



Ciencia Ergo Sum

ISSN: 1405-0269

ciencia.ergosum@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma del Estado de México
México

Franco Maass, Sergio

Los sistemas municipales de información ambiental. Requerimientos y limitaciones para su puesta en
marcha

Ciencia Ergo Sum, vol. 11, núm. 1, marzo-junio, 2004, pp. 85-94

Universidad Autónoma del Estado de México

Toluca, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10411111>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Los sistemas municipales de información ambiental.

Requerimientos y limitaciones para su puesta en marcha

Sergio Franco Maass*

Recepción: agosto 15 de 2003
Aceptación: octubre 18 de 2003

* Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, UAEM.
Correo electrónico: serfm@uaemex.mx

Resumen. Los sistemas de información geográfica (SIG) tienen una gran aplicación en la gestión municipal; permiten cumplir con dos objetivos fundamentales: el registro de información territorial y el análisis de problemas territoriales específicos. Con el fin de determinar la viabilidad de este tipo de tecnologías en el ámbito municipal, se enfrentó el problema de la localización de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Toluca, Estado de México. Se identifican ciertos aspectos que limitan la práctica de los SIG: la diversidad entre los municipios, los problemas administrativos, las deficiencias de la información y la carencia de recursos humanos, técnicos y financieros.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica (SIG), sistemas municipales de información ambiental (SMIA), residuos sólidos urbanos, localización de instalaciones, planeación municipal.

The Municipal Environmental Information Systems. Requirements and Restrictions in their Implementation

Abstract. Geographic Information Systems (GIS) are widely applied in the evaluation of municipal problems. They can be used to accomplish two basic objectives: the management of land information and the analysis of specific regional problems. With the intention of determine the possibilities of use of the technology on a municipal scale, an application was developed to analyse the location allocation problem of a landfill in the municipality of Toluca, State of Mexico. Several problems that restrict GIS application were identified: the diversity of the municipal characteristics; administrative dysfunctions; poor quality of the available geographic information, and the lack of human and economic resources.

Key words. Geographic Information Systems (GIS), Municipal Environmental Information Systems (MEIS), urban solid wastes, location facilities, municipal planning

Introducción

De acuerdo con Green (1999), en los últimos años los sistemas de información geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas para la gestión de información sobre los recursos naturales, porque permiten el análisis y modelado de complejas interrelaciones espaciales. Esta tendencia es el resultado de diversos factores: *a)* las limitaciones de las técnicas manuales, *b)* las potencialidades de los modernos equipos de cómputo para almacenar con precisión, de

forma rápida y compacta, grandes volúmenes de datos extremadamente complejos, *c)* la posibilidad de desarrollar técnicas analíticas y cuantitativas hasta ahora poco viables por los procedimientos tradicionales de investigación geográfica, y *d)* la creciente disponibilidad de datos espaciales en formato digital.

Los SIG no son modelos sino herramientas computacionales que permiten organizar, gestionar, desplegar y analizar información espacial (Green, 1999). Esto les confiere un enorme potencial para generar modelos espaciales y,

por consiguiente, para apoyar la decisión espacial. De este modo, implican la integración de datos espaciales georreferenciados para la resolución de problemas territoriales (Barredo, 1997). Por tanto, pueden concebirse como herramientas para sintetizar fuentes dispersas de información espacial y aplicar los fundamentos técnicos de las ciencias relacionadas con el estudio del espacio geográfico, de tal suerte que se logra el modelado del entorno geográfico.

Si bien para la gestión territorial los SIG encuentran una amplia aceptación en organismos gubernamentales de todo el mundo, siguen existiendo serias dudas respecto a su aplicación en los países subdesarrollados. Este trabajo analiza el papel de los SIG en el contexto de la planeación municipal, en particular en lo referente a la gestión municipal ambiental. En este sentido se apunta la necesidad de integrar, en un mismo ambiente de trabajo, información muy diversa relativa a la detallada caracterización del medio físico, económico y social. Partiendo de este marco general, se explora la aplicación de los SIG para la localización de rellenos sanitarios en el municipio de Toluca, Estado de México. Ello implicó obtener la información geográfica necesaria para ejercer la normativa vigente en el país y para caracterizar el territorio según su nivel de adecuación. Mediante la aplicación de diversos procedimientos de análisis, se determinaron algunas regiones para la localización de este tipo de instalaciones y se identificaron algunas limitaciones. Las características de cada municipio, la naturaleza de la organización municipal, la carencia de información geográfica, la falta de financiamiento y la carencia del soporte técnico y personal calificado limitan considerablemente la práctica de estas tecnologías en los municipios de México.

1. Los SIG en la planeación municipal

A pesar del enorme desarrollo que han tenido los SIG en los últimos años, la aseveración de Rhind (1989) sigue siendo vigente: se trata de tecnologías para la gestión de datos georreferenciados que sirven para la solución de problemas complejos del manejo y planeamiento territorial. Así, estas potentes herramientas presentan una gran adaptación en la gestión municipal al cumplir con dos objetivos fundamentales: el registro de información territorial y el análisis de problemas territoriales específicos.

Los SIG son herramientas que permiten la gestión municipal al cumplir con dos objetivos fundamentales: el registro de información y el análisis de problemas territoriales específicos.

