

**Revista Internacional de  
Contaminación Ambiental**

Revista Internacional de Contaminación Ambiental

ISSN: 0188-4999

claudio.amescua@atmosfera.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de México

México

AGUILAR VERA, Rodrigo Antonio; CRAM HEYDRICH, Silke; SÁNCHEZ SALAZAR, María Teresa; MURILLO LÓPEZ, Sandra Carmen; ARAIZA AGUILAR, Juan Antonio

**LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS  
EN EL ESTADO DE MÉXICO, UNA VISIÓN GEOGRÁFICA**

Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 35, núm. 3, 2019, -, pp. 693-704

Universidad Nacional Autónoma de México

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37066256015>

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

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

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

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

## LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ESTADO DE MÉXICO, UNA VISIÓN GEOGRÁFICA

Valorization of urban solid wastes in the State of Mexico – a geographical vision

Rodrigo Antonio AGUILAR VERA<sup>1\*</sup>, Silke CRAM HEYDRICH<sup>2</sup>, María Teresa SÁNCHEZ SALAZAR<sup>2</sup>,  
Sandra Carmen MURILLO LÓPEZ<sup>3</sup> y Juan Antonio ARAIZA AGUILAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Posgrado de Geografía, Departamento de Geografía Ambiental, Unidad de Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de Posgrados, Edificio “E” primer nivel, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México

<sup>2</sup> Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Económicas, Unidad de Investigación Social Aplicada y de Estudios de Opinión, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Mario de la Cueva s/n, Ciudad de la Investigación en Humanidades, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México

\*Autor para correspondencia: rodrigoantonioaguilarvera@gmail.com

*(Recibido enero 2018; aceptado octubre 2018)*

Palabras clave: geografía, conectividad, transporte, análisis espacial

### RESUMEN

Conocer y comprender la interrelación entre los actores involucrados en la recuperación y valorización de los residuos sólidos urbanos, permite incrementar su aprovechamiento y reducir la cantidad de materiales que se destinan a disposición final, en muchos casos de manera inadecuada. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica que, por medio de conceptos básicos de análisis espacial como localización, distribución y vinculación, permite describir la relación funcional entre centros de acopios informales de materiales recuperados de los residuos, y las empresas de tratamiento y valorización, en el Estado de México. La propuesta considera una estructura general para las cédulas de encuesta que permite levantar la información origen-destino de los materiales, la creación y validación de una base de datos geoespacial, así como la propuesta de un indicador de conectividad origen-destino de los materiales valorizados, con base en el tiempo de transporte, para evaluar la relación espacial entre los actores de la gestión de residuos evaluados. La metodología propuesta permitió obtener un mapa de conectividad entre los actores evaluados, donde se observa la ausencia de patrones que optimicen su interrelación, así como la incidencia de variables políticas y económicas que permitirían enriquecer el análisis.

Key words: geography, connectivity, transportation, spatial analysis

### ABSTRACT

The in-depth knowledge of the relationship between the various stakeholders involved in the recovery and valorization of urban solid wastes (USW) allows increasing their use rate, hence reducing the volume of materials disposed of in final landfills – often

improperly. This work reports a methodological approach that, through the application of basic spatial analysis concepts including location, distribution and links, describes the functional relationship between informal collection centers of materials recovered from USW and treatment/valorization companies, with the State of Mexico as case study. The methodology reported includes a general structure suggested for the drafting of questionnaire formats to gather information on source-destination of valorized materials, the construction and validation of a geo-spatial database, and proposes a source-destination connectivity indicator for valorized materials based on shipping time, to assess the spatial relationships between the stakeholders involved in solid waste management. The proposed methodology resulted in a connectivity map of the stakeholders considered, which reveals the absence of any spatial behavior patterns aiming to optimize this interrelation, and reveals the existence of political and economic variables that should be considered to broaden this analysis.

## INTRODUCCIÓN

El actual sistema de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) en México, utiliza de manera parcial una estructura informal para valorizar los materiales reciclables, cuya base se compone principalmente de “pepenadores”, quienes realizan las tareas de recuperación de materiales entre los RSU, para luego venderlos a intermediarios o directamente a los centros de acopio locales (Kokusai 1998, SEMARNAT 2012a, CMM 2015); el ejemplo más evidente ocurre en la Ciudad de México, donde el sector informal está constituido por alrededor de 25 a 30 mil pepenadores (Dos Santos y Wehenpohl 2001, Medina 2005). Un ejemplo de la dimensión del sector informal en el manejo de residuos, fue el desafío al que tuvo que hacerse frente en el cierre del relleno sanitario Bordo Poniente en el 2011, uno de los más grandes de la Ciudad de México, debido a la resistencia de aproximadamente 5000 pepenadores que vieron bloqueada su fuente de trabajo y con los cuales no se ha podido llegar a un arreglo de inclusión en los nuevos proyectos de aprovechamiento energético de los residuos sólidos (Marelló y Helwege 2018).

El papel que desempeña el sector informal y los centros de acopio locales en las tasas de valorización de RSU, es comparable con los sistemas modernos de países desarrollados, y contribuye de manera significativa al ahorro de costos de transporte y disposición final (Wilson et al. 2012).

