

Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.



De los satélites a la gestión de basura en las ciudades

Juan Antonio Araiza-Aguilar, Hugo Alejandro Nájera-Aguilar y Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández

Resumen: Las inundaciones, contaminación y crisis medioambiental en las ciudades, se deben en gran medida a un mal manejo de los residuos sólidos urbanos. Un problema para el que ya existen soluciones, como el uso de las tecnologías de información geográfica (TIG). Con estas herramientas es posible optimizar las rutas de recolección, seleccionar sitios de disposición final y monitorear el entorno con drones y sistemas de información espacial. Avanzar en su desarrollo es imperativo, pero requiere que gobierno, academia, sector privado y sociedad civil colaboren en favor de una gestión de residuos más tecnificada.

Palabras clave: Análisis espacial, residuos sólidos, teledetección, gestión ambiental, TIG.

Maayat'aan (maya): Ti' satelite'ob tak ba'ax ku beeta'al yéetel u sojolil noj kaajo'ob

Kóom ts'íibil meyaj: Le tecnologías de información geográfica (TIG) nu'ukulo'ob ti'al u yutsil meyajta'al ba'ax ku beeta'al yéetel u ts'u'uy sojolil noj kaajo'ob tu noj lu'umil México. Ku yáantik u kaxta'al bejo'ob seba'anoo'b ti'al u mola'al sojol, u yéeya'al kúuchilo'ob tu'ux kun ts'ook bisa'al puulbil yéetel u ch'ukta'al yéetel satelite'ob bix yanik baak'pach, drono'ob yéetel le k'aj óola'an sistemas de información espacial ku yáantik u k'aj óolta'al jejeláas kúuchilo'ob. U yúuchul meyaj yéetele' ku yáantik ma'u seen xu'upul taak'in, u yutsil meyajta'al noj kaaj yéetel u téeta'al ba'ax kun beetbil tumen ku yila'al ba'ax ma'alob. Ba'ale' tumen miña'an túumben daatos, taak'in yéetel máako'ob u yojéel u meyajto'obe' mun beeta'al. Ti'al u táakmukta'al u meyajil TIGe' k'a'abet u múul meyaj jala'acho'ob, ajka'ansajo'ob, múuch' mola'ayo'ob yéetel tuláakal kajnaáalilo'ob ti'al u ka'ansa'al ba'ax ku pu'ulul, tu'uxi' yéetel bixi' ti'al ma' k loobiltik yóok'ol kaab.

Áantaj t'aano'ob: Análisis espacial, ts'uuy sojol, teledetección, gestión ambiental, TIG.

Bats'i k'op (tsotsil): Ta stunesel satélite ta sk'elel stuk'ulanel xch'ayel k'a'epetik ta muk'ta lumetik

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Ti tecnologías de información geográfica (TIG) sbi ta kaxlan k'op, ja' sjam smelolaltak ab-telaletik ta slekubtasel sk'elel xchannel butik ta xich'an ch'ayel k'a'epetik ta muk'tikil lumetik ta Mejiko. Ja' ta xak' ta ilel butik lelik sbelal xchi'uk yavil ta xich'an jipel k'a'epetik xchi'uk stael ta ilel ta satélite xchi'uk ta dronetik k'u x-elan slekil me xchopolil ta spat xokon ti jipum k'a'epetike. Ti stunesel ya'yejalil ja' te yak'oj ta ojtitkinel stsulesbel stojolal ta spasel, xchannel lek spasel smuk'ibtasel lumetik k'alal me lek ojtitkinbil yosilalile. Ti k'usi no'oxe, ta skoj ti mu'yuk ach'ubtasbil ya'yejalil, mu'yuk ep stak'ininal xchi'uk ti mu boch'o lek sna' jech yabelanele ja' jech te mu xich'o tunesel. Stunesel batel ti TIG ta sk'an oyuk koltael bail yu'unik jtunel jvu'eletik, jchanubtasvanejetik, jnaklumetik xchi'uk boch'otik jk'ulejetike, yo' jech xlik lek spasel stunesel k'ucha'al mu xuts'inta osil banamil ti k'a'epetike.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: Stael ta ilel ta vinajel, k'a'epetike, ta nom sk'elel, stuk'ulanel osil banamil, TIG.