1.1. Los SIG como alternativas para el registro de información territorial

En este tipo de aplicaciones, la utilización del SIG se orienta a la gestión de datos geográficos muy precisos, con la finalidad de facilitar la administración municipal. Dentro de las modalidades de mayor aplicación mencionadas por Bosque (1997), destacan:

a) Inventario y gestión de recursos naturales. Los SIG permiten la descripción de los principales aspectos que

caracterizan al municipio; facilitan con ello:

- La generación rápida de cartografía descriptiva del medio físico y socioeconómico.
- La valoración integral de los fenómenos territoriales.
- El análisis comparativo de los cambios ocurridos en el municipio a lo largo del tiempo.

b) Planificación y gestión urbana. Los SIG facilitan el funcionamiento diario del Ayuntamiento, sobre todo en apoyo a las actividades de planeación urbana y mantenimiento de infraestructuras (calles, mobiliario urbano, alcantarillado, etcétera).

c) Catastro. Los SIG ayudan al manejo automatizado del catastro urbano y rural del municipio: posibilitan el registro oficial de las propiedades, extensiones y valores del suelo.

Entendidos como herramientas para el registro de información municipal, los SIG deben contar con una gran cantidad de datos geográficos, permanentemente actualizados, y con un alto nivel de precisión y detalle. La naturaleza de los datos espaciales y las características de los atributos que los describen deben estar perfectamente definidos en una normatividad técnica que, basada en los lineamientos jurídicos y administrativos del ayuntamiento, garantice la máxima confiabilidad y eficiencia del sistema. La dificultad principal en su implantación radica en la necesidad de una permanente actualización de la información espacial, lo que implica el uso de modernas tecnologías para el levantamiento de datos geodésicos (mediante sistemas globales de posicionamiento) y el procesamiento digital de imágenes (incluida la aplicación de las técnicas de teledetección espacial y videografía).

A pesar de su gran complejidad técnica, los sistemas de registro de información territorial han venido implantándose en casi todos los países del mundo y han encontrado una gran aceptación en las administraciones de los gobiernos estatales y de algunos gobiernos municipales del país (sobre todo en los ayuntamientos que concentran grandes

cantidades de población y que cuentan con presupuestos elevados). Esto se debe a que la puesta en funcionamiento del SIG tiene efectos económicos directos e inmediatos: su utilización deriva en el aumento de los ingresos municipales, vía la recaudación de impuestos y el pago de servicios, o en forma de ahorro presupuestal derivado del decremento en los gastos de mantenimiento de la infraestructura municipal.

1.2. Los SIG como alternativas para el análisis de problemas territoriales específicos del municipio

De acuerdo con O'Lonney (1997), la aplicación de la tecnología SIG en el ámbito local busca un balance entre la eficiencia en el uso del espacio geográfico, la equidad en la distribución de los beneficios; la viabilidad en términos de la relevancia social y la calidad ambiental del entorno geográfico. En este contexto, Bosque (1997) enumera una amplia gama de aplicaciones, entre las que destacan:

a) Gestión de instalaciones. El objetivo fundamental de los SIG es el mantenimiento y reparación de grandes infraestructuras gestionadas por los ayuntamientos (rastros, centros de acopio, centros administrativos, etc.).

b) Localización y asignación de equipamientos e infraestructuras. Los SIG permiten el estudio de las características demográficas, sociales, económicas y ambientales del municipio para determinar la óptima localización de instalaciones deseables (cuando producen un beneficio a la población, como en el caso de centros educativos o de salud) y no deseables (cuando afectan a la población o al ambiente, como es el caso de los rellenos sanitarios o las plantas de tratamiento de aguas residuales).

c) Transporte y análisis de redes. Los SIG facilitan la gestión del sistema vial del municipio. Sus aplicaciones son muy variadas, van desde el control del tránsito vehicular en los grandes centros urbanos y carreteras regionales, hasta la planeación de rutas para vehículos de emergencia o camiones que transportan materiales peligrosos.

d) La gestión de información ambiental. Los SIG ayudan al estudio de los problemas ambientales del municipio, lo que posibilita la intervención oportuna para la preservación y el equilibrio ecológico. Manejados en tiempo real, son una poderosa herramienta para dar seguimiento a las contingencias ambientales.

Concebidos como herramientas de análisis, los SIG se caracterizan por la diversidad de sus aplicaciones, por la heterogeneidad de la información espacial que manejan y por la complejidad de los problemas que solucionan. Cuando se abordan dificultades regionales, no existen condicionantes rigurosas respecto a la precisión de los datos, y es posible

utilizar información geográfica aproximada o generalizada. De cualquier manera, contar con información que permita la planeación municipal en ámbitos tan diversos como la dotación de servicios o la solución de problemas ambientales implica un importante esfuerzo de acopio de datos geográficos detallados y precisos.

La aplicación de los SIG analíticos no ha tenido tanta aceptación en el ámbito municipal. Esto se debe a que los efectos de su puesta en marcha suelen ser indirectos y se manifiestan a largo plazo. La satisfacción a la demanda de vivienda, el aumento en el acceso de la población a los servicios de salud y educación o la resolución de conflictos ambientales no necesariamente repercute en una reducción directa e inmediata de los costos de administración municipal (aunque, a largo plazo, puede significar una mejora sustancial en el nivel de vida de la población, lo que redundaría en una disminución de los gastos por salud, educación, etc.). Las inversiones en esta área, por lo tanto, han sido mucho menores que las realizadas para el desarrollo de los SIG orientados a la gestión de datos geográficos.