Es importante recalcar que no parece factible una mejora en las condiciones de vida y laborales a mediano plazo para el sector informal, que es uno de los actores más relevantes en la cadena de valor de aprovechamiento de RSU (OIT-IPEC 2004, Cervantes y Palacios 2012). Es posible que dicho declive se deba al modelo de desarrollo neoliberal imperante, el cual impacta de forma directa en este tipo de actividades

informales, es decir, en el eslabón más sensible de la cadena de valor (OIT-IPEC 2004).

De acuerdo con Scheinberg y Simpson (2015), es importante conocer la interacción de los diversos actores involucrados en la generación de RSU y su manejo (sociedad, dependencias de gobierno, empresas privadas), debido al papel tan importante que desempeñan en la creación de mercados para materiales valorizados. Desde este punto de vista, el desarrollo de mercados locales puede incrementar la valorización de residuos a nivel regional, y a su vez repercutir en su manejo adecuado.

El Estado de México es una entidad importante en la que confluyen varios de los actores mencionados con anterioridad, además de mecanismos tanto incipientes como modernos de recuperación y reciclaje de materiales (SEMARNAT 2012b). En esta entidad se generan poco más del 14 % de los RSU a nivel nacional, lo que equivale a 14 383 t por día, aproximadamente. Si se considera la región centro de México, la cual incluye los estados de México, Puebla, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala, así como la Ciudad de México, el porcentaje se incrementa y alcanza 36.53 % de los RSU del país (SEMARNAT 2015, INEGI 2015). De acuerdo con datos generados por el Centro Mario Molina (CMM 2015), actualmente el Estado de México genera 7233 t sólo de residuos domiciliarios al día, lo que aunado a los residuos provenientes de otras fuentes (comerciales e industriales) producen más de 4.6 millones de t/año.

Se considera que el 21.2 % de los residuos generados en el Estado de México son valorizables (materiales con mercados ya consolidados) (CMM 2015), por lo cual es posible establecer que existe un gran potencial de aprovechamiento de los RSU con impacto directo en las dinámicas económicas y de desarrollo de la región. Sin embargo, es necesario comprender la complejidad propia del Estado

de México con relación a sus redes de transporte, concentración urbana, diversidad geográfica, social y política, y generación de RSU.

Una de las opciones metodológicas para analizar e intentar comprender la interacción entre los actores involucrados en el manejo y valorización de los RSU presentes en el Estado de México, es la geografía cuantitativa. Una de estas opciones es el análisis espacial, el cual permite considerar no sólo aspectos geométricos del espacio, sino también las interrelaciones de sus elementos (O'Sullivan y Unwin 2003, Serrano 2006, Linares 2011, Garrocho y Campos 2006). La propuesta metodológica que plantea el presente trabajo se basa en los conceptos fundamentales del análisis espacial, propuestos por Nyerges (1991) y Buzai (2010), entre los cuales destacan la localización, la distribución y la vinculación espacial, elementos de suma importancia para definir y comprender el espacio funcional. Una forma de representar un sistema o estructura organizacional es mediante grafos, los cuales facilitan la comprensión de la interrelación entre distintos elementos de estudio en el espacio mediante la utilización de nodos y arcos (Caballero 2008, Enríquez 2015). Si a los grafos se añade información geoespacial clave del territorio, el análisis de la estructura organizacional se enriquece, permitiendo una mejor comprensión de los fenómenos.

En este trabajo se presenta una propuesta metodológica que, mediante conceptos básicos de análisis espacial como localización, distribución y vinculación, permite describir la relación funcional entre los centros de acopios informales (AIN) de materiales recuperados de los RSU y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) en el Estado de México, México.

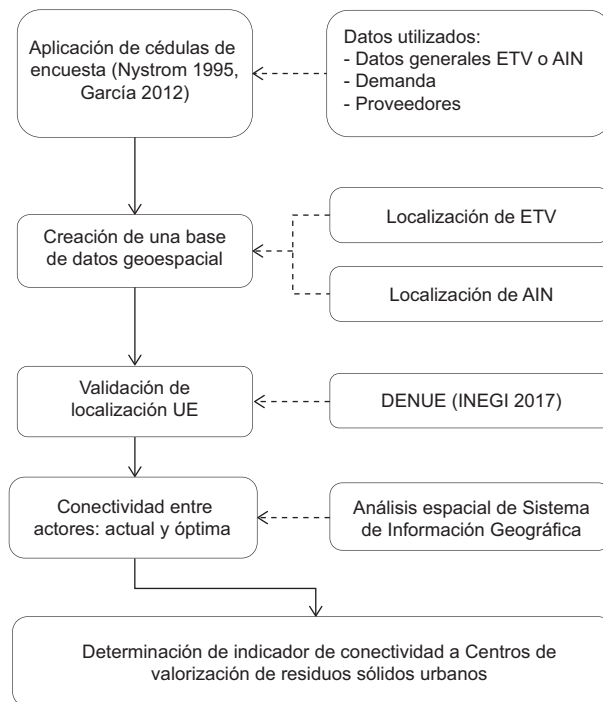
## MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI 2017), así como del “Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los RSU en el Estado de México” (CMM 2015), se presenta una propuesta metodológica basada en conceptos básicos del análisis espacial, los cuales describen la relación funcional entre los AIN y las ETV en el Estado de México.

