoriales de Gestión) definidas para la Comunidad (PAGRSU, 1997-2005), realizando un análisis separado del mapa de adecuación para cada una de ellas.

Lugares candidatos a recibir una PLANTA DE TRANSFERENCIA de RSU

En la figura 7 podemos observar los resultados finales para la localización de Plantas de Transferencia. En total se extrajeron 35 parcelas, no descendiendo en ningún caso del nivel 3 de adecuación (los valores oscilaban entre 1 y 255, aproximadamente).

Como podemos apreciar, en casi todas las UTGs se ha conseguido una cierta variedad de tamaños y emplazamientos, si bien el caso de la UTG 2B y la UTG 3 se observa una concentración de las parcelas en la zona oriental y meridional, respectivamente. En el caso de la UTG 4, vemos como casi todas las parcelas se concentran en el municipio de Madrid.

Lugares candidatos a recibir un VERTEDERO de RSU

Para obtener la localización de estas parcelas seguimos el procedimiento descrito en el apartado anterior. En total se extrajeron 55 parcelas que no descienden del nivel de adecuación 6, a excepción de la UTG 4. En este caso hubo que descender hasta el nivel 40 para poder conseguir una cierta dispersión espacial de los resultados, ya que de lo contrario todas las parcelas aparecerían concentradas en el municipio de Arganda.

Llegados a este punto, y ante la diversidad de parcelas resultantes, decidimos introducir una pequeña variante que mejorara el resultado. Para ello se ordenaron todas las parcelas en función de la media de adecuación para cada una de ellas; en la figura 8 se describe de manera detallada el proceso seguido para obtener los resultados que aparecen en el mapa de la figura 9a.

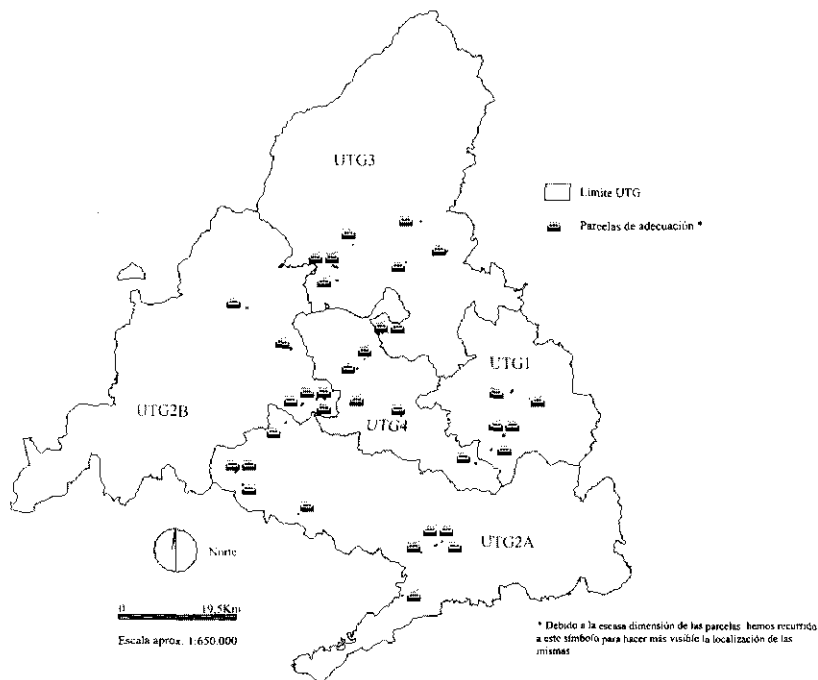


Figura 7.—Parcelas adecuadas para la localización de Plantas de Transferencia de RSU.

