A bordar la problemática que presentan los residuos sólidos en las áreas urbanas requiere de la integración de dos enfoques que indefectiblemente convergen: la prestación de servicios públicos urbanos y el mejoramiento de las condiciones ambientales. Ambos pueden ser entendidos como perspectivas independientes, de hecho la investigación suele privilegiar alguno de éstos; sin embargo, es importante señalar que se encuentran estrechamente asociados por un vínculo territorial que impide separarlos,

# Residuos sólidos urbanos,

# territorio y sistemas de información geográfica

Luis Romero Regús

Departamento de Teoría y Análisis

UAM-Xochimilco

aromero@cueyatl.uam.mx

Ricardo A. Pino Hidalgo

Departamento de Teoría y Análisis

UAM-Xochimilco

r\_pino@hotmail.com

El estudio y la gestión de los residuos sólidos urbanos presentan un conjunto de problemas asociados tanto con la generación como el manejo de los mismos. Los sistemas de información geográfica para la planeación y la gestión urbana podrían contribuir a librar dichos problemas. Sin embargo, la preocupación por el medio ambiente y la gestión de servicios públicos son dos instancias sustanciales para poder abordar de manera integral el problema.

The study and administration of urban solid residues present a group of associated problems in terms of its generation as well as its handling. The systems of geographical information for urban planning and administration could

contribute to relieve this problems. However, the concern for the environment and the administration of public services are two key instances in order to approach this problem in an integral way. ya que el ámbito territorial que da soporte a la población y a sus actividades socioeconómicas es al mismo tiempo el escenario de una serie de manifestaciones y características medioambientales que permean y determinan, en algún grado, la vida en las ciudades.

Estas dos aproximaciones a la problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU), están directamente vinculadas con una más amplia: la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, cuestión que nos remite al ámbito de la gestión y la hechura de las políticas públicas. Por un lado tenemos la gestión del servicio público urbano de limpia y recolección de residuos sólidos y por el otro el de las políticas ambientales. Cada uno responde a lógicas distintas y es atendido por instancias diferentes en

la organización institucional del quehacer político-administrativo de la ciudad.

En este trabajo se destaca la importancia que juega el elemento territorio en la comprensión de la problemática, así como la pertinencia de introducir, en general, la llamada "geoinformática" y en particular, los sistemas de información geográfica (SIG), como herramientas que posibilitan un mayor entendimiento de la relación que guarda la gestión de los residuos sólidos con la dimensión urbano-ambiental.

### Los residuos sólidos y la información

La problemática de los residuos sólidos urbanos comúnmente es estudiada en dos grandes momentos: a) el de la generación de un conjunto de residuos sólidos que se derivan de procesos productivos y de prestación de servicios, así como del consumo por parte de la población que habita en la ciudad y de aquélla que hace uso de las oportunidades que ofrece la aglomeración sin necesariamente residir en ella; y b) el del manejo que se hace de los residuos sólidos –una vez que han sido generados en las diversas fuentes- por parte de las instancias encargadas de la prestación de servicios públicos urbanos en términos de su recolección, transportación, transferencia, procesamiento y disposición final.

El estudio de estos dos momentos de la problemática urbana de los residuos sólidos, ha tenido por mucho tiempo como limitante central, la falta de información confiable acerca de las principales variables que la determinan<sup>1</sup>. El contar con información propia del sector en términos de la magnitud de un conjunto de indicadores tales como la cantidad de residuos sólidos generados, recolectados, trasportados y confinados en los sitios de disposición final; el volumen de residuos sólidos no recaudados por los servicios de limpia y de recolección; la composición de los mismos y la cuantificación de cada uno de sus componentes; entre otros, es un aspecto fundamental para entender las dimensiones del problema. En los últimos años esta falta de información se ha ido cubriendo con diferentes grados de confiabilidad, tanto en la cantidad como en la calidad de los datos que han sido generados por diversas instancias, lo cual ha permitido avanzar en la elaboración de amplios diagnósticos de la situación que guardan los RSU.

Así, ahora estamos en posibilidad de conocer varios aspectos del fenómeno a partir de un cúmulo de información procedente de muy diversas fuentes. Por ejemplo, en 1991, Iván Restrepo daba cuenta de una composición de los desechos sólidos en la ciudad de México en la que se destacaba que 45% era materia orgánica, 19% papel y cartón, 7% plásticos e igual porcentaje de vidrio, 2% de metales, 8% de residuos de jardín y el restante 10% de otros residuos; mientras que la generación per cápita se estimaba en 824 gramos por día. (Restrepo, 1991) Por su parte, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y la Organización Mundial de la Salud (омs), registraban para 1993, en el Distrito Federal una generación de residuos sólidos del orden de 1 kg/hab/día, y una composición de los residuos a nivel nacional que distinguía 43% de orgánicos, 20% en papel y cartón, 8.2% de vidrio, 6.1% de plásticos, 4.2% de textiles, 3.2% de metales y 27.1% de otros. (OPS/OMS, 1995)

En lo que respecta al manejo de los residuos, estas organizaciones internacionales reportaban que la zona metropolitana de la ciudad de México (zmcm), tuvo una generación de 14,000 toneladas/día y una cobertura de recolección del orden del 80%. De esta recolección se vertía 50% en rellenos sanitarios, 25% en rellenos controlados y 25% en basureros a cielo abierto. Por su parte, la Dirección General de Servicios Urbanos (DCSU), de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal, (GDF), estableció que en 1997, en el Distrito Federal se generaron 4,169,000 toneladas de residuos sólidos, de las cuales 1,926,000 correspondían a residuos considerados como domésticos; 1,210,000 a residuos comerciales; 636,000 a residuos derivados de la prestación de servicios; 130,000 a especiales y el resto a otros tipos Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (ACIJ, 1999).

Con estos datos solamente queremos reconocer que en los últimos años se ha logrado construir un importante cuerpo de información que contribuye a dilucidar la problemática de los RSU en la ciudad de México; sin embargo, debemos señalar que, en ocasiones, no se tiene conocimiento de la forma en que estos datos fueron definidos, clasificados y cuantificados; así como la manera en que se determinó la composición de los residuos y las fuentes generadoras. Aunado a lo anterior, encontramos que en ocasiones hay dificultades a la hora de definir la escala, perspectiva o contexto geográfico en el que habrá de abordarse el problema (delegacional o municipal, estatal o metropolitano).<sup>2</sup>

Por otra parte, los métodos tradicionales para medir la generación de residuos sólidos (análisis del número de cargas y análisis pesovolumen) están basados en estimaciones y cuantificaciones de las cantidades de residuos recolectados, y no precisamente en los generados. Una vez que se ha obtenido el valor total de los residuos recolectados, éste es dividido entre el total de la población para determinar la tasa per cápita. Al utilizarse estos valores se construye un promedio que homogeniza la información e impide observar las variaciones que se presentan en la distribución territorial de la población y de sus desechos; es decir, la diferenciación socioespacial de los RSU ya que la distribución de la población en el territorio responde a una inserción específica dentro de la estructura urbana de la ciudad.