El análisis se realiza con base en un indicador de conectividad, el cual permite conocer el tiempo óptimo de transporte entre el origen y el destino de los materiales. De igual manera, permite mapear la

interrelación entre los principales actores socioeconómicos y las unidades económicas (UE) relacionadas con el manejo y el aprovechamiento de los residuos. Una comprensión adecuada de este tema contribuye en la toma de decisiones acertadas en este sector.

La propuesta metodológica consta de cinco etapas, las cuales se muestran en la **figura 1**.



**Fig. 1.** Esquema general de la propuesta metodológica para el análisis de conectividad entre acopios informales (AIN) y empresas de tratamiento y valorización (ETV)

### Análisis de localización de ETV y AIN

Se ubicaron los AIN y las ETV, generando con ello una base de datos geoespacial. Para recabar dicha información, se visitaron los 125 municipios del Estado de México y los 81 sitios de disposición final (SDF) de RSU (CMM 2015). En estos últimos, donde se observaron actividades de recuperación y acopio de materiales reciclables, así como condiciones de seguridad, se entrevistó a los líderes de cada grupo de pepenadores y se aplicó la encuesta diseñada para este tipo de acopios (AIN). Asimismo, en los municipios donde se tuvo acceso a empresas de valorización y aprovechamiento de materiales reciclables, se aplicó la encuesta diseñada para este tipo de instalaciones (ETV).

Las cédulas de encuesta utilizadas en el CMM (2015) se realizaron con base en las propuestas de Nystrom (1995) y García (2012). Las cédulas consideran los cuatro aspectos fundamentales del diamante de Porter (1998), permitiendo establecer la interrelación entre empresas, flujo de materiales y condiciones que podrían potenciar su valorización. Las encuestas se dividen en cinco secciones:

1. Datos generales de la ETV o el AIN.
2. Demanda.
3. Proveedores.
4. Competencia.
5. Producción y soporte.

En el primer apartado de la encuesta, se reúnen datos generales de la empresa, asociación o acopio informal, como nombre del entrevistado, cargo, coordenadas de ubicación, materiales que valorizan y datos de contacto.

Respecto a la sección referente a la demanda, las preguntas están enfocadas a determinar la ubicación de los sitios de demanda de los materiales valorizados, así como la frecuencia y volumen de materiales que se movilizan en cada envío.

Porter (1998) plantea que la competitividad de un sector se sustenta en la disponibilidad de proveedores o industrias de soporte. Por lo anterior, en la sección de proveedores la información recabada busca establecer cuáles son los principales materiales valorizados y los precios de cada uno. Sin embargo, aunque se recabaron datos sobre los precios de compra y venta de cada material, se considera que éstos no son fiables, debido principalmente al secretismo con el cual se maneja dicha información como resultado de la competencia entre las UE analizadas.

Otro aspecto importante es la competencia. En esta sección de la encuesta los reactivos utilizados buscan establecer si la empresa o asociación conoce a sus competidores y cómo se evalúa a sí misma respecto a su eficiencia.

Finalmente, los aspectos de producción y soporte son básicos para el desarrollo de un emprendimiento. El objetivo de los reactivos en esta sección es conocer si se le da un valor agregado a los materiales recuperados y de qué tipo. Asimismo, se busca conocer los principales obstáculos que tienen las ETV o los AIN para su crecimiento, facilitando crear estrategias que benefician al sector.

Para la elaboración de este trabajo se utilizó información contenida en los apartados de “datos generales” (AIN o ETV), “demanda” para los AIN y “proveedores” para los ETV.

### **Construcción de una base de datos geoespacial**

Con los datos recabados en las encuestas, se construyó una base de datos geoespacial en formato shape (shp), que permite cruzar dicha información espacial con los datos oficiales entregados por el INEGI u otras instituciones públicas. La base de datos consta de 28 puntos para los AIN y 23 para las ETV. Respecto a los AIN encuestados, éstos representan el 34.56 % del total de sitios de disposición final en el estado.

### **Validación de las ETV y los AIN**

En esta tercera etapa, se comparó la localización de las ETV encuestadas en campo con la densidad de UE registradas en el DENUE con el fin de validar la información (INEGI 2017). La categoría utilizada en el DENUE para la realización del comparativo fue “Comercio al por mayor de materiales de desecho”, y las subcategorías fueron las identificadas con los códigos: “434311-Comercio al por mayor de desechos metálicos”, “434312-Comercio al por mayor de desechos de papel y cartón”, “434313-Comercio al por mayor de desechos de vidrio” y “434314-Comercio al por mayor de desechos de plástico”.

Para el caso de los AIN, los datos de ubicación, en coordenadas universales transversas de Mercator (UTM), se obtuvieron de la encuesta aplicada. En todos los casos, los acopios se ubicaban dentro del área de proyecto de cada sitio de disposición final.

### **Análisis de conectividad**

Con base en la información recabada en las encuestas levantadas en etapas anteriores, se definieron los destinos de los materiales comúnmente encontrados en AIN, como papel, cartón, plásticos (PET y HDPE), aluminio y vidrio. Tomando en cuenta estos cinco tipos de materiales, se construyó una tabla de frecuencia y se establecieron los principales destinos. En el apartado de resultados de este trabajo se presentan los seis destinos más frecuentes.