Otra causa que frena este tipo de aplicaciones se refiere a la dificultad para definir el sistema jerárquico de los problemas y determinar los criterios para la automatización del proceso de planeación municipal (la resolución de los problemas territoriales no puede depender enteramente de la automatización sino de la sustitución de ciertas partes de la tecnología tradicional). Así, por ejemplo, en la dotación de servicios públicos (salud, educación, cultura, etcétera), el sistema no puede suplir todo el proceso de planeación y gestión municipal, pero sí resulta una herramienta de gran aplicabilidad para cumplir con diversas etapas del proceso: en el análisis de la distribución actual del servicio, en el cálculo de la demanda real, en la evaluación del territorio para determinar sitios apropiados para albergar nuevas instalaciones o equipamientos y, finalmente, en el seguimiento periódico de los beneficios resultantes de la ampliación del servicio. La posibilidad de manejar, en un ambiente integrado, una gran cantidad de criterios sociales, económicos, políticos y ambientales resulta clave en la profundidad del análisis resultante.

2. Los sistemas municipales de información ambiental

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) define, en su artículo 8°, las facultades en materia ambiental que corresponden a los municipios. Entre ellas destaca la posibilidad de formular, conducir y evaluar la política ambiental municipal, con miras a la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Dar cum-

plimiento a este objetivo implica, en términos muy generales (SEDUE, 1988):

- Realizar un inventario detallado de los recursos naturales para identificar las potencialidades de aprovechamiento y las posibles causas de su deterioro.
- Dar seguimiento a los problemas de contaminación ambiental con la finalidad de definir políticas adecuadas de prevención y control.
- Formular y expedir programas de ordenamiento ecológico del territorio municipal.
- Vigilar el cumplimiento de la normatividad mexicana en materia ambiental.
- Formular y conducir una política municipal de información y difusión en materia ambiental.

Enfrentar de forma integral estos aspectos relacionados con la gestión ambiental de los municipios conduce, necesariamente, a la instauración de los sistemas municipales de información ambiental (SMIA). Así, por ejemplo, el Reglamento General de Mejoramiento Ambiental del Municipio de Toluca contempla, en su capítulo VI. “Del derecho a la información ambiental”, artículo 18, la necesidad de desarrollar el “Sistema de Información Ambiental que tendrá como finalidad registrar, organizar, actualizar y difundir la información sobre los diversos aspectos ambientales del municipio” (Honorable Ayuntamiento de Toluca, 2000: 22). Dicho sistema tiene dos objetivos fundamentales: apoyar el proceso de planeación ambiental y promover la educación y difusión de una cultura ambiental en el municipio.

Independientemente de la complejidad ambiental del municipio, el desarrollo de un SMIA implica seguir una serie de etapas:

- a) Investigar las atribuciones, ámbitos de competencia y procedimientos de la administración municipal para enfrentar los problemas ambientales.
- b) Definir el sistema jerárquico de las dificultades ambientales que puede enfrentar el municipio, así como sus posibles alternativas de solución.
- c) Determinar los criterios lógicos, cualitativos y cuantitativos, para el análisis y resolución de tales problemas.
- d) Definir los datos espaciales y sus atributos temáticos que serían suficientes y accesibles para la caracterización y resolución de cada conflicto ambiental.
- e) Investigar los procedimientos automatizados para obtener alternativas de solución (ello implica el estudio comparativo, mediante la aplicación a ejemplos reales, entre las alternativas tecnológicas propuestas y los métodos analógicos tradicionalmente aplicados en el ayuntamiento).
- f) Ajustar el sistema desarrollado corrigiendo los obstáculos de desempeño y mejorando su efectividad.

En resumen, el establecimiento de un sistema integrado de información ambiental del municipio debe partir del análisis del estado actual del territorio para predecir los eventos que puedan afectar a la población o al ambiente y examinar sus causas. Es necesario considerar que las cuestiones ambientales del municipio son problemas de mejoramiento que demandan la búsqueda de soluciones de compromiso entre los agentes involucrados. Por eso, el SMIA tendrá que ajustarse a las características intrínsecas del municipio. La conformación territorial, los patrones de distribución poblacional y la estructura de las actividades productivas determinan directamente los requerimientos de información y la naturaleza de los procedimientos de análisis ambiental que es necesario incorporar con la finalidad de cumplir los objetivos del sistema.

Con un esbozo podemos decir que, independientemente de la conformación municipal, un SMIA debe estructurarse a partir de subsistemas, entre los que destacan:

2.1. El subsistema ‘la base cartográfica’

Se refiere a los datos de planimetría y altimetría del municipio, incluyendo, entre otros, límites administrativos, relieve, red hidrográfica, sistema regional de comunicaciones, etcétera. En este subsistema es necesario considerar, además, la cartografía temática básica para la caracterización ambiental y socioeconómica del municipio.

2.2. El subsistema ‘agua’

Se refiere a los rasgos hidrográficos superficiales y subsuperficiales, incluidas fuentes de abastecimiento, sistemas de drenaje, sistemas de captación, tratamiento, reutilización y desagüe de aguas pluviales, fuentes y áreas de contaminación del agua, zonas de infiltración, zonas de riesgo por inundaciones, resultados de pronóstico de los flujos y de la contaminación del agua con base en modelos matemáticos, etcétera.

2.3. El subsistema ‘aire’

Abarca la información sobre la migración regional del aire, las fuentes y áreas de contaminación atmosférica, tanto fijas como móviles, así como información resultante del pronóstico de los flujos de la contaminación del aire con base en modelos matemáticos de los procesos correspondientes.