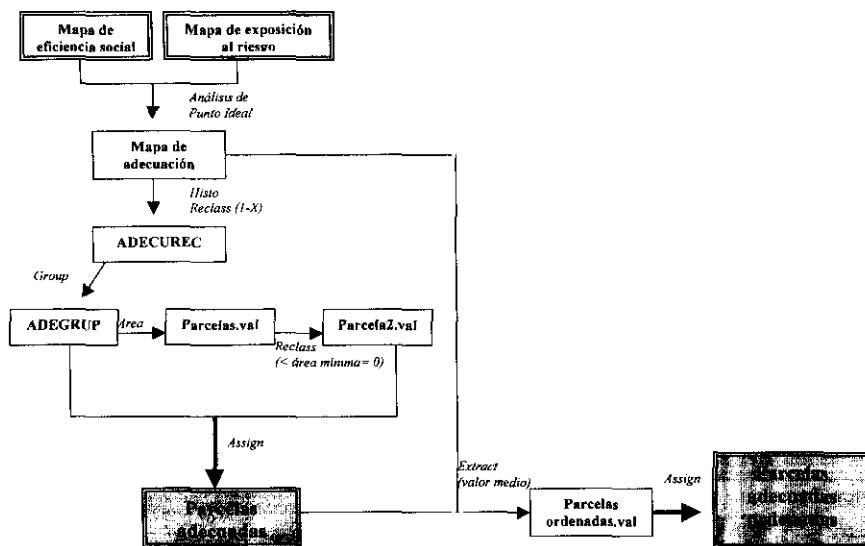


Figura 8.—Procedimiento para la obtención de las parcelas de adecuación.

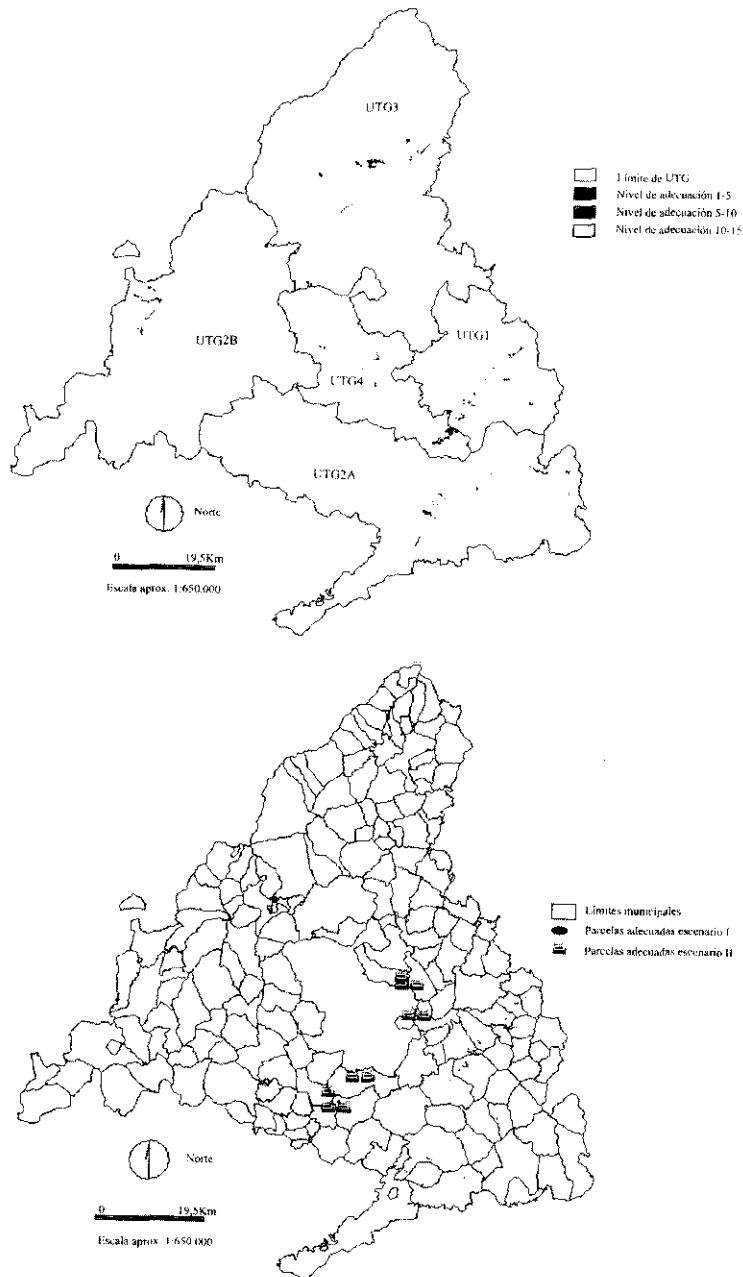


Figura 9.—Parcelas adecuadas para la localización de Vertederos de RSU (a) y Parcelas adecuadas para la localización de Depósitos de Seguridad de RTP (b).