En este sentido, los datos referentes a la recolección de residuos sólidos desagregados a nivel de delegación política, incluidos en la Agenda Estadística del Distrito Federal 2000, dan cuenta del interés por profundizar en el conocimiento de la problemática. Así, podemos observar que de las dieciséis demarcaciones territoriales que conforman el D. F., en el período 1993-1999, cinco de ellas

participan con más del 50% del total de los RSU recolectados: Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza<sup>3</sup>. Estos datos nos permiten hacer comparaciones en el tiempo, destacando los valores obtenidos en la recolección para el año de 1996 que se disparan con respecto al resto de los años considerados, así como la disminución que se observó para 1999 en las delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza y Miguel Hidalgo de alrededor del 50% y el significativo aumento en Magdalena Contreras y Tlalpan, principalmente.

El número de vehículos recolectores asignados a cada delegación aumentó en poco más del 15% en tres años, pasando de 1,727 a 2,011 unidades. Las delegaciones con modificaciones significativas en este sentido fueron Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo e 31 Iztapalapa que aumentaron su parque vehícular en 64, 36, 28 y 26 unidades respectivamente.

Por el contrario, Magdalena Contreras vio disminuir el número de vehículos recolectores en dos unidades.

Ahora bien, consideramos que el contar con información alfanumérica propia del sector no es condición suficiente para hacer frente a la complejidad que muestran la generación de residuos sólidos y el manejo que se hace de ellos; se requiere además, de un cuerpo de información sociodemográfica, económica y cultural asociada a las características físicas de la ciudad que dé cuenta de las condiciones y la calidad de vida de la población, así como información geográfica del ámbito territorial que da soporte al hombre y sus actividades, así como a la generación y manejo de los RSU. Aunado a lo anterior, resulta necesario contar con métodos y técnicas que permitan la implementación de

¹Para 1995 la cuestión de la información era aún una preocupación central. La Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud afirmaban que no existe en los países [latinoamericanos] un control estadístico confiable que permita tener un conocimiento cabal del problema. (OPS-OMS, 1995: 4)

Una investigación que se propuso comparar la gestión de la basura en la Zona Metropolitana de Ciudad de México y en la ciudad de Montreal, Canadá, señalaba como las principales dificultades que había enfrentado en la búsqueda de datos: "a) la información sobre la basura proveniente de los municipios conurbados es prácticamente inexistente; b) los municipios no llevan registros de actividades, ya sea de rutas de recolección o de disposición final; c) los tiraderos no disponen de básculas para pesar la cantidad de desechos que ingresan; d) la imposibilidad de realizar un seguimiento de datos dada la desaparición sucesiva de los distintos organismos que se vieron responsables del control de los residuos sólidos, que induce a la pérdida de datos y experiencias; e) los datos obtenidos son demasiado globales e impiden ver con claridad qué pertenece al D.F., qué a la ZMCM y qué a los municipios conurbados; f) la ausencia de definición de desecho sólido ha llevado a incluir desechos residenciales, municipales y urbanos

como pertenecientes a la misma categoría; g) aún cuando los datos están disponibles y provienen de un análisis riguroso, muchos de ellos carecen de confiabilidad y son difícilmente comparables". (Severini, 1995: 32-33)

<sup>2</sup> El trabajo de Pamela Severini no logra sustraerse de este problema. Ella plantea que "las políticas locales del Distrito Federal (D.F.) no pueden ser vistas aisladamente de las del conjunto de la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), ya que en realidad no sólo comparten un ámbito geográfico específico, sino que sus problemas son comunes y muchas veces están indisolublemente relacionadas" (Severini, 1995: 28-29). Sin embargo, su trabajo se centra en la gestión ambiental de los residuos sólidos en los municipios conurbados a la ciudad de México, aislándolos de ese mismo conjunto metropolitano, problema derivado del mismo Programa Metropolitano de Gestión de los Residuos Sólidos elaborado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) del Estado de México en 1992 y que es materia de análisis de dicha investigación.

<sup>3</sup> Para 1999, de estas cinco delegaciones solamente Gustavo A. Madero e Iztapalapa se mantienen con los valores más altos de recolección, mientras que las otras tres son sustituidas por Álvaro Obregón, Coyoacán y Tlalpan. procesos de cuantificación, clasificación y sistematización de la información para su interpretación y análisis. Todo ello con la ayuda de heòramientas tecnológicas que agilicen y den precisión a estas operaciones.

Los datos sociodemográficos contenidos en los censos de población y vivienda, son aquí de gran utilidad, tal es el caso de un conjunto de variables como el número de habitantes, su composición por edad, sexo, nivel educativo, ocupación y nivel de ingresos, ya que son variables que están directamente vinculadas con los patrones de consumo y con los distintos grados de conocimiento de la problemática ambiental, lo que está indisolublemente asociado con la cantidad de residuos sólidos generados, así como con su composición y manejo domiciliario.

El Distrito Federal con una población total de 8,605,239 habitantes en el año 2000, muestra una dinámica demográfica diferenciada en el espacio y en los ritmos de crecimiento que podemos constatar en el hecho de que la población total continúa creciendo al igual que lo hacen nueve delegaciones. Por el contrario, Azcapotzalco, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza han visto disminuir su población en los últimos 30 años.

Con la información presentada en los dos cuadros anteriores, estamos en posibilidad de construir nuevos indicadores de generación de residuos sólidos por habitante de manera desagregada. Retomando los datos correspondientes a 1995, podemos constatar que los 0.486 tons/año/hab resultantes del cálculo global para el D.F., se alejan de los 0.274 correspondientes a la delegación

Tláhuac y a los 0.299 de Tlalpan o a los 1.009, 0.873 y 0.867 toneladas anuales por habitante de las delegaciones Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza, respectivamente. Lo anterior resalta la pertinencia de contar con información desagregada que permita dimensionar las manifestaciones espaciales de la problemática de los residuos sólidos urbanos.