Una vez establecidos los orígenes y destinos de los materiales, se construyó un mapa de conectividad del Estado de México, con el objeto de tener un primer acercamiento a posibles patrones espaciales.

Finalmente, se buscó establecer un patrón de interacción espacial entre los AIN de origen y las ETV de destino. Para realizar este análisis se estableció un indicador de conectividad con base en el tiempo requerido para recorrer la distancia mínima entre el origen y el destino de los materiales.

Para la obtención del tiempo requerido en cada ruta, expresado en minutos (min), se utilizó como base la ecuación 1, donde la velocidad se expresa como:



$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

donde  $v$  es la velocidad,  $d$  la distancia y  $t$  el tiempo.

Despejando el tiempo se obtiene la ecuación 2, donde el tiempo se expresa como:

$$t = \frac{d}{v} \quad (2)$$

Con base en la Red de Nacional de Caminos del Instituto Mexicano del Transporte (IMT 2014), es posible obtener la velocidad óptima o máxima de tránsito, expresada en kilómetros por hora (km/h) para cada segmento de calle, camino o carretera, en el Estado de México. Asimismo, es posible obtener la longitud de cada segmento de vía de comunicación terrestre, expresada en metros (m). Mediante la utilización de la herramienta Network Analysis del Qgis (programa libre), se determinó la distancia más corta entre el origen (AIN) y el destino (ETV) actual. Determinada la ruta de cada origen-destino actual, se determinó el tiempo requerido para movilizar los materiales con base en la ecuación 3:

$$t = \frac{\sum_i^j d}{\sum_i^j v} \quad (3)$$

donde  $t$  es el indicador de conectividad a centros de valorización de RSU, expresado en minutos (min);  $d$  es la sumatoria de segmentos (de  $i$  a  $j$ ) de calles, caminos y carreteras, que describen la ruta de origen y destino, expresada en metros, y  $v$  es la sumatoria de velocidades óptimas (de los segmentos  $i$  a  $j$ ), expresados en metros por segundo (m/s).

Con el objeto de obtener un valor comparativo de análisis, y con base en la propuesta de Goto et al. (2005), se establecieron las rutas óptimas entre los AIN y las ETV más cercanas. Esto permite obtener un valor promedio óptimo para el indicador de conectividad, así como una regionalización de la relación entre instalaciones de valorización. Con base en los valores óptimos del indicador de conectividad, se construye una tabla de cinco rangos para el indicador propuesto, a partir de los percentiles de las rutas óptimas. El cuadro generado permite comparar los resultados entre los valores obtenidos en la relación actual y la relación óptima.

## RESULTADOS

### Análisis de encuestas y ubicación espacial de los AIN y las ETV

De acuerdo con la metodología propuesta, se establecieron los principales municipios de destino

para los materiales valorizados en los AIN. Para este caso, se utiliza la cabecera municipal como punto de destino de los materiales. Los datos de coordenadas para cada punto se obtuvieron del INEGI (2012).

Con base en las encuestas, se identificaron 16 destinos recurrentes para los materiales valorizados. En el **cuadro I** se presentan los seis destinos con mayor frecuencia.

**CUADRO I.** DESTINOS FRECUENTES PARA LOS MATERIALES VALORIZADOS EN LOS ACOPIOS INFORMALES

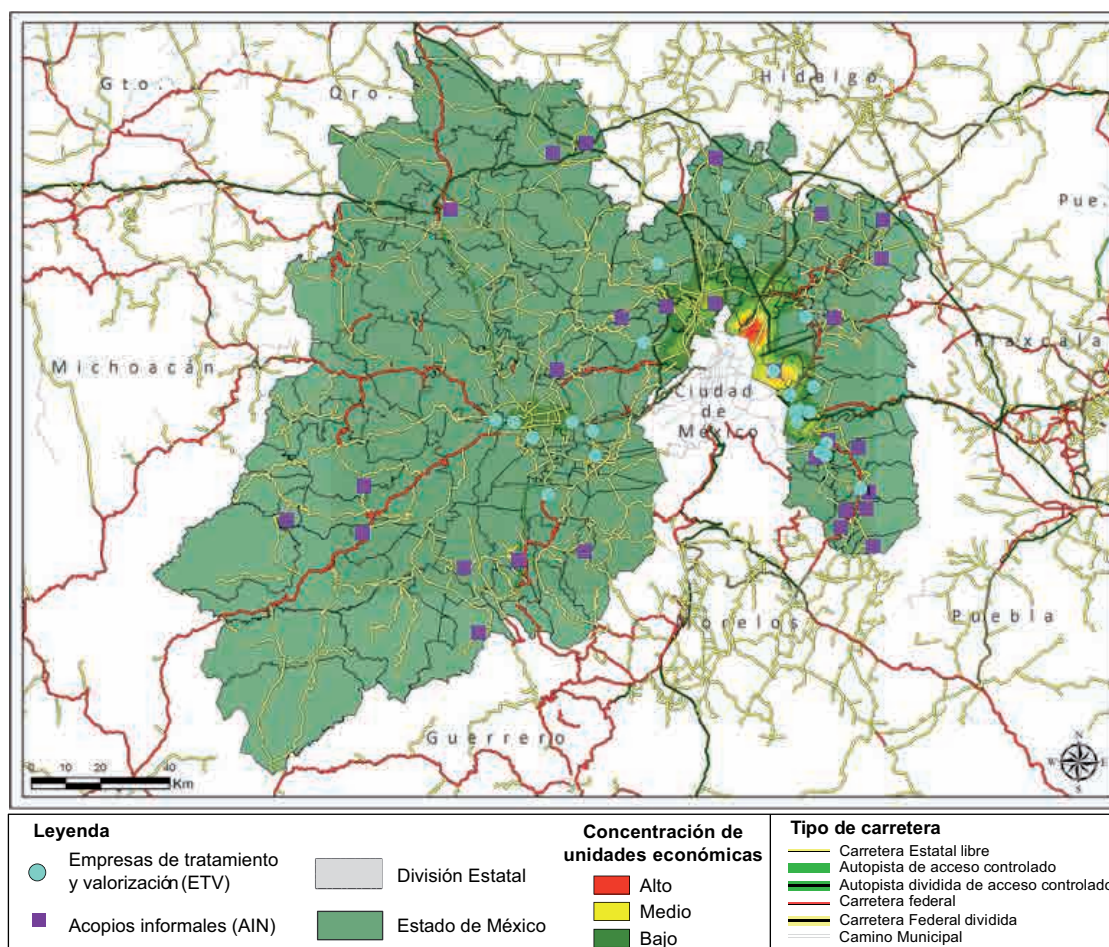
| Destino           | Frecuencia (%) |
|-------------------|----------------|
| Chalco            | 20.7           |
| Tenango del Valle | 12.6           |
| Toluca            | 11.9           |
| Tecámac           | 9.6            |
| Ecatepec          | 8.9            |
| Amecameca         | 8.1            |
| Total             | 71.9           |