Estas mismas operaciones se realizaron para las instalaciones de tratamiento y/o eliminación de Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTP). Se obtuvieron un total de 33 parcelas (sin descender del nivel 6 de adecuación) para la localización de Depósitos de Seguridad y 7 parcelas para la localización de Plantas de tratamiento físico-químico o biológico de RTP (sin descender del nivel 2).

Las localizaciones que maximizan la eficiencia y afectan a zonas ya deterioradas por altas exposiciones a riesgos tecnológicos

En este segundo escenario sólo se trabajó con las instalaciones de RTP. El planteamiento parte de nuevo del método de Análisis de Punto Ideal, sin embargo, en esta ocasión, consideraremos que el punto ideal se encontraría lo más cerca posible de la máxima eficiencia y de la máxima exposición. El cálculo, por lo tanto, de este nuevo mapa de adecuación se realizaría a partir de la siguiente fórmula:

$$D_i = \sqrt{(E_i - 0)^2 + (Ex_i - 0)^2}$$

donde *E* sería la eficiencia combinada o total y *Ex* sería la exposición al riesgo.

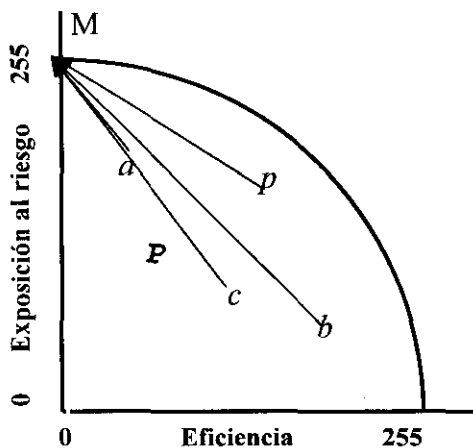


Figura 10.—Análisis de punto ideal (M) minimizando las distancias entre la máxima exposición y la máxima eficiencia. En este caso *a* sería la mejor alternativa.

Para llegar al mapa final se realizaron las mismas operaciones que en apartados anteriores, partiendo, esta vez, del nuevo mapa de adecuación calculado.

Lugares candidatos a recibir un DEPÓSITO de SEGURIDAD para RTP

En total se extrajeron 10 parcelas, entre los niveles 57 y 134 (no existía ningún píxel con nivel de adecuación menor de 57). En la figura 9b podemos observar los resultados de los dos escenarios planteados. Como era de esperar no existe ninguna coincidencia entre las parcelas obtenidas para los dos casos, pero tampoco grandes diferencias, es decir, todas las parcelas se disponen en la zona sudeste de la Comunidad. Como vemos, en el caso de la minimización de la exposición, casi todas las parcelas se localizan sobre el páramo, en municipios con escasa actividad industrial y donde la componente rural todavía está muy presente. Por otro lado se trata de una zona donde proliferan las urbanizaciones residenciales: sería el caso de municipios como Torres de la Alameda, Campo Real, Loeches, Villalbilla o Corpa.

En el caso de la maximización de la exposición al riesgo, es decir, de la localización de este tipo de instalaciones en lugares donde ya existe una acumulación importante de instalaciones emisoras de riesgos tecnológicos, o, simplemente, instalaciones no deseables, observamos como la mayoría de las parcelas se acumulan en zonas ya bastante degradadas como el norte de Getafe o en el municipio de Madrid, justo en las inmediaciones del aeropuerto de Barajas.

Lugares candidatos a recibir una PLANTA DE TRATAMIENTO de RTP

En total se extrajeron 11 parcelas, entre los niveles 3 y 121 (fue necesario descender tanto debido a que los niveles más altos no cumplían los requisitos mínimos de superficie). En la figura 11 podemos observar los resultados de los dos escenarios para este tipo de instalación.