# EL ÁMBITO TERRITORIAL Y LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Como punto de partida compartimos los planteamientos que establecen que la situación que guardan los servicios urbanos en las principales ciudades de México se ha caracterizado, de manera general y en grados diferentes, por una cobertura insuficiente y por una calidad deficiente. La prestación de

Cuadro 1
Residuos sólidos recolectados (toneladas anuales) y vehículos recolectores en el Distrito Federal por delegación\*

DELEGACIÓN	1993	1994	1995	1996	Núm. de Vehíc.	1999	Núm de Vehíc.
Azcapotzalco	269,276	220,460	222,978	616,621	116	208,415	140
Coyoacán	285,091	273,750	276,670	765,101	104	314,630	126
Cuajimalpa	40,500	65,335	66,102	182,807	34	74,825	45
Gustavo A. Madero	520,436	469,755	474,901	1,313,287	216	569,035	280
Iztacalco	274,317	187,610	189,946	525,273	78	196,735	85
Iztapalapa	609,480	632,910	640,064	1,770,030	199	894,250	225
Magdalena Contreras	47,571	85,775	86,724	239,827	47	113,880	42
Milpa Alta	63,474	36,865	37,157	102,753	19	33,945	32
Álvaro Obregón	347,934	257,325	260,135	719,375	115	316,090	138
Tláhuac	115,200	69,350	70,190	194,104	37	129,940	54
Tlalpan	224,136	163,155	165,199	456,841	69	314,630	72
Xochimilco	159,632	93,805	95,010	262,739	41	153,300	45
Benito Juárez	282,000	257,325	260,172	719,479	135	179,215	143
Cuauhtémoc	674,568	539,105	545,128	1,507,493	219	261,705	255
Miguel Hidalgo	567,522	314,265	317,988	879,361	140	179,580	168
Venustiano Carranza	545,785	416,465	421,246	1,164,909	158	228,125	161
Distrito Federal	5,026,922	4,083,255	4,129,610	11,420,000	1,727	4,168,300	2,011

Fuentes: Informes de Autoevaluación de las Delegaciones Políticas 2° semestre de 1993. Anuario Estadístico del D.F. 1996 y 1997. GDF, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Servicios Urbanos.

Nota: En 1999 se determinó la generación de residuos sólidos en 11,850 toneladas por día, originado principalmente por el incremento en la disposición final de material inerte en el relleno sanitario Bordo Poniente, encontrándose en proceso de actualización la cuantificación delegacional.

<sup>\*</sup> Datos tomados de la versión electrónica de la Agenda Estadística del Distrito Federal 2000. (http://www.df.gob.mx/agenda2000/ecología/8\_4.html).

Cuadro 2
Distribución de la población del Distrito Federal por delegaciones 1970-2000

Miguel Hidalgo	605,560	501,334	406,868	364,398	352,640
Cuauhtémoc	923,182	734,277	595,960	540,382	516,255
Benito Juárez	576,475	480,741	407,811	369,956	360,478
Xochimilco	116,493	197,819	271,151	332,314	369,787
Tlalpan	130,719	328,800	484,866	552,516	581,781
Tláhuac	62,419	133,589	206,700	255,891	302,790
Álvaro Obregón	456,709	570,384	642,753	676,930	687,020
Milpa Alta	33,694	47,417	63,654	81,102	96,773
Magdalena Contreras	75,429	159,564	195,041	211,898	222,050
Iztapalapa	522,095	1,149,411	1,490,499	1,696,609	1,773,343
Iztacalco	477,331	523,971	448,322	418,982	411,321
Gustavo A. Madero	1,234,376	1,384,431	1,268,068	1,256,913	1,235,542
Cuajimalpa	36,200	84,665	119,669	136,873	151,222
Coyoacán	339,446	541,328	640,066	653,489	640,423
Azcapotzalco	534,554	557,427	474,688	455,131	441,008
DELEGACIÓN	1970	1980	1990	1995	2000

Fuente: INEGI. Estadísticas Históricas de México, XI Censo General de Población y Vivienda 1990, Conteo de Población y Vivienda 1995, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

servicios tales como la distribución de agua potable, alumbrado público, captación y desalojo de aguas residuales y pluviales, recolección de residuos sólidos y transportación de pasajeros entre otros, se encuentra, según este planteamiento, ante la disyuntiva de ampliar la red existente o elevar la calidad del servicio en cuestión. (Duhau, 1991) Cualquiera que fuese la situación, nos encontramos frente, tanto a procesos de planeación y diseño, como de operación y gestión de servicios públicos urbanos que requieren de una revisión integral de los métodos, instrumentos y recursos con los que han venido operando hasta la fecha.

Para analizar la problemática de los residuos sólidos urbanos, de tal forma que se integren los aspectos mencionados en el apartado anterior, resulta conveniente, además del estudio de las características propias de los servicios de limpia y recolección, tomar en cuenta un conjunto de condiciones generales que delimitan la problemática y que resultan centrales para la gestión de este servicio. Estas condiciones tienen que ver con

a) la organización del espacio urbano;
b) el grado y tipo de desarrollo económicos;
c) el sistema político;
d) la organización de los aparatos estatales y la distribución de competencias;
e) las características del medio físico, y f) el sistema de actores.<sup>4</sup>

No pretendemos hacer aquí un análisis de estas dimensiones del servicio de limpia y recolección de residuos sólidos urbanos que opera en la ciudad de México, simplemente nos interesa destacar, de esta propuesta metodológica, algunas de las manifestaciones territoriales que consideramos pueden ser abordadas mediante la implementación de dispositivos geoinformáticos.

De estas seis condiciones generales destacamos para los fines de este trabajo: la organización del espacio urbano y las características del medio físico. La primera nos remite al análisis espacial de la estructura urbana, mientras que la segunda está referida a las condiciones biogeográficas presentes en el medio urbano y su entorno.