Sitio de disposición final que opera como tiradero a cielo abierto en el sureste mexicano. Foto: Juan Antonio Araiza Aguilar.

Las ciudades mexicanas enfrentan una crisis que apenas empieza a ser perceptible para la ciudadanía: cada día se generan más de 120 mil toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU). Esta cifra representa miles de camiones circulando por las calles, sitios para desechos en su límite operativo y una población conviviendo con la basura. Cada tonelada mal gestionada significa contaminación y riesgos sanitarios graves.

La magnitud del problema se refleja en los residuos acumulados en las calles, en los malos olores, la fauna nociva y los drenajes obstruidos. Además, la basura es un indicador de desigualdad urbana, y es urgente replantear su gestión. Este artículo describe cómo las tecnologías de información geográfica (TIG) pueden convertir un desafío en la oportunidad de construir ciudades más sustentables y eficientes.



Tecnologías de la información geográfica

En un estudio publicado en 2011, el especialista Laureano Zurita indica que el enfoque geoespacial permite entender la localización de los objetos en el espacio y sus relaciones; representar lugares; comprender conceptos como distancia, orientación o dirección, así como reconocer patrones espaciales para regionalizar un fenómeno natural o social. Es decir, que las TIG permiten ver lo que pasa inadvertido, y lo hacen combinando distintas fuentes de datos, recurriendo a métodos de análisis espacial y aplicando tres recursos principales:

- 1. Sistemas de posicionamiento satelital**, o constelaciones de satélites para localizar objetos en la superficie terrestre. Los usamos al encender el GPS del teléfono o en las aplicaciones de transporte. Ejemplos: GPS (Global Positioning System), Glonass (Global Navigation Satellite System), BDS (Beidou Navigation Satellite System) y Galileo.
- 2. Sistemas de información geográfica (SIG)**, que permiten capturar, analizar y representar datos de una ubicación específica integrando la información de censos, mapas o cámaras para la planificación urbana, gestión ambiental y toma de decisiones. Un SIG transforma datos en mapas inteligentes. Hay opciones de uso libre como Google Maps, QGis y GvSIG, y de pago como ArcGIS.
- 3. Teledetección**, técnica que obtiene información de la superficie terrestre mediante sensores en satélites, aviones o drones, con la cual se mide la temperatura, la humedad del suelo o las condiciones de la vegetación; es gran aliada del monitoreo ambiental.

En conjunto, estas tecnologías ofrecen una lectura del territorio. Observando, analizando y comprendiendo el espacio desde distintos ángulos, constituyen la base para enfrentar los retos urbanos y ambientales.

Geotecnologías y manejo de residuos sólidos

De acuerdo con su investigación de 1993, Tchobanoglous y sus colaboradores señalan que los RSU provienen de la actividad humana desarrollada en el ámbito doméstico, y en los espacios públicos, como parques, jardines y vialidades. Cuando estos residuos se manejan inadecuadamente contaminan las aguas superficiales y subterráneas, los suelos y la atmósfera; también provocan la muerte de flora y fauna, además de inundaciones, malos olores y riesgos para la salud. Todo ello proviene de una recolección deficiente de la basura y su inadecuada disposición final, de modo que se requieren soluciones prácticas.

Como los desechos deben recolectarse para su tratamiento o destino, las TIG tienen la capacidad de optimizar rutas de

transportación o incluso anticipar el consumo de combustible con datos como el peso de los camiones.

Otro reto es encontrar los lugares más apropiados para plantas de tratamiento o depósito. Usando las TIG y técnicas de análisis multicriterio es posible integrar información de pendientes, suelos, cuerpos de agua o áreas urbanas, de modo que al decidir la ubicación de un nuevo relleno sanitario, se superpone la información para determinar el sitio más idóneo. Así, las decisiones basadas en criterios científicos y espaciales resultan en una gestión territorial más inteligente y sostenible.