En este caso la distribución espacial de las parcelas es más dispersa. Podemos comprobar como el factor distancia a los ríos ha sido decisivo. Curiosamente las parcelas de mayor exposición al riesgo se localizan en torno a cursos fluviales de primer orden, mientras que las parcelas de mínimo riesgo se encuentran, casi todas, junto a alguno de los afluentes de los principales ríos que recorren la región.

De nuevo, estas parcelas se extienden por todo el Sur-sudeste de la Comunidad, cercanas a los grandes centros de actividad industrial.

6. CONCLUSIONES FINALES

Los mapas anteriores muestran los resultados finales de nuestro trabajo. En ellos se observa la existencia de lugares candidatos a recibir los diversos centros de tratamiento de residuos, pero cumpliendo una serie de normas razonables de eficiencia y de justicia espacial. Esta circunstancia puede facilitar la

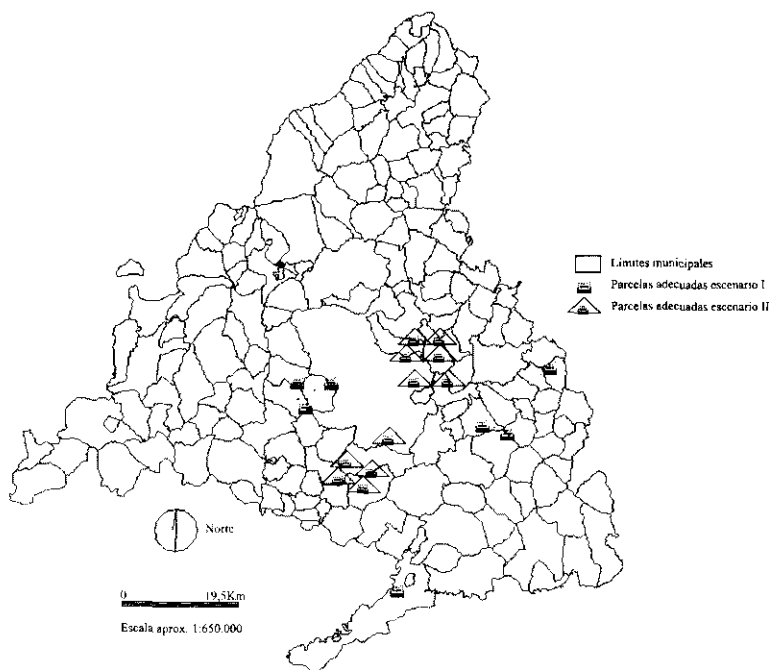


Figura 11.—Parcelas adecuadas para la localización de Plantas de Tratamiento de RTP.

resolución de este complejo problema territorial de un modo más acertado y con menos dificultades y protestas sociales.

Es evidente que ésta es una primera aproximación a un problema de naturaleza muy compleja. Hay que hacer notar la existencia de algunas limitaciones en ella que habrá que considerar en posteriores desarrollos de éste o similares trabajos:

- La estimación de área de exposición a los distintos riesgos puede ser más afinada. Restaría, por ejemplo, estudiar la forma y tamaño del área potencialmente afectada según el tipo de actividad peligrosa, por una parte, y según el elemento del medio que recibiría el impacto (atmósfera, suelo, aguas *superficiales* o *subterráneas*), por otra.
- La naturaleza muy compleja de este tipo de estudios, requiere el uso de un gran volumen de información sobre aspectos muy diversos del medio natural y social. Desafortunadamente, las fuentes de información normalmente disponibles no satisfacen en su totalidad las exigencias en cuanto a actualidad, precisión espacial y calidad de los datos que este tipo de trabajos precisaría. El carácter multidimensional de la investigación, por otra parte, indica la oportunidad de una aproximación interdisciplinar a los mismos.

- No esta garantizada la consideración de otros muchos problemas en la resolución de esta cuestión; por ejemplo, aún sería necesario discutir con más detalle y cuidado todos y cada uno de los lugares candidatos seleccionados, considerando ahora factores más locales y de otro tipo (oportunidad política, opinión pública, posible conflictividad social del proyecto).