2.4. El subsistema ‘suelo’

Implica la caracterización del suelo, la definición de su capacidad de acogida y de su uso potencial, asimismo se consideran los problemas derivados del deterioro del suelo tales como erosión, desertización, etc., y los problemas de contaminación.

Los problemas ambientales del municipio, asociados al mejoramiento, demandan la búsqueda de soluciones de compromiso entre los agentes ambientales involucrados.

2.5. El subsistema 'Infraestructura y servicios'

Engloba la distribución y estado de la infraestructura carretera, el análisis de rutas para el transporte de personas y mercancías, sobre todo aquellas que representan riesgos para la población y el ambiente; el análisis de las contingencias ambientales derivadas de la presencia de instalaciones peligrosas, la distribución de la infraestructura de electrificación y comunicaciones, así como la caracterización de la infraestructura y los servicios urbanos.

2.6. El subsistema 'población'

La valoración ambiental del territorio en relación con la presencia humana en el territorio debe abordarse desde dos perspectivas: en función de los efectos de las actividades del hombre sobre el medio y en función de la afectación del nivel de vida humano por el contacto con un ambiente degradado. Para ello es necesario evaluar, entre otras cosas, el uso del suelo y del subsuelo, el nivel de desarrollo urbano, la densidad de población, el patrón de distribución y la calidad de las viviendas y otras modalidades de ocupación del suelo, los recursos y las limitaciones del desarrollo urbano, y los riesgos ambientales, tanto de origen natural como tecnológico.

2.7. El subsistema 'fomento económico'

Se refiere a la localización y descripción detallada de las actividades productivas en el municipio así como sus posibles consecuencias, directas o indirectas, sobre el medio.

2.8. El subsistema 'desarrollo social y salud pública'

Incluye la descripción de equipamientos para el desarrollo social tales como establecimientos educativos, centros administrativos, culturales, etc., y para la salud pública, como clínicas y hospitales. Es importante considerar la caracterización de los grupos vulnerables ante los problemas ambientales: niños, adultos mayores, etcétera.

2.9. El subsistema 'protección civil'

Se refiere a la previsión del riesgo y los daños por terremotos, huracanes, aguas pluviales, erupciones, inundaciones, etcétera. Esto implica el manejo de modelos digitales de elevación, de información geológica e hidrológica,

entre otras. El sistema debe incluir información sobre las actividades planeadas y las rutas de evacuación en caso de contingencias ambientales: emisiones peligrosas, descargas de residuos, incendios, inundaciones, hundimientos, derrumbes.

La lista de subsistemas parece excesiva pero, evidentemente, la solución de los problemas ambientales, por su gran complejidad, así lo demanda. Sólo mediante un enfoque integral es posible concebir un SMIA. Por ejemplo, el emplazamiento de un relleno sanitario dentro del territorio municipal debe considerar aspectos tan diversos como la contaminación del acuífero, el riesgo a la población por el transporte y disposición final de los residuos o la modificación de la estructura económica en el territorio, dada la introducción de la nueva actividad. Las relaciones que se establecen entre la necesidad de una infraestructura para la disposición de residuos y los SIG son muy diversas e involucran una amplia gama de disciplinas del conocimiento humano. La alternativa tecnológica permite en última instancia el análisis complejo del territorio y la modelación de escenarios, positivos y negativos, a partir de la aplicación de modelos matemáticos sobre los procesos estacionarios o dinámicos.

3. Aplicación de un SIG para evaluar la disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Toluca

Las ventajas de contar con un SMIA son evidentes. La pregunta central, sin embargo, es la viabilidad para instrumentar este tipo de tecnologías en el contexto municipal mexicano. Con miras a responder esta interrogante, nos dimos a la tarea de desarrollar una aplicación de SIG para la localización de residuos sólidos urbanos en el municipio de Toluca.

3.1. Antecedentes de la investigación

Toluca se localiza en el centro del Estado de México, tiene una extensión aproximada de 420 km², lo que representa 1.86% del territorio estatal. Como sede del gobierno estatal, ha tenido un importante desarrollo industrial y una intensa actividad comercial y de servicios, lo que ha repercutido en una creciente concentración de la población. Hacia el año 2000, el municipio contaba con una población cercana a los 665 mil habitantes (INEGI, 2001) y, en el territorio correspondiente al municipio de la zona metropolitana de la ciudad de Toluca, se generaban cerca de 700 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU).

Tabla 1. Condiciones que deben reunir los sitios para la disposición de los residuos sólidos municipales (NOM-083-ECOL-1996).

| Especificaciones | Tipo de restricción |
|------------------|--|
| 3.2.1.1.1 | La distancia mínima a los aeropuertos debe ser de 3,000 metros cuando se maniobren aviones de motor a turbina y de 1,500 metros cuando sean aviones de motor a pistón. |
| 3.2.1.1.2 | Respetar el derecho de vía: el sitio de confinamiento debe estar ubicado a 50 metros de las principales vías de comunicación, estatales y federales, vías férreas, calles, caminos de tierra y brechas. |
| 3.2.1.1.3 | No deben de ubicarse dentro de las áreas naturales protegidas. |
| 3.2.1.1.4 | Se restringe la construcción de un confinamiento a no menos de 100 metros en obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, acueductos, etcétera. |
| 3.2.1.1.5 | Las zonas urbanas deben estar alejadas a una distancia mínima de 1,500 metros a partir del límite de la traza urbana de la población por servir, para no afectar al centro de población. |
| 3.2.2.1 | El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no debe ubicarse en zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. |
| 3.2.2.3 | La distancia de ubicación del sitio, respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de mil metros mínimo y contar con una zona de amortiguamiento que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima en los últimos 10 años. |
| 3.2.3 | Para el emplazamiento de un confinamiento de residuos sólidos municipales, debe localizarse en un área donde la permeabilidad sea baja para evitar escurrimientos al subsuelo que ocasionen contaminación. |
| 3.2.4 | La localización de un sitio de confinamiento no debe estar en zona de conexión con el acuífero. |