El estudio de la organización física de los diversos espacios y elementos presentes en la estructura urbana y que se distinguen entre sí por el tipo de actividad que soportan y su vinculación con el entorno, debe contemplar la caracterización y localización de dichos espacios y elementos físicos que se encuentran estrechamente relacionados con procesos tales como la expansión urbana, el cambio de usos del suelo, la densificación, la especialización y concentración de actividades, la accesibilidad y la segregación socioespacial, por citar algunos. En este sentido, para poder comprender la organización espacial de la estructura urbana de la ciudad de México como condición general del servicio de limpia y recolección de residuos sólidos, habrán de contemplarse procedimientos que permitan:

- 1.Definir las delimitaciones político administrativas y las unidades geográficas básicas: límites jurisdiccionales de las delegaciones (demarcaciones territoriales), municipios y estados; áreas geoestadísticas básicas, unidades territoriales, colonias.
- Distinguir amplias zonas de la ciudad a partir del uso del suelo dominante: habitacional, industrial, comercial y de servicios.
- Localizar los diferentes equipamientos urbanos que dan servicio a la ciudad: escuelas, hospitales, áreas verdes, centros recreativos, centrales de abasto, museos, etcétera.
- Ubicar las áreas de concentración de actividad: centros y corredores comerciales y de servicios y parques industriales.
- Delinear las vías de comunicación: vialidades primarias y de acceso controlado; carreteras y autopistas; líneas ferroviarias, del metro y tren ligero, así como las rutas del transporte colectivo de superficie.

Cada uno de estos sistemas estructurales de la ciudad mantienen una estrecha relación con la generación y composición de los RSU. Ya hemos destacado aquí lo significativo que son los límites jurisdiccionales y la problemática que se desprende de la poca importancia que se le ha dado a tan *obvia* cuestión. Solamente nos resta reiterar la importancia de contar con información referida a unidades espaciales cada vez más pequeñas con lo que se está en posibilidad de

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Este planteamiento ha sido retomado de la propuesta m todológica de Emilio Duhau (1991) para el análisis de la prestación de servicios públicos urbanos.

34

construir diagnósticos, pronósticos y escenarios más detallados que contribuyan a la generación de programas y políticas urbanas.

Posiblemente el conjunto de elementos de la estructura urbana más claramente asociado a los residuos sólidos es el de los usos del suelo como lo constataran en su momento Tchobanoglous, Theisen y Vigil:

Los orígenes de los residuos sólidos en una comunidad están, en general, relacionados con el uso del suelo y su localización. Aunque pueden desarrollarse un número variable de clasificaciones sobre los orígenes, las siguientes categorías son útiles: 1) doméstico, 2) comercial, 3) institucional, 4) construcción y demolición, 5) servicios municipales, 6) zonas de plantas de tratamiento, 7) industrias, y 8) agrícola. (Tchobanoglous *et al*, 1994: 46)

En este sentido es clara la correspondencia entre la clasificación de las actividades socioeconómicas, políticas y culturales reguladas por la administración urbana a través de los usos del suelo, y la definición de las fuentes generadoras de residuos sólidos.

Así, la clasificación de la DGSU de la Secretaría de Obras y Servicios capitalina, agrupa en cinco sectores y diez y nueve subsectores las principales fuentes generadoras de RSU. Por su parte, la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal determina en el artículo 32, para el suelo urbano, siete usos del suelo: a) habitacional, b) comercial, c) servicios, d) industrial, e) equipamiento e infraestructura, f) espacios abiertos y g) áreas verdes, parques y jardines.5 En este caso los residuos domiciliarios unifamiliares y plurifamiliares corresponden al uso del suelo habitacional;6 los residuos comerciales a su respectivo uso del suelo; por su parte las fuentes generadoras de RSU derivados de la prestación de servicios así como algunos subsectores de las fuentes especiales tienen correlato tanto con el uso del suelo servicios como con el de equipamiento e infraestructura.

Ampliando esta misma idea encontramos que la composición de los residuos tiene correspondencia directa con las materias primas, los bienes y servicios que se producen y consumen en los distintos inmuebles que se localizan en la ciudad y no solamente con las grandes áreas de usos del suelo permitidos. En este sentido, el Sistema Normativo de Equipamiento Urbano estructurado a partir de doce subsistemas que agrupan a los equipamientos con similares características físicas, funcionales y de servicios: 1) educación, 2) cultura, 3) salud, 4) asistencia social, 5) comercio, 6) abasto, 7) comunicaciones, 8) transporte, 9) recreación, 10) deporte, 11) administración pública y 12) servicios urbanos (SEDESOL, 1995), permite distinguir de manera más precisa las diferencias en la composición y cantidad de residuos sólidos generados en cada uno de los equipamientos y subsistemas, además de dar una mayor

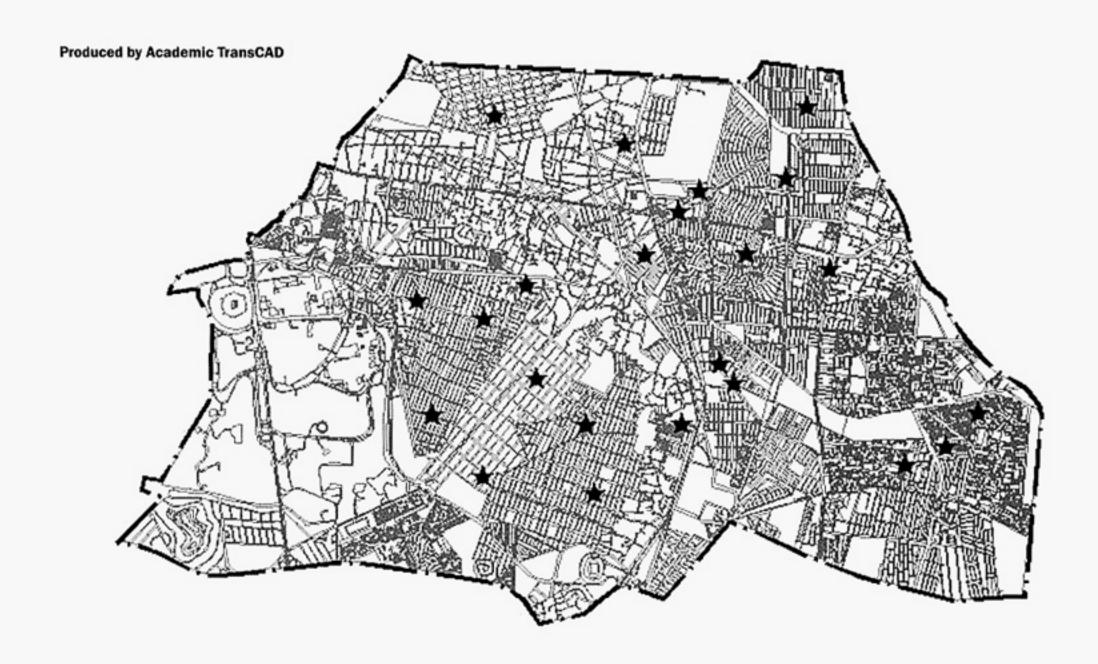
CUADRO 3
FUENTES GENERADORAS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DF