Otro aspecto aprovechable de las TIG es que se apoyan en imágenes satelitales para monitorear las condiciones físicas del terreno cercano a los sitios de disposición de residuos. Son imágenes térmicas e infrarrojas que permiten determinar variaciones de temperatura del suelo, estimar emisiones de gases de descomposición e incluso prevenir incendios. Tam-



Levantamiento de coordenadas en un sitio de disposición final, con un equipo que recepciona información espacial proveniente de satélites. Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.





Vehículo aéreo no tripulado, conocido como dron, usado para tomar fotografías de sitios de disposición de basura. La marca en el suelo indica el lugar de despegue. Todo dron se maneja con un control, que permite seguir la ruta de vuelo y capturar imágenes o videos. Fotos: Constantino Gutiérrez Palacios.

bién ayudan a cuantificar volúmenes de residuos y analizar operaciones, comparando imágenes de distintas fechas. Esta información es valiosa para las empresas de gestión de residuos y grupos de investigación, y para planificar la vida útil de los sitios o justificar celdas de confinamiento adicionales.

En años recientes, el uso de drones ha crecido notablemente. Son más accesibles, fáciles de manejar y cuentan con sensores precisos. Un dron puede volar en minutos sobre un basurero clandestino y registrar su extensión, algo que de otro modo llevaría días o semanas. Esto facilita la planificación, el seguimiento y la toma de decisiones; reduce riesgos para el personal cuando son lugares de difícil acceso o están en condiciones insalubres.

Finalmente, con las TIC es posible modelar la propagación de contaminantes en basureros, como los lixiviados (líquidos que se filtran de los residuos y contaminan suelos y agua) y el biogás (mezcla de gases producidos por la descomposición orgánica). Esto previene daños ambientales y sanitarios, una tarea que requiere combinar herramientas geoespaciales con modelos matemáticos.

Funcionalidad TIC	Aplicaciones en gestión de residuos
Representación / cartografía	Elaborar mapas de generación y cobertura de residuos.
Diseño / optimización	Planear rutas y cobertura del servicio de recolección.
Modelos de impacto / riesgo	Identificar zonas vulnerables o con mayor riesgo ambiental.
Ubicación de infraestructura	Seleccionar sitios adecuados para plantas de tratamiento o disposición

Desafíos y oportunidades

El uso de las TIC tiene su mayor problema en la disponibilidad de datos; la información espacial digital y actualizada es costosa y escasa. En México, esta información la producen el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y otras dependencias, pero no siempre resulta útil para el tratamiento de los RSU. La información más relevante, como la cobertura de recolección o la ubicación de los sitios para la disposición final, recae en los ayuntamientos, que rara vez la generan y aún menos la comparten. ¿De qué sirve una tecnología poderosa si no hay datos para alimentarla? Sin una base de datos confiable y accesible, su potencial se reduce. Si bien la participación del sector privado es poca, realmente podría fortalecer este aspecto, y las alianzas público-privadas serían muy útiles.

Otro desafío es que el uso eficaz de las TIC requiere de conocimientos en geografía, análisis espacial, programación y modelado de datos. Asimismo, la aplicación de estas herramientas se dificulta por sus costos y escasez de personal especializado.

Por otra parte, los productos generados con TIC deben reajustarse para mantener su utilidad. Esto se complica para grandes extensiones o territorios que se modifican por urbanización, cambios de uso del suelo o condiciones ambientales. En el caso de los RSU, la producción, cobertura de recolección y ubicación de sitios de disposición final cambian con rapidez, por lo que la actualización de las bases de datos necesita de una interacción constante entre distintos niveles de gobierno y otros actores.