Fuente: elaboración propia con datos del Centro Mario Molina (CMM 2015)

Las ETV que constituyen los destinos más frecuentes se ubican en los municipios de Chalco y Tenango del Valle, una al este y la otra al oeste del estado, respectivamente. En contraste, las ETV ubicadas en la capital del estado ocupan el tercer lugar como destino más frecuente. En conjunto, los seis destinos más frecuentes representan casi el 72 % del total de destinos más frecuentes a donde se envían los materiales valorizables de los RSU del Estado de México.

La **figura 2** muestra la distribución espacial de las instalaciones de valorización encuestadas, las cuales en este estudio fueron 28 AIN y 23 ETV. El mapa indica la concentración del total de UE registradas en el DENU, dedicadas al comercio al por mayor de materiales de desecho en todo el Estado de México.

Se puede observar en la **figura 2** que los 28 AIN encuestados están distribuidos de manera homogénea en el estado y son accesibles a través de autopistas, carreteras federales y, sobre todo, carreteras estatales libres. La falta de información en algunos AIN se debió a que: *a*) no se encontraron actividades de valorización en los SDF, *b*) se observaron actividades de valorización en los SDF, pero no se encontraron personas para aplicar las encuestas, *c*) no había disponibilidad de los pepenadores para ser



**Fig. 2.** Distribución espacial de los centros de acopio informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestados

encuestados, y *d*) por motivos de seguridad no se aplicaron las encuestas. Si bien en algunos sitios de disposición no se levantaron encuestas, se cuenta con la ubicación de todos los SDF del Estado de México y su categorización de acuerdo con la normatividad actual (SEMARNAT 2003).

Las encuestas dirigidas a las ETV estuvieron condicionadas por la disponibilidad de acceso a este tipo de UE en el municipio y la disposición de los dueños o encargados a responder la encuesta.

Tanto en los AIN como en las ETV, la información referida a los precios de compra y venta de materiales es sensible, ya que tanto las ganancias como el nicho de mercado y la cartera de clientes dependen de variaciones de centavos en el precio de compra, cuya unidad de medida es el peso por kilogramo de material. Por lo anterior, en la mayoría de los casos, dicha información se entrega de manera distorsionada o simplemente no se tiene acceso a ella.

En la **figura 2** se observa una relación de proximidad entre la concentración espacial de las UE reportadas por el DENUE y las ETV donde se aplicaron las encuestas. De las ETV encuestadas, 10 de 23 (40 %) se encuentran en la zona de media a alta concentración de UE reportadas por el DENUE (INEGI 2017).

Es posible que la ubicación de algunas ETV responda a dinámicas de una economía de supervivencia, a la cual se ven sometidos este tipo de comercios. Esto se pudo observar en las visitas a campo, donde algunas UE habían desaparecido o realizado cambio de actividad económica.