A pesar de los esfuerzos del gobierno municipal para enfrentar el problema de la minimización de los residuos con la promoción del uso racional de los bienes de consumo e implantando programas de captación y reciclaje, la principal alternativa para la gestión de los RSU ha sido su disposición final en rellenos sanitarios. En este sentido, el Ayuntamiento de Toluca ha venido utilizando tres alternativas: el relleno sanitario de Metepec, que en la actualidad recibe la mayor parte de los residuos generados en Toluca; el relleno sanitario de Temoaya que recibe una cantidad significativamente menor (INEGI, 1997), y el relleno sanitario de San Juan Tilapa, que en el 2000 captaba alrededor de 1,050 toneladas diarias provenientes de Toluca (Honorable Ayuntamiento de Toluca, 1997) y que dejó de operar a finales de mayo del 2001.

Evaluar el problema de disposición final de los RSU en el municipio de Toluca significaba el análisis de una gran cantidad de información geográfica y dependía, en buena medida, de las posibilidades de implantación de un SMIA que permitiera evaluar los sitios de disposición final de RSU de acuerdo con el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana

(NOM-083-ECOL-1996) en materia de localización de rellenos sanitarios, así como identificar un conjunto de sitios alternativos para la disposición final de los residuos sólidos municipales en Toluca.

3.2. Implantación del SIG para la localización de RSU

Desde el punto de vista metodológico, el diseño del sistema exigía plantear diversos escenarios de análisis espacial considerando tres tipos de criterios de decisión:

I) Restricciones normativas. Se establecen por la Norma Oficial Mexicana (NOM-083-ECOL-1996), la cual establece las condiciones que deben reunir los sitios para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

II) Restricciones adicionales. A partir de la revisión de la normativa vigente, se percibió que algunos aspectos no se incluyen y debido al papel que juegan en el ámbito territorial, resultan especialmente importantes.

III) Factores de adecuación. Son aquellos criterios que se definen de acuerdo con el nivel de adecuación del territorio: permeabilidad, textura y uso del suelo y vegetación.

Examinar el territorio municipal en función de los diversos criterios de análisis implicó diseñar una metodología basada en la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio discreta (EMD) en el entorno de un SIG.

3.2.1. Definición de los criterios de análisis

Un análisis de la Normativa Oficial Mexicana (083-ECOL-1996), donde se establecen los requisitos que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, permitió identificar los criterios restrictivos (tabla 1).

Tomando en cuenta el compromiso de proteger a la población y al ambiente de la presencia de grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos, se consideró la necesidad de incluir otros aspectos restrictivos que la normatividad mexicana no contempla (tabla 2).

El manejo de criterios restrictivos podría limitar considerablemente el proceso de toma de decisiones en materia de localización de nuevos rellenos sanitarios. Las restricciones

permiten excluir todas aquellas zonas del territorio que no cumplen con uno o varios criterios específicos, pero impiden comparar entre las zonas libres de toda restricción. Por ello, para contar con mayores criterios de decisión, se propuso la inclusión de tres factores de adecuación del territorio: permeabilidad del subsuelo, textura y uso del suelo y vegetación.

3.2.2. Generación de la base de datos

Una vez definidos los criterios para el análisis, fue necesario diseñar y generar una base de datos que incluyera un conjunto de coberturas o estratos temáticos según el tipo de unidades de observación que era preciso representar. La información correspondiente a los subsistemas de la base cartográfica (hidrografía y planimetría) se derivó de las cartas topográficas digitales 1:50,000 del INEGI (claves E14-A37, E14-A38, E14-A47 E14-A48). La información altimétrica para la elaboración del modelo digital del terreno (MDT) se obtuvo de la carta topográfica digital 1:250,000 del INEGI (clave E14-04). La información sobre usos del suelo, edafología y geología corresponde a las cartas temáticas digitales del Estado de México, escala 1:250,000 del INEGI. Es importante destacar que, a pesar de la naturaleza local del estudio, no fue posible contar con información a escalas más adecuadas. La falta de fuentes de información detallada y actualizada limitó los resultados.