Casos prácticos en México

La intersección entre las tecnologías de información geográfica y el manejo de residuos sólidos urbanos se ha consolidado como una línea de investigación en crecimiento en planifi-



cación ambiental, gestión urbana y sostenibilidad. Se puede concebir como un cruce temático que permite la toma de decisiones fundamentadas, además de contribuir a los sistemas de protección de salud pública y facilitar la mejora de los servicios municipales.

En varias regiones de México ya se están utilizando estas tecnologías. Por ejemplo, en 2019, en Ciudad de México, un grupo de investigación aplicó análisis espacial para poner a prueba las rutas actuales de recolección y transporte de los RSU. Con la información obtenida, se diseñaron rutas alternativas que ayudaron a reducir costos operativos y tiempos de traslado, y a disminuir las emisiones contaminantes por consumo de combustible.

En 2022, en la región de Sotavento, Veracruz, con las TIC se localizaron los antiguos sitios de disposición abandonados. Se identificó su extensión, se calcularon los volúmenes acumulados de residuos y se evaluaron los posibles impactos ambientales. Esto permitió establecer prioridades de clausura y mitigación ambiental. Por otra parte, durante 2024 en Oaxaca, se utilizaron imágenes satelitales y técnicas de análisis espacial para detectar tiraderos ilegales; se generó una base de datos que facilitó la planeación de operativos de limpieza y acciones de vigilancia ambiental.

Estos ejemplos comprueban que el uso de las TIC mejora la eficiencia de las rutas de recolección, localiza tiraderos a cielo abierto y controla los impactos ambientales, además de impulsar una visión territorial integral y participativa para la elaboración de políticas públicas ligadas a los RSU. Al final, todo se traduce en un espacio urbano más limpio, menos contaminado y con servicios públicos de calidad.

Diversas investigaciones coinciden en que la evolución de las TIC dependerá del avance de la tecnología informática y de la madurez en su uso y aplicación; en cuanto al manejo de los desechos, es indispensable el interés por parte de los tomadores de decisiones, junto con la colaboración entre gobiernos, empresas tecnológicas y consultorías, la academia y organizaciones internacionales.



En un tiradero se hicieron registros mediante un equipo que recibe información de satélites. Foto: Constantino Gutiérrez Palacios.

Recordemos que las TIC no son solo mapas digitales; son herramientas para imaginar y construir ciudades más habitables, sostenibles y equitativas. Ayudan a visualizar problemas, prever riesgos y planificar soluciones basadas en evidencia. Las ciudades que logren combinar innovación tecnológica, políticas públicas inclusivas y ciudadanía informada, estarán mejor preparadas para enfrentar los desafíos ambientales. Usar la tecnología para mejorar la vida urbana, preservar el entorno y fortalecer la corresponsabilidad entre quienes generan y gestionan residuos es un reto tecnológico, ético y colectivo. Apostar por las TIC significa un futuro más limpio, cohesionado y consciente del territorio que habitamos.

Bibliografía

Araiza, J., Cram, S., Ruiz, N., Oropeza, O. et al. (2021). What does ‘risk’ mean in municipal solid waste management? *Investigaciones Geográficas*, 1-20. <https://doi.org/10.14350/rg.60268>.

Tchobanoglou G., Theisen H., y Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue*. Nueva York: McGraw Hill.

Zurita, L. (2011). *La gestión del conocimiento territorial*. Madrid, España: RA-MA.

Juan Antonio Araiza-Aguilar es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas, Subsede Reforma (Reforma, Chiapas, México) | juan.araiza@unicach.mx | <https://orcid.org/0000-0002-3530-0674>

Hugo Alejandro Nájera-Aguilar es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciencias y Artes de Chiapas, Sede Tuxtla Gutiérrez (Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México) | hugo.najera@unicach.mx | <https://orcid.org/0000-0002-9337-8242>

Rubén Fernando Gutiérrez-Hernández es profesor investigador en el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tapachula, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica (Tapachula, Chiapas, México) | rgutierrez@ittapachula.edu.mx | <https://orcid.org/0000-0001-8642-9075>