#### **Análisis de conectividad espacial entre AIN y ETV**

En la **figura 3** se muestra la relación actual y óptima entre las seis ETV del **cuadro II** (señaladas con un círculo) y los 16 AIN asociados a éstas (marcadas con un triángulo). La relación actual

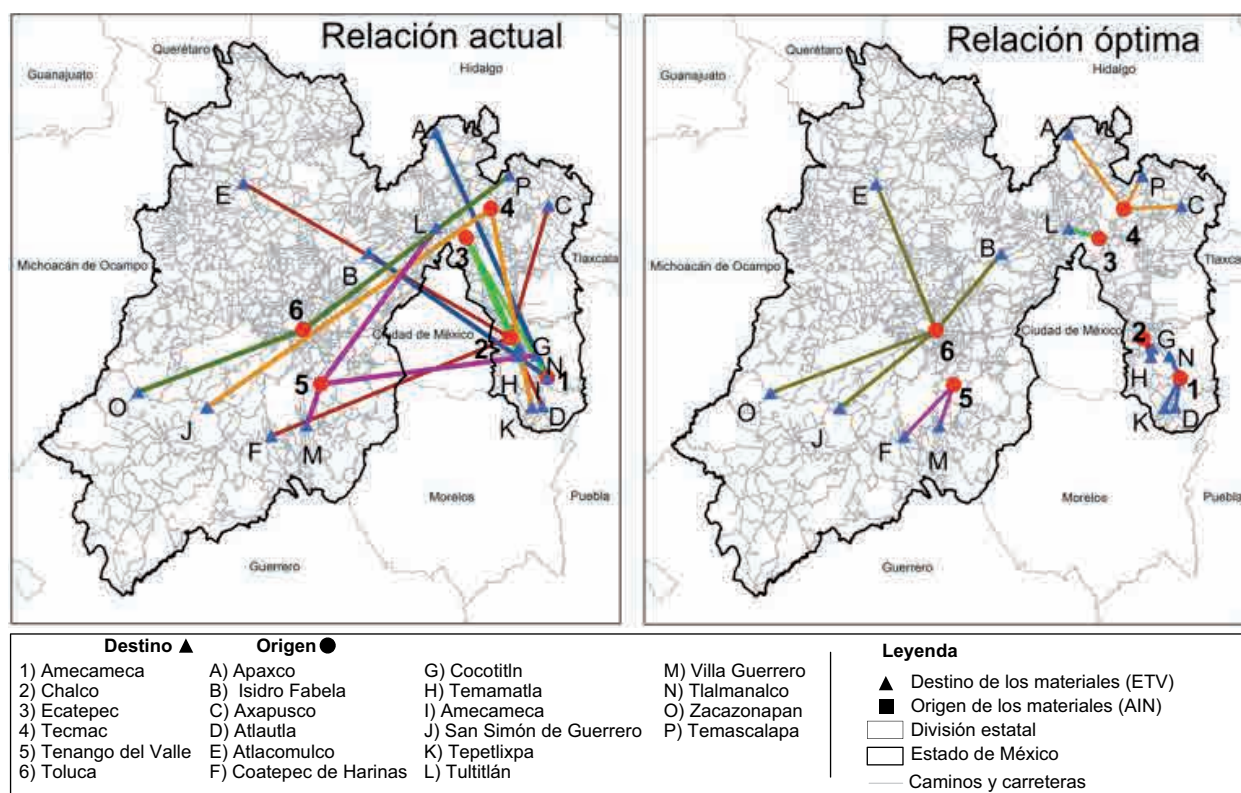


Fig. 3. Relación espacial, actual y óptima, entre los centros de acopio informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestados

entre AIN y ETV se analiza a partir de los resultados de la encuesta. Asimismo, la relación óptima se establece con base en la distancia mínima entre instalaciones origen-destino. Para dicho efecto, se determinaron 16 rutas, utilizando la herramienta Network Analysis de QGIS.

En la **figura 3** se observa que la relación actual entre los AIN y el destino frecuente no responde a un patrón común, y la distancia de las rutas entre el origen y el destino varían enormemente en algunos casos. Este comportamiento podría responder a variables no consideradas en los indicadores de conectividad, como precio, forma y tiempos de pago de los materiales, acuerdos políticos, incidencia de programas de reciclaje, entre otros.

Cabe mencionar que, en muchos casos, los modelos relacionales no se construyen para explicar la realidad sino para obtener estructuras óptimas de localización. Esto se debe a los procesos de simplificación, que dejan fuera variables que no pueden ser definidas en lo general (Bustos 1993).

En el **cuadro II** se resumen las distancias, la velocidad promedio de la ruta y el valor del indicador de conectividad  $t$ , expresado como tiempo de transporte,

entre los 16 puntos de origen y los seis puntos de destino, para la relación actual y la óptima.

En los resultados presentados en el **cuadro II** se pueden observar variaciones considerables en las distancias de transporte para la relación actual. Dicha relación genera rutas que van desde los 26.9 a los 167.9 km. Estas distancias inciden directamente en los precios de compra y venta de los subproductos, rubros en que los AIN se ubican en la posición más baja de la cadena de valor. Debido a lo anterior, son los AIN los que deben absorber los costos de transporte mediante variaciones de precios de los materiales recuperados.

Asimismo, el promedio del indicador de conectividad  $t$  para ambos escenarios varía de manera importante, siendo de 90 min para la relación actual y de 29 min para la relación óptima.

Con el objeto de obtener una escala de criterios de conectividad, se determinan los percentiles 20, 40, 60 y 80, así como los valores mínimos y máximos de los valores del indicador de conectividad  $t$  para la relación óptima. Obtenidos estos valores, se construye una tabla de cinco categorías para evaluar la relación actual entre AIN y ETV con los valores de la relación óptima (**Cuadro III**).