SECTOR	SUBSECTOR		
Domiciliarios	Unifamiliares, Plurifamiliares		
Comerciales	Establecimientos Comerciales		
	Mercados		
Servicios	Restaurantes y Bares		
	Centros de Espectáculos y Recreación		
	Servicios Públicos		
	Hoteles		
	Oficinas Públicas		
	Centros Educativos		
Especiales	Unidades Médicas		
	Laboratorios		
	Veterinarios		
	Terminales Terrestres		
	Aeropuerto		
	Vialidades		
	Centros de Readaptación Social		
Otros	Áreas Verdes		
	Objetos Voluminosos		
	Materiales de Construcción y Reparaciones Menores		

Fuente: Agencia de Cooperación Internacional del Japón (ACIJ) Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México los Estados Unidos Mexicanos. Informe final, volumen I (S), resumen ejecutivo. Kokusai Kogyo Co., Ltd, México, 1999.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Para el caso del suelo de conservación se distingue, en áreas de rescate ecológico: los usos del suelo habitacional, servicios, turístico, recreación, forestal y equipamiento e infraestructura; en áreas de preservación ecológica: piscícola, forestal y equipamiento rural e infraestructura y finalmente en áreas de producción rural y agroindustrial: agrícola, pecuaria, piscícola, turística, forestal, agroindustrial y equipamiento e infraestructura (ALDF, 1998).

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Resulta más claro hablar de residuos habitacionales que de domiciliarios, ya que la primera da cuenta de los residuos que se generan en la acción de habitar una vivienda de cualquier tipo, mientras que la segunda remite a una dirección (domicilio) que puede corresponder tanto a una vivienda como a un comercio, una oficina, industria, etcétera, ya que todas ellas generan residuos en sus respectivos domicilios.



especificidad al considerar la localización y tamaño de dichos equipamientos.

En lo que respecta a la identificación de las áreas de concentración de actividad, tenemos que esto permite establecer criterios especiales para el diseño de rutas de recolección en función de que se tiene una generación de residuos más o menos homogénea y constante que se diferencia claramente del contexto urbano en que se encuentran inmersas.

Finalmente, las vías de comunicación suelen ser espacios que acumulan muy variados tipos de residuos sólidos que la población residente y flotante arroja a camellones, aceras, jardineras o arroyo vial, ya sea por falta de información de la situación ambiental o deficiencias en la colocación del mobiliario urbano destinado para tal fin. Además de ser un espacio más de generación de RSU, las vías de comunicación de la ciudad son importantes para el establecimiento de rutas e itinerarios de recolección, para la definición de recorridos de transportación de los residuos una vez que han sido transferidos a unidades de mayor capacidad para su transportación a las plantas de selección o sitios de confinación.

El análisis espacial de la organización de estos elementos constituyentes de la estructura urbana requiere de alguna representación de sus características y atributos en un modelo bidimensional que permita conocer las relaciones que se establecen entre ellos con un elevado grado de exactitud en términos de su localización geográfica, sus dimensiones físicas, la distancia, el volumen e intensidad de flujos, las magnitudes de actividad soportadas, etcétera Ciertamente, la representación por excelencia de un territorio y de sus características ha sido el mapa, pero antes de abordar la cuestión de la relevancia de la representación cartográfica de la organización del espacio urbano como condición general que delimita la problemática de los RSU, habremos de reiterar lo importante que es el conocer la otra condición sustancial: las características del medio físico.

Resulta innegable que las características medioambientales de la ciudad debieran tener un papel central en la determinación de las formas en que operan los servicios públicos de limpia y recolección de residuos sólidos. Aspectos como la presencia de escurrimientos, cuerpos de agua, mantos

acuíferos, fracturas geológicas, topografía accidentada, etcétera, son condicionantes para la orientación que debe tener el manejo de los residuos urbanos. Las variaciones climáticas en términos de temperatura, precipitación pluvial y vientos, así como las especificidades de la flora y fauna existente son variables que cualquier política encaminada a mejorar las condiciones y la calidad de vida de la población debiera contemplar.

El conocer de manera precisa el comportamiento de estos elementos y los procesos biogeográficos que se desarrollan en la Cuenca del Valle de México es central y al respecto se han logrado importantes avances por parte de los expertos en ecología, geografía y biología. Nuevamente nos encontramos ante la necesidad de traducir las características del medio a un modelo tal que nos permita no solamente representar éstas, sino que, además nos permita integrar las características de los elementos de la estructura urbana así como los atributos de los servicios públicos de limpia y recolección de RSU. La cartografía como herramienta imprescindible para el desarrollo de las tareas de representación y análisis bidimensional de los objetos dispuestos sobre la Tierra, sus atributos y relaciones, puede encontrar, en su forma tradicional, ciertas limitantes ante la complejidad de estos procesos y el elevado número de variables a considerar. Es por estas razones es que se hace necesario el uso de nuevas tecnologías que permitan el manejo de estos importantes volúmenes de información geográfica y alfanumérica de manera precisa en lapsos de tiempo relativamente cortos.

# LA UTILIDAD Y PERTINENCIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La computación con una creciente influencia en la sociedad actual está produciendo importantes avances tecnológicos que han trasformado los métodos y técnicas de trabajo

Ricardo A. Pino Hidalgo

en amplios sectores de la actividad humana. En la geografía, como disciplina encargada del estudio de los fenómenos físicos y humanos que se producen en la Tierra, estos desarrollos tecnológicos encontraron un referente teórico metodológico que les dio sustento, así como un

mercado favorable para la implantación de una serie de aplicaciones informáticas. La geografía aplicada, enfocada a la solución de problemas concretos, fue el campo propicio para el desarrollo de nuevas tecnologías diseñadas para facilitar y precisar las tareas vinculadas con los aspectos cuantitativos de la investigación geográfica. De ello se desprende la generación de nuevos conceptos que dan cuenta de la aplicación de la informática en el estudio de los fenómenos espaciales. Así, en la actualidad podemos hablar de una tecnología geoinformática7 cuando hacemos referencia a todo tipo de aplicación computacional destinada a la gestión y manejo de datos geográficos . (Buzai y Durán, 1997: 13)

Los sistemas de información geográfica, sig, pueden ser definidos como sistemas capacitados para almacenar y manipular información geográfica mediante el uso de una computadora y de manera más específica son entendidos como una base de datos en la que todos los objetos cuentan con una localización geográfica precisa, junto con un software que realiza funciones de entrada, manipulación, análisis y salida. Además de la localización geográfica, la base de datos contiene atributos que sirven para distinguir

un objeto de otro e información sobre las relaciones que se establecen entre ellos (Gomes, 1998).