La principal conclusión que creemos se puede extraer es la validez de los procedimientos de tratamiento de la información geográfica (SIG, Cartografía, etc.) para facilitar, sin demasiadas complicaciones y con rapidez, estudios que permitan ayudar a resolver problemas complejos como los aquí tratados.

Para terminar insistir en que los resultados alcanzados son simplemente una primera aproximación al tema, la decisión final definitiva exigiría un estudio pormenorizado de los lugares candidatos elegidos para ordenar y cuantificar la posición de cada uno de ellos; para ello los SIG siguen siendo una herramienta de gran valor, aunque seguramente sería necesario completar sus procedimientos de análisis con otras técnicas, por ejemplo los modelos de localización-asignación desarrollados para este tipo de instalaciones (Bosque y Franco, 1995).

7. BIBLIOGRAFÍA

- Barba-Romero, S. y Pomerol, J.Ch. (1997): *Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá.
- Barredo, J.I. (1996): *Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio*. Madrid, Editorial RAMA.
- Bosque, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid. Ediciones RIALP.
- Bosque, J. y Franco, S. (1995): «Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables», *Serie Geográfica*, N° 5, pp. 97-112.
- Braun, M. Von (1993): «The use of GIS in assessing exposure and remedial alternatives at Superfund sites» en Goodchild, M.F.; Parks, B.O. y Steyaert, L.T. eds. *Environmental Modelling with GIS*, N.Y. Oxford University Press, cap. IV Risk and Hazard Modelling.
- Comunidad de Madrid (1987): *Programa Coordinado de Actuación de Residuos Industriales de la Comunidad Autónoma de Madrid*. Madrid.
- Franco, S. y Bosque, J. (1999): «Procedimiento para la Obtención de Parcelas de Adecuación en Imágenes Raster», *I Reunión de Usuarios de IDRISI, CD-ROM*. Alcalá, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá.
- Hewitt, K. (1997): *Regions of risk*, Harlow, Longman.
- INE (1995): *Los municipios CERCA. España. Censos 1989-91*. Madrid. Subdirección General de Difusión Estadística.
- Lowry, J.H; Miller, H.J. y Hepner, G.F. (1995): «A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/US border» en *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, n° 11, pp. 1347-1359
- McAllister, D.M. (1976): «Equity and efficiency in public facility location». *Geographical Analysis*, vol. 8, pp. 47-63.

- Morril, R.L. y Symons, J. (1977): «Efficiency and equity aspects of optimum location». *Geographical Analysis*, vol. 9, pp. 215-225.
- Petts, J. y Eduljee, G. (1994): *Environmental impact assessment for waste treatment and disposal facilities*, Chichester, John Wiley.
- Zografos, K. y Davis, CH. (1989): «Multi-objective programming approach for routing hazardous materials», *Journal of Transportation Engineering*. Vol. 115, N° 6, pp. 661-673.

RESUMEN

En el presente trabajo se plantea un procedimiento para la selección de lugares candidatos donde ubicar instalaciones de tratamiento y/o eliminación de residuos. Este procedimiento está basado en la utilización de un Sistema de Información Geográfica y técnicas Multicriterio y se consideran factores tanto de eficiencia (económica y social) como de justicia espacial. La región seleccionada para la aplicación de este trabajo ha sido la Comunidad de Madrid, que destaca por ser una de las áreas más industrializadas del país.

Palabras clave: Gestión de residuos, vertedero, plantas de tratamiento, Sistemas de Información Geográfica, Evaluación Multicriterio.

ABSTRACT

A procedure to locate undesirable facilities (related with waste disposal and treatment) is described. It is based on GIS and Multicriteria Evaluation considering both *efficiency* (economic and social) and *spatial justice* factors. The metropolitan region of Madrid (Spain), one of most industrial area of the country, was the selected zone to apply this procedure.

Key words: Waste management, landfill, siting procedure, Geographic Information Systems, Multicriteria Evaluation.