**CUADRO II.** ORIGEN-DESTINO, DISTANCIA, VELOCIDAD PROMEDIO Y VALOR DEL INDICADOR DE CONECTIVIDAD  $t$ , PARA LA RELACIÓN ACTUAL Y ÓPTIMA ENTRE AIN Y ETV

| Actual   |               |                            |           | Optimo  |               |                            |           |
|----------|---------------|----------------------------|-----------|---------|---------------|----------------------------|-----------|
| AIN-ETV  | Distancia (m) | Velocidad Promedio (m/min) | $t$ (min) | AIN-ETV | Distancia (m) | Velocidad Promedio (m/min) | $t$ (min) |
| A-1      | 117 002       | 1003                       | 120       | A-4     | 42 810        | 874                        | 51        |
| N-5      | 114 643       | 1085                       | 104       | N-1     | 10 297        | 1046                       | 10        |
| L-5      | 91 158        | 848                        | 104       | L-3     | 13 693        | 864                        | 16        |
| M-5      | 26 999        | 1068                       | 21        | M-5     | 26 941        | 414.5                      | 21        |
| O-6      | 106 386       | 1016                       | 81        | O-6     | 106 386       | 1016                       | 81        |
| E-2      | 150 481       | 1014                       | 152       | E-6     | 63 801        | 1121                       | 52        |
| D-2      | 35 205        | 1076                       | 32        | D-1     | 13 548        | 977                        | 14        |
| C-2      | 60 001        | 824                        | 64        | C-4     | 25 533        | 822                        | 29        |
| F-2      | 152 193       | 1053                       | 140       | F-5     | 52 509        | 1063                       | 42        |
| G-3      | 56 257        | 936                        | 58        | G-2     | 6 988         | 792                        | 8         |
| B-1      | 101 497       | 1041                       | 99        | B-6     | 45 911        | 975                        | 45        |
| J-4      | 167 922       | 1162                       | 140       | J-6     | 70 684        | 997                        | 57        |
| H-3      | 59 843        | 928                        | 61        | H-2     | 10 380        | 787                        | 11        |
| P-6      | 115 690       | 1206                       | 100       | P-4     | 17 805        | 1023                       | 16        |
| K-4      | 93 710        | 845                        | 100       | K-1     | 14 280        | 926                        | 16        |
| I-3      | 72 643        | 985                        | 71        | I-1     | 667           | 667                        | 1         |
| Máximo   | 167 922       | 1206                       | 152       |         | 106 386       | 1121                       | 81        |
| Promedio | 95 102        | 1006                       | 90        |         | 32 639        | 898                        | 29        |
| Mínimo   | 26 999        | 824                        | 21        |         | 667           | 415                        | 1         |

Fuente: elaboración propia con datos del Centro Mario Molina (CMM 2015)

AIN: centros de acopios informales, ETV: empresas de tratamiento y valorización

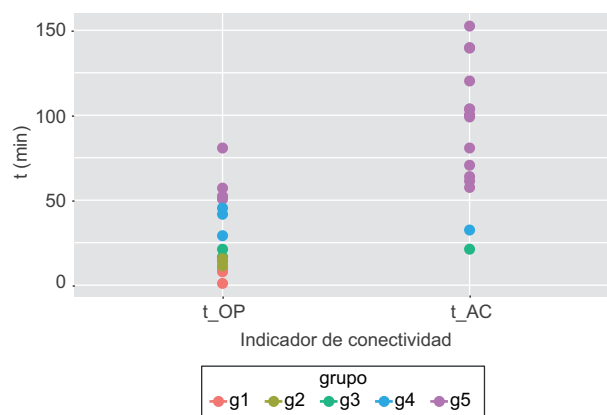
**CUADRO III.** RANGOS, CRITERIOS DE CONECTIVIDAD  $t$  Y FRECUENCIA DE DATOS PARA EL ESCENARIO ACTUAL Y EL ÓPTIMO

| Rango         | Criterio de conectividad | Frecuencia de datos (%) |            |
|---------------|--------------------------|-------------------------|------------|
|               |                          | $t$ actual              | $t$ óptimo |
| < 11.38       | Excelente                | 0                       | 25.00      |
| 11.38-16.23   | Bueno                    | 0                       | 25.00      |
| 16.24 -29.11  | Regular                  | 6.25                    | 12.50      |
| 29.12 - 50.57 | Insuficiente             | 6.25                    | 12.50      |
| > 50.57       | Deficiente               | 87.50                   | 25.00      |

Fuente: elaboración propia

Los rangos y criterios de conectividad de cada grupo (percentiles) utilizados en este análisis se presentan en el **cuadro III**, donde también se puede observar que el 87.50 % de las rutas actuales presenta un criterio de conectividad deficiente, con valores por encima de los 50.57 min de transporte. Sólo el 6.25 % de las rutas de la relación actual presenta un valor de conectividad regular y el otro 6.25 %, un valor insuficiente.

En la **figura 4** se observar la distribución de los datos del indicador de conectividad para la relación actual y la óptima entre los AIN y las ETV, dividido en cinco grupos.



**Fig. 4.** Distribución de los datos indicadores de conectividad  $t$ , para la relación actual ( $t_{AC}$ ) y la óptima ( $t_{OP}$ ), reunidos en cinco grupos

En la **figura 4** se puede observar que los valores para  $t$  en la relación óptima son más bajos que los valores para la relación actual, los cuales caen en su gran mayoría en el quinto grupo.