Es importante señalar que uno de los instrumentos por excelencia para la comprensión de la realidad espacial ha sido y sigue siendo el mapa, ya sea en su formato tradites, las fuentes de información, los niveles de análisis, etcétera. Es decir, el diseño e implementación de un sig va más allá de la simple adquisición de un determinado software y hardware. La definición del objetivo que se quiere cumplir con dicho sistema, el nivel de las unidades de análisis básicas y



cional o en su versión digital. Si tomamos como base el planteamiento de Echenique (1975) de que toda representación, entendida como la expresión de ciertas características relevantes de la realidad, es un modelo, y que el objetivo de cualquier modelo es el de proveer un cuadro simplificado e inteligible de la realidad con el fin de comprender-la mejor, podemos entonces plantear que un sistema de información geográfica es un modelo, un modelo computacional de la realidad espacial.

Un sig está compuesto al menos de cuatro elementos interrelacionados y dependientes entre sí: 1) hardware, 2) software, 3) bases de datos y 4) recursos humanos. La forma en que se disponen y relacionan responde al proceso de diseño, proceso en el cual habrán de definirse, entre otras cuestiones, los alcances del sistema, las características de cada uno de los cuatro componenel tipo de información que contendrán sus bases de datos, son los primeros factores a considerar en dicho proceso.

En este sentido, la problemática de la generación y manejo de residuos sólidos urbanos y que consideramos pertinente abordar con la implementación de sistemas computacionales que permitan desplegar y analizar una serie de datos geográficos o con referencia territorial, debe contemplar, además de los elementos de la estructura urbana y del medio físico, como condiciones generales del problema y que abordamos en el apartado anterior, un conjunto de datos correspondientes a la localización y las características del equipo, la infraestructura y el equipamiento con el que se presta el servicio; así como una serie de datos alfanuméricos correspondientes a la cantidad de residuos sólidos generados, recolectados, trasportados y confinados en los sitios de disposición final.

Las posibilidades que se abren con la implementación de un sistema de información geográfica con estas características, permitirían abordar los dos principales momentos del fenómeno: la generación y el manejo. Es factible, determinar por ejemplo, diagnósticos más precisos simplemente

de bases de datos, los programas de análisis estadístico y el diseño asistido por computadora (c/o en inglés), en las labores de captura, procesamiento, almacenaje, cálculo, despliegue y análisis de datos geográficos o con referencia territorial.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Los sistemas de posicionamiento global o ces por sus siglas en inglés, la cartografía automatizada, el procesamiento digital de imágenes, el modelado numérico de terreno y los sistemas de información geográfica conforman el universo específico de la geoinformática que viene a complementar a los editores de texto, las hojas de cálculo, los administradores

con la desagregación de la información a nivel delegacional. Partiendo de la distribución geográfica de la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectados en el D.F., desagregada en las dieciséis demarcaciones territoriales, podemos establecer que la representación geográfica de los datos correspondientes a 1996, nos permite observar una mayor concentración de residuos en las delegaciones centrales y del norte del D.F., mientras que en las demarcaciones del sureste y oeste se alcanzaron los niveles más bajos de recolección como se puede apreciar en el mapa 2.

Para el caso del manejo, las posibilidades que se abren con la implementación de un sig tienen que ver al menos con:

- Delimitación de sectores del servicio de recolección y asignación de equipo y personal en función de la generación de RSU y de las capacidades, respectivamente.
- Diseño de rutas e itinerarios de recolección considerando los usos del suelo y las

características viales; así como la capacidad y número de vehículos recolectores.

- Diseño de rutas e itinerarios de barrido manual y mecánico, partiendo de las características distintivas de las vías de comunicación terrestre (flujo vehicular, horas pico, longitud, ancho del arroyo, etcétera) y de los recursos materiales y humanos disponibles (número de barredoras mecánicas y de barrenderos por ejemplo).
- Establecimiento de corredores de recolección especializada para establecimientos comerciales, educativos, hospitalarios, centros recreativos, restaurantes, etcétera.
- Localización de estaciones de transferencia, plantas de separación, incineradores y rellenos sanitarios considerando determi-

nantes ambientales como las características geológicas del suelo, la presencia de aguas superficial y subterránea, la dirección de los vientos, la ve-