3.2.3. Aplicación de los procedimientos de análisis

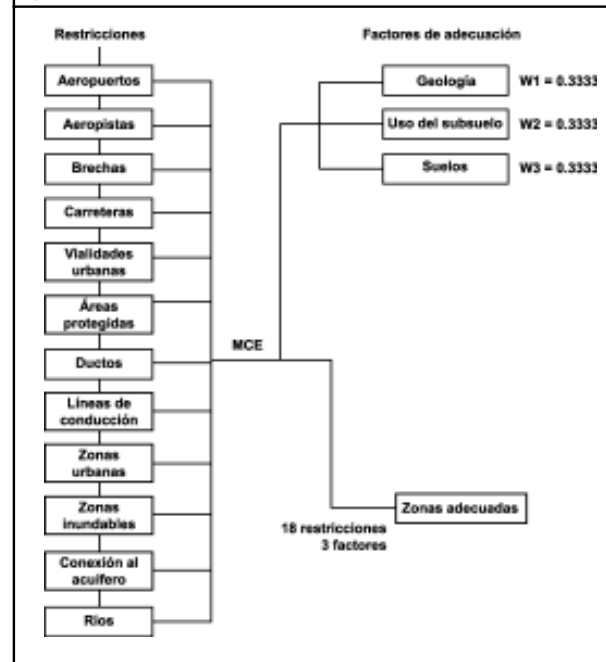
El primer aspecto en la investigación era evaluar la viabilidad de la aplicación estricta de la normativa mexicana vigente para la localización de un relleno sanitario dentro del municipio de Toluca. Se trataba de adecuar un procedimiento de sobreposición de criterios para identificar zonas libres de toda restricción legal. Esto nos permitió corroborar que, desde el punto de vista normativo, no existen sitios apropiados en el entorno municipal que permitan la disposición final de residuos sólidos urbanos. Evidentemente el problema es complejo, ya que la legislación mexicana es un instrumento de política ambiental de aplicación general y no necesariamente se ajusta a las condiciones locales de los municipios. Dentro de los aspectos que limitan la localización de un relleno sanitario se encuentran, fundamentalmente, los criterios geohidrológicos y ambientales. La distribución del territorio municipal se distingue en que la mayor parte de su superficie se halla en zonas de conexión con el acuífero del valle; hacia la zona montañosa del Nevado de Toluca, donde se presentan mejores condiciones de permeabilidad, se encuentra el Parque Nacional.

Ante las dificultades de encontrar sitios adecuados para la construcción del relleno sanitario, se plantearon escena-

Tabla 2. Restricciones no especificadas en la normativa 083-ECOL-1996.

| Criterio | Restricción |
|---|---|
| Proximidad a cuerpos de agua y corrientes intermitentes | 100 metros |
| Proximidad a canales | 1,000 metros |
| Proximidad a estanques | 100 metros |
| Pendiente media del terreno | > 30% |
| Textura del suelo | 1 = arenoso 2 = franco arenoso 3 = franco 4 = franco arcilloso |
| Uso del suelo | 0 = No apto 1 = Apto |
| Proximidad a localidades rurales | 100 metros |
| Proximidad a equipamientos (estadios, escuelas, etc.) | 1,500 metros |

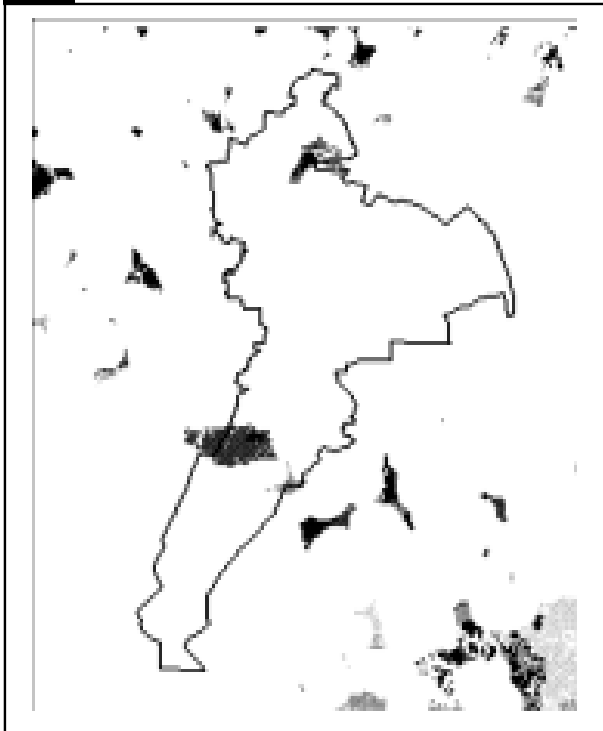
Figura 1. Procedimiento de análisis para la identificación de zonas adecuadas para la localización de un relleno sanitario de RSU



rios alternativos de análisis. El argumento fundamental que guió nuestra decisión es que existían algunos criterios altamente restrictivos que podían omitirse en el análisis. Tal es el caso de la restricción por conexión al acuífero y la permeabilidad del subsuelo. Así se aplicó el procedimiento de la suma lineal ponderada considerando dieciocho restricciones y tres factores (figura 1).

De esta manera fue posible obtener un mapa final de zonas adecuadas para la localización de un relleno sanitario. A mayor intensidad de color, mayor es el nivel de adecuación (figura 2).

Al considerar únicamente aquellas regiones con un alto nivel de adecuación y una superficie suficiente para la cons-

Figura 2. Zonas para la localización de un relleno sanitario en el municipio de Toluca.

trucción del relleno (mayor a 3.5 ha), pudieron identificarse siete parcelas.

Si bien el objetivo fundamental de la investigación era la identificación de un conjunto de sitios candidatos para la localización de un relleno sanitario en Toluca, también resultaba de especial interés analizar la localización de las instalaciones que ha venido utilizando el municipio. Así fue posible obtener una tabla de valoración (tabla 3).

Finalmente, el sistema nos permitió encontrar mejores emplazamientos para la construcción del relleno sanitario. Aunque la gestión de residuos sólidos municipales es de competencia municipal, la situación geográfica, económica y social de los municipios parece apuntar hacia el establecimiento de una política regional de gestión ambiental. En este sentido, más que insistir en la búsqueda de alternativas de solución en el municipio de Toluca, sería pertinente buscar la construcción de una instalación intermunicipal. Desde este punto de vista y tomando en cuenta los resultados del trabajo, pudieron detectarse algunas alternativas que será importante explorar con mayor detalle:

- Los municipios de Oztolotepec y Tenango del Valle cuentan con algunas zonas que presentan altos niveles de adecuación y que, por su localización geográfica en el valle de Toluca, presentan una adecuada conectividad con las principales zonas generadoras de residuos.