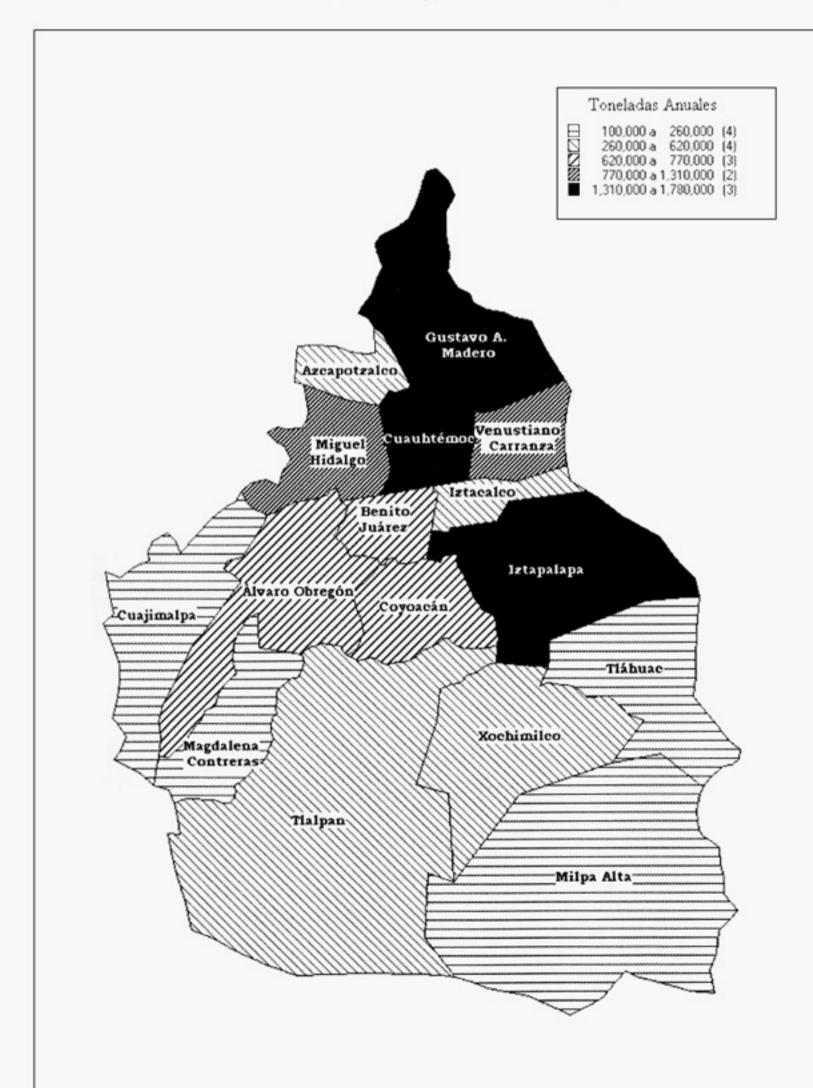
37

getación y fauna nativa por citar algunos. Generar respuestas concretas en este sentido, requie-

re de la implementación de un siG que contemple la generación de información de alta confiabilidad, la capacitación de los recursos humanos, y la adquisición de equipo computacional y de software. El primer punto inicialmente puede satisfacerse con la adquisición de una serie de datos alfanuméricos y cartográficos que se encuentran disponibles en el mercado y que son elaborados y distribuidos principalmente por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI), y posteriormente, habría de implementarse un programa específico que tenga como fin el generar y sistematizar la información específica del sector. El contar con personal técnica y profesionalmente preparado es un requisito indispensable y que las instituciones educativas a nivel superior están cubriendo de alguna manera. El tercer punto referente a la tecnología y que contempla tanto al hardware como al software

requiere mayor atención. Dado que la oferta de equipos de cómputo es amplia y cada vez se presentan modelos más avanzados en términos de memoria, capacidad de almacenamiento, resolución de imagen, etcétera, se considera que la adquisición de hardware debe responder a la necesidad de la velocidad de procesamiento en primera instancia y posteriormente a la capacidad de almacenamiento.

MAPA 2 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO FEDERAL POR DELEGACIÓN EN 1996 (TONELADAS ANUALES)



Parte central es la cuestión del software ya que el mercado se encuentra saturado de productos sig y no resulta fácil poder discernir cuál es la mejor opción. Sin embargo, si tomamos en cuenta los cuatro principales subsistemas que componen un sistema computacional para el manejo de datos espaciales: 1) almacenamiento y organización de datos espaciales gráficos, 2) almacenamiento y organización de datos espaciales alfanuméricos, 3) tratamiento de datos y 4) reporte de resultados. (Buzai y Durán, 1997); podemos plantear que una evaluación de los diferentes productos sigpasa por la identificación de las necesidades del proyecto y la ubicación de estos subsistemas en cada uno de los software. Los subsistemas 1 y 2 pueden ser sustitui-

> dos por otros componentes externos al software sig (por ejemplo AutoCAD y Excel) que pueden 38 llegar a ser, incluso, más accesibles y eficientes en algunos casos8.

Ricardo A. Pino Hidalgo Retomando los planteamientos de Buzai y Durán (1997), la capacidad de un software sig no está en función del número de subsistemas incluidos, por el contrario, ésta es determinada por el potencial mismo del subsistema de tratamiento de datos, por lo que habrán de considerarse cinco funciones básicas que puede desarrollar el que se conoce como subsistema central de tratamiento de datos:

1) Análisis geográfico, que es la correlación y cálculos realizados con información asociada a entidades gráficas; 2) Procesamiento digital de imágenes, es decir, el procedimiento por el cual se da tratamiento a la información gráfica proveniente de censores remotos o de un scanner; 3) Modelado de redes, entendido como la capacidad para utilizar bases de datos asociadas a líneas en forma de red y con tratamiento estadístico; 4) Producción cartográfica, que es la capacidad para construir mapas de manera digital; y 5) Modelado numérico del terreno o representación tridimensional del espacio geográfico y cálculos relacionados.

Para los fines que aquí se han planteado habría de optarse por un software que realice de manera destacada las funciones de análisis geográfico, modelado de redes y procesamiento digital de imágenes. La primera nos permite establecer relaciones espaciales entre distintos elementos dispuestos en el territorio y entre sus atributos, es decir, entre



los valores alfanuméricos que están asociados a cada entidad geográfica. La representación gráfica de los objetos que se encuentran dispuestos sobre la tierra se da a través del uso de puntos, líneas y polígonos que tienen una localización precisa en la Tierra, es decir, que tienen una referencia geográfica (georeferenciación). A su vez todos los datos, estadísticos por ejemplo, que tienen que ver con esas representaciones puntuales, lineales y de área deben tener un vínculo con sus representaciones gráficas para entonces poder establecer correlaciones matemáticas y espaciales entre los elementos de la estructura urbana, del medio físico y los propios del sector de RSU.

En lo que concierne a la función de procesamiento digital de imágenes, podemos encontrar un uso específico a la hora de establecer las características del medio natural y construido. Las imágenes procedentes de la percepción remota como la fotografía aérea (ortofotos, foto mosaicos y pares estereoscópicos) en escalas 1:50,000, 1:20,000 y 1:10,000, pueden utilizarse para recuperar los rasgos físicos de la ZMVM con una elevada precisión. La calidad de la información contenida en la imagen y la escala son dos características que hacen que esta fuente sea más confiable que otras, lo que obedece a la frecuencia con que se realizan los vuelos, propiciando una mayor actualización. La recupe-

ración de la información contenida en estas imágenes, al igual que las de satélite (LANDSAT, SPOT), requieren de un software SIG que cuente con módulos de procesamiento digital de imágenes como es el caso de Idrisi, Ilwis, OSU MAP o Arc Info, por ejemplo.

Finalmente, la recolección de residuos sólidos urbanos es un servicio público que puede ser analizado y representado mediante el modelado de redes. Este último está basado en lo que se conoce como análisis de redes, es decir, el estudio de los fenómenos que se comportan como fluidos que tiene cierta movilidad o producen intercambios que pueden ser conducidos a través de vías o ductos como las aguas potable y pluvial, la electricidad, el gas, etcétera, y ampliando la definición podemos incluir la transportación de bienes y personas. La trayectoria recorrida por un camión recolector desde que sale de su base por la mañana hasta que regresa a ella en la noche, pasando por todos los puntos intermedios donde se detiene el vehículo para recolectar y transferir los RSU, puede ser representada por una secuencia de segmentos de línea unidos por nodos que representan a su vez los puntos de recolección y de transferencia. De la misma manera se puede representar la transportación de los residuos desde las estaciones de transferencia hasta su confinamiento final en los rellenos sanitarios o a las plantas de separación. La totalidad de las trayectorias recorridas conforman un entramado o red.