- Los municipios de Almoloya de Juárez, Joquicingo y Temoaya, aunque presentan áreas con un nivel de adecuación ligeramente inferior, resultan potencialmente viables para satisfacer las demandas de la zona norte del valle de Toluca.

- El municipio de Calimaya posee zonas cuyo nivel de adecuación es inferior, pero que por su ubicación geográfica podrían resultar de interés.

4. Principales limitaciones en la implantación de los SMIA

A pesar de su enorme aplicabilidad en el entorno de la administración municipal, la utilización de los SIG se ve fuertemente limitada por problemas de muy diversa índole, entre los que es posible mencionar las características intrínsecas de cada municipio, la naturaleza de la administración municipal, la carencia de información geográfica, la falta de dinero y la carencia del soporte técnico y personal calificado.

4.1. Las características de cada municipio

Los municipios en México presentan notables disparidades, tanto en su extensión territorial como en sus características naturales, sociales y económicas. Así, en una misma región es posible encontrar municipios muy pequeños (con escasos recursos naturales y económicos y muy poca población) y grandes (concentradores de la población y de las actividades productivas y, por consiguiente, de los recursos económicos asignados a la gestión municipal). Desde esta perspectiva resulta muy difícil hablar de un SMIA con un formato único, aplicable a todos los ayuntamientos, y parece inevitable la necesidad de desarrollar, de forma independiente, cada uno de los sistemas municipales. Resolver los problemas técnicos, económicos y sobre todo político-administrativos que de ello se derivan constituye un reto de considerables proporciones.

4.2. La naturaleza de la administración municipal

La falta de vinculación entre las diversas instancias de la administración municipal constituye un importante obstáculo para el desarrollo de un SMIA. La disociación entre los organismos encargados de la gestión ambiental y otros ámbitos de competencia impiden cumplir adecuadamente con las seis etapas de desarrollo del sistema descritas con anterioridad. En la medida que la definición del sistema jerárquico de problemas ambientales guarda una estrecha relación con aspectos de política económica y social, resulta inevitable la búsqueda de nuevos esquemas de gestión intramunicipal.

4.3. La carencia de información geográfica

Es importante considerar que un SMIA, como toda aplicación de tipo específico, está sujeta a importantes requerimientos de información geográfica, tanto para la descripción detallada del territorio como para la caracterización de los problemas ambientales. Generar una base de datos para los nueve subsistemas descritos previamente excede significativamente la disponibilidad de información geográfica de las instancias de gobierno municipal, estatal y federal. Ante ello, resulta inevitable realizar un importante esfuerzo para generar la información faltante, lo que supone fuertes desembolsos económicos, demanda mucho tiempo y requiere un esfuerzo adicional de capacitación. El uso de fotografías aéreas, imágenes de satélite y de sistemas globales de posicionamiento (GPS) debe complementarse con exhaustivos levantamientos de información en campo, encuestas y muestreos específicos. A esto es necesario agregar las dificultades inherentes a la digitalización de toda la información geográfica.

4.4. La falta de recursos económicos

Como se ha mencionado con anterioridad, el desarrollo de un sistema específico de la naturaleza y alcances del SMIA supone una fuerte inversión de capital para la adquisición de la tecnología, para el mantenimiento del equipo, las licencias de *software* y para la capacitación de directivos y personal operativo. Hay que añadir que, dado el carácter dinámico de los fenómenos ambientales, es indispensable una política de permanente actualización de la información geográfica, lo que supone permanentes erogaciones económicas para la recopilación de datos. Es importante recordar que este tipo de aplicaciones enfrenta dos grandes desventajas: la primera se refiere a que el sistema no tiene efectos económicos directos e inmediatos que permitan compensar a la administración municipal por los gastos realizados, y la segunda se relaciona con el hecho de que muchos municipios tienen fuertes carencias presupuestales.

4.5 La carencia del soporte técnico y personal calificado

El desarrollo de cualquier sistema de información geográfica requiere personal especializado que dé seguimiento al

Tabla 3. Evaluación de los rellenos sanitarios que ha venido utilizando el Ayuntamiento de Toluca de acuerdo con diversas restricciones.

| Restricciones | San Juan Tliapa | Temoaya | Metepéc |
|--|-----------------|---------|---------|
| Por conexión al Acuífero | No | Sí | No |
| Por proximidad al aeropuerto internacional | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a brechas | Sí | Sí | Parcial |
| Por proximidad a carreteras | Sí | Sí | No |
| Por proximidad a canales | Sí | Sí | Sí |
| Por área protegida | Sí | Sí | Sí |
| Proximidad a Ductos | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a equipamientos | Sí | Sí | No |
| Por proximidad a estanques | Sí | Sí | Sí |
| Por permeabilidad | No | No | No |
| Por proximidad a cuerpos intermitentes | Sí | Sí | Sí |
| Zonas inundables | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a Líneas | Sí | No | Parcial |
| Por pendiente | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a cuerpos permanentes | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a pista local | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a ríos permanentes | Sí | No | Sí |
| Por textura de suelo | No | No | Sí |
| Por usos del suelo | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a vías férreas | Sí | Sí | Sí |
| Por proximidad a zonas urbanas | Sí | Parcial | No |
| Por proximidad a localidades rurales | Sí | Sí | Sí |

proceso. La conformación de un grupo interdisciplinario de alto nivel, capaz de vincular los objetivos del sistema con las posibilidades y limitaciones tecnológicas, es una empresa muy difícil de abordar en el entorno municipal. La carencia de recursos humanos es una realidad en muchos municipios del país.