Yue-Hong Chou lo plantea de esta manera:

El análisis espacial de rasgos lineales opera con dos tipos de problemas, la

Oabe recordar que Autocap es un software de diseño asistido. por computadora para la generación imágenes vectoriales, por lo cual resulta apropiado para la representación geográfica, es decir, puede fácilmente participar en la elaboración de cartografía

asistida por computadora. De igual manera exce. puede participar en el proceso de captura de datos y que posteriormente serían introducios en un ambiente SIG para su procesamiento y análisis.





estructura de conexión entre rasgos de línea y la movilidad en el sistema a través de líneas conectadas. Las líneas conectadas definen una red, el análisis correspondiente es llamado análisis de redes. En muchos casos, el análisis de redes opera con líneas físicas tales como calles, carreteras, autopistas, etcétera Las líneas virtuales frecuentemente no afectan la movilidad o la estructura de una red.<sup>9</sup> (Chou, 1996: 216)

Así, una red se compone de un número determinado de segmentos de línea que se interconectan. Cada segmento de línea está definido por un par de nodos (inicial y final), además puede tener puntos intermedios que perfeccionan la forma del segmento. La diferencia principal entre los nodos y estos vértices radica en que los primeros conllevan información acerca de las relaciones topológicas en la red, mientras que los vértices simplemente existen para delinear el segmento. Las relaciones topológicas, es decir, las relaciones espaciales existentes entre los objetos, y definidas por los nodos, determinan la conectividad de una red. Pocas son las alternativas de software que permiten realizar las funciones anteriores de manera concisa, aunque son varios los productos sig que incluyen algún módulo de modelación de redes, tal es el caso de Geographics, ArcInfo, Arc View y TransCAD.

Con lo anterior queremos destacar la importancia que pueden cobrar los sistemas de información geográfica, entendidos como una herramienta que posibilita la integración de un conjunto de indicadores y variables socioeconómicas y ambientales que intervienen en la gestión de los residuos sólidos urbanos, 10 desde una perspectiva que privilegia lo territorial como soporte de la actividad humana desarrollada en la ciudad.

La normatividad y los planes y programas de gobierno así como la participación social son otros factores de gran importancia para la gestión de servicios públicos y la elaboración de políticas ambientales; sin embargo, consideramos que ambas deben estar soportadas en un sistema de información confiable y actualizado que refleje la dinámica que presentan la generación y el manejo de los residuos sólidos urbanos.

# BIBLIOGRAFÍA

CIJ. AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN (1999), Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la ciudad de México los Estados Unidos Mexicanos, Informe final, volumen I (S), resumen ejecutivo (versión electrónica), Kokusai Kogyo Co., Ltd, México.

ALD.F. (1998), Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ALD.F. I Legislatura, México.

ANTENUCCI, John y otros (1991), Geographic information systems, A guide to the technology,

Van Nostrand Reinhold, Estados Unidos.

AERNACHE Pérez, Gerardo (1998), "Basura y metrópoli", Gestión social y pública de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana de Guadalajara, U. de G./CIESAS/ITESO/El COLEGIO DE JALISCO, México.

BUSAI, Gustavo y Diana Durán (1997), Enseñar e investigar con sistemas de información geográfica (SIG), Argentina, Troquel.

CALIPER CORPORATION (1999), TransCSD transportation GIS software, Caliper Corporation, USA.

COMAS, DAVID Y Ernest Ruiz (1997), Fundamentos de los sistemas de información geográfica, Editorial Ariel Geografía, España.

CHOU, Yue-Hong (1994), Exploring spatial analysis in geographic information systems, On Word Press, USA.

DUHAU, Emilio (1991), "Gestión de los servicios urbanos en México: alternativas y tendencias" en Schteingart, Martha y Luciano d' Andrea, Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente. Colmex, México.

ECHENIQUE, Marcial (1975), "El concepto de sistemas, modelos y teorías en los estudios urbanos", en Marcial Echenique (comp.) Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: aplicaciones en América Latina, Argentina Ediciones SIAP.

GOMES, María Luisa (1998), "La geografía y los Centro de Investigación Científica "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C., México.

MAPINFO CORPORATION (1996), MapInfo Professional. Reference Guide, MapInfo Corporation, Estados Unidos.

MONTGOMERY, Glenn y Harold SCHUCH (1993), GIS Data Conversion Handbook, GIS World Books, Estados Unidos.

OPS-OMS (1995), El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe, Organización Panamericana de la Salud, Orga-

39

nización Mundial de la Salud, Washington D.C.

PINO Hidalgo, Ricardo A. (2001), "Evaluación y selección de un software GIS: ¿Autocad Map, TransCAD, Idrisi, ...?" en Revista Espacio Diseño

RESTREPO, Iván (1991), Los demonios del consumo. Basura y contaminación, Centro de Ecodesarrollo, México.

Núm. 99, UAM-Xochimilco, México.

SEVERINI, Pamela (1995) La gestión de la basura en las grandes ciudades. Un análisis comparativo entre el Programa de Gestión Integrada de Montreal y el Programa Metropolitano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, UNAM/ CISAN, México.

SEDESOL (1995), Sistema Normativo de Equipamiento Urbano, SEDESOL, México.

TCHOBANOGLOUS, George (1994) Gestión integral de residuos sólidos, volumen I y II, Mc Graw Hill, España.

de tal consumo, la operación de los servicios de limpia y recolección de residuos, los sistemas de tratamiento de los residuos, la disposición final de los residuos, así como la participación social en programas de tratamiento (separación y aprovechamiento) y sus demandas respecto a proyectos de infraestructura para el manejo o disposición de los RSM" (Bernache et al, 1998: 17).

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Entre las líneas virtuales podemos incluir los límites jurídico administrativos, de colonias, ACEB o cualquier otra delimitación que no podemos percibir por sí misma.

La gestión de los residuos sólidos comprende un conjunto de factores como "la normatividad en la materia, los planes y programas de gobierno, el patrón de consumo de la sociedad y los montos de RSM [residuos sólidos municipales] que resultan