Resulta también difícil encontrar soluciones imaginativas que permitan enfrentar, de manera simultánea, estas cinco limitantes para la instauración de un SMIA. Evidentemente, los municipios más fortalecidos pueden definir esquemas viables de implantación, pero los pequeños ayuntamientos no tienen muchas posibilidades en este sentido. En este contexto, se vislumbran dos alternativas: el fortalecimiento del municipio como base para la gestión autónoma de su territorio (es decir, la consolidación de las funciones intramunicipales) y la búsqueda de esquemas regionales de gestión de la información municipal (esto es, el fortalecimiento de las relaciones intermunicipales).

En el primer caso se trata de buscar mecanismos que garanticen a todos los municipios, independientemente de sus características intrínsecas, el acceso a los recursos necesarios para el desarrollo de un SMIA acorde con sus requerimientos específicos. En el segundo caso sería necesario plantear el desarrollo de sistemas regionales de información ambiental. Esto posibilitaría una gestión más racional de los recursos (humanos, técnicos y económicos) y permitiría a los municipios más pequeños compartir las ventajas de estas modernas tecnologías para la gestión de información municipal. Este último planteamiento abre, sin embargo, toda

La utilización de los SIG se ve fuertemente limitada por las características de cada municipio, la naturaleza de la administración municipal, la carencia de información geográfica, la falta de financiamiento y la carencia del soporte técnico y personal calificado.

una gama de problemas relacionados con la autonomía del municipio y la capacidad de concertación intermunicipal.

Conclusiones

La ejecución de los SIG constituye una alternativa tecnológica importante para la gestión de información municipal. Teóricamente su aplicabilidad es enorme y sus beneficios innegables. Dentro de las principales aplicaciones destacan la gestión de instalaciones, la localización y asignación de equipamientos e infraestructuras, el transporte y gestión de redes, y el manejo y análisis de información ambiental.

Los sistemas municipales de información ambiental se conciben, así, como instrumentos que permiten dar seguimiento a la política ambiental del municipio. El desarrollo de dichos sistemas, sin embargo, es una tarea muy compleja que implica un amplio conocimiento de los problemas ambientales propios y de las tecnologías disponibles para el análisis de información geográfica. Es necesario integrar, en un mismo ambiente de trabajo, la descripción detallada de diversos subsistemas: relieve, hidrografía, problemas at-

mosféricos, suelos, actividad económica, población, etcétera. Esto conduce al planteamiento de enfoques integrales capaces de analizar los procesos ambientales.

Mediante la aplicación de un SIG a la localización de un relleno sanitario en el municipio de Toluca, se evaluó la viabilidad para desarrollar los SMIA. Así,

gracias a la generación de una base de datos espaciales y de la aplicación de una serie de análisis, fue posible identificar algunas regiones con cierto nivel de adecuación para el emplazamiento de este tipo de instalaciones.

De este ejercicio se desprenden algunas conclusiones importantes. Si bien la gestión de los residuos sólidos es de competencia municipal, las características regionales condicionan la necesidad de buscar soluciones intermunicipales. A esto es necesario añadir los problemas en la adquisición de información geográfica, suficiente en detalle y oportuna en contenido, y en la integración de la base de datos.

Por otra parte, la aplicación de estas tecnologías enfrenta importantes limitaciones. La naturaleza territorial, política y administrativa de los municipios y las importantes carencias de información, dinero, soporte técnico y personal capacitado constituyen las principales barreras, en muchas ocasiones infranqueables. Ante estas circunstancias, serán únicamente los municipios más desarrollados y con mayores recursos los que saquen partido de los SIG; el resto dependerá de la voluntad política estatal y federal encaminada al fortalecimiento de la gestión pública municipal.

Bibliografía

- Barredo, J. I. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. RA-MA Editorial, Madrid.
- Bosque Sendra, J. (1997). *Sistemas de información geográfica*. 2a. edición. Ediciones Rialp, Madrid.
- Green, K. (1999). "Development of the Spatial Domain in Resource Management", en Morain, S. *GIS Solutions in Natural Resource Management. Balancing the Technical-Political Equation*. Onword Press, United States of America.
- Honorable Ayuntamiento de Toluca (1997). *Disposición final de residuos sólidos*. DGDUSPE, Toluca.
- _____ (2000). "Reglamento general de mejoramiento ambiental del municipio de Toluca", en *Gaceta de Toluca*, Época IV, Número 20, Toluca.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1997). *Estadísticas del medio ambiente. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1995-1996*. INEGI, Aguascalientes.
- _____ (2001). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. INEGI, Aguascalientes.
- O'Lonney, J. (Ed.) (1997). *Beyond Maps: GIS and Decision Making in Local Government*. International City/County Management Association, Washington, D. C.
- Rhind, D. (1989). "GIS Trends", *ARCNews*. ESRI, Red Lands.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1988). *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente*. Edición comercial, versión del *Diario Oficial* (28 de enero de 1988), Subsecretaría de Ecología, México, D. F.