De acuerdo con el análisis realizado, el promedio del indicador  $t$  para la relación actual es tres veces mayor que el valor para la relación óptima, lo que, por un lado, demuestra que existen otras variables que inciden en la toma de decisiones al momento de elegir un destino para los materiales recuperados en los AIN y, por otro lado, plantea un potencial en el análisis regional del manejo y aprovechamiento de los RSU en el Estado de México.

## DISCUSIÓN

La propuesta metodológica permite una aproximación a la relación funcional de la infraestructura de valorización de residuos en el Estado de México, así como al origen-destino de los materiales, mediante la utilización de técnicas de análisis espacial basadas en un sistema de información geográfica.

Si bien el indicador de conectividad  $t$  a centros de valorización de residuos sólidos urbanos permite obtener un parámetro de análisis, es necesario contar con un escenario óptimo que facilite la evaluación de los resultados. De igual forma, el indicador propuesto sólo explica una parte de la relación funcional entre los actores, por lo que es necesario incorporar otras variables como volumen de material, precios de venta o costos de transporte.

En la búsqueda de una respuesta al comportamiento de la distribución y la asociación espacial observadas, la visión estructuralista en la localización de la industria plantea que las empresas buscan mantener la mano de obra más barata y menos conflictiva en las zonas periféricas, así como beneficiarse de los diferencia de costos entre los distintos territorios (Bustos 1993), que en este trabajo están representados por los municipios.

Esto último implica que el análisis de localización y conectividad permite comprender de manera global el comportamiento de las empresas, formales e informales, de valorización de RSU. Sin embargo, es necesario considerar factores económicos, sociales y políticos que permiten comprender de mejor manera la interacción de las empresas en un territorio determinado.

El análisis realizado permitió establecer la inexistencia de patrones que optimicen la conectividad entre los actores involucrados en la valorización de residuos sólidos. Dicho resultado se puede atribuir a lo que Bauman (2002) expresa como “efectos de la era de la globalización”. Este autor plantea que las

formas de interrelación entre las empresas (cadena productiva), así como el papel que desempeña el espacio, generan nuevos fenómenos económicos mediante la apertura y creación de nuevos vínculos. Esto permite, por ejemplo, que las empresas y la política dejen de actuar en planos diferenciados. En otras palabras, una sociedad capitalista busca la desregulación y liberación de los mercados (Vázquez 2008), en tanto que la esfera política participa favoreciendo dicho ambiente, buscando ya sea su apropiación o la obtención de beneficios económicos directos.

Por otra parte, la teoría económica institucional de North (2016) plantea que las empresas, formales e informales, interactúan dentro de un marco conocido como “reglas del juego”, las cuales generan nuevas estructuras de poder que permitirán el desarrollo económico de las empresas a través del tiempo y el espacio. Dicha estructura se basa en tres limitantes: formales, informales, y el costo de su aplicación (Urbano et al. 2007, North 2016). Las primeras abarcan las leyes, reglamentos y procedimientos gubernamentales, ámbito en que la esfera política tiene incidencia directa. Las segundas se refieren a las ideas, creencias, actitudes y valores de las personas o, dicho de otra forma, a la cultura de un grupo social. Finalmente, los costos de aplicación o de transacción son aquellos que inciden en la obtención de información relevante que permita llevar a cabo la transacción, los costos de negociación que permitan cumplir los acuerdos y contratos, así como los costos de organización, coordinación y supervisión de dichas relaciones. En resumen, las instituciones establecen las reglas del juego y las organizaciones, ya sean públicas o privadas, son los jugadores.

Esta idea es reforzada por la propuesta de Scheinberg y Simpson (2015), quienes establecen que si bien los servicios de aseo urbano buscan resolver los problemas del manejo de residuos con una visión sanitaria, las cadenas de valor de materiales reciclables poseen raíces históricas y económicas más profundas. Por lo anterior, un mejor entendimiento de las cadenas de valor de residuos que permita la creación de políticas de manejo y aprovechamiento incluyentes con el sector informal, incrementaría la valorización de materiales de los RSU y, por ende, favorecería las dinámicas económicas en torno a éstos.

## CONCLUSIONES

La propuesta metodológica presentada en este trabajo permite obtener información relevante respecto a las relaciones entre las UE, formales e informales,

asociadas a las cadenas de valor de RSU en el Estado de México.

El indicador de conectividad proporciona de manera general un valor cuantitativo y cualitativo de conectividad entre los AIN y las ETV. Sin embargo, se sugiere integrar otras variables como volumen de materiales transportados, demanda de materiales en cada ETV y costos de transporte, entre otras, con el objeto de ampliar la comprensión sobre las cadenas de valor de residuos sólidos urbanos.

El comportamiento de los AIN, así como de algunas ETV, principalmente pequeñas, está asociado a una economía de supervivencia donde los factores informales desempeñan un papel preponderante, generando dinámicas de movilidad de dichas UE. Esto pudo constatarse durante las visitas de campo, ya que algunas UE reportadas en el DENU ya no existían o habían cambiado de rubro.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es necesario evaluar el índice de conectividad propuesto con relación al escenario óptimo de cada región. Asimismo, es necesario profundizar en el análisis de las variables y actores que participan en las cadenas de valor de cada zona de estudio, con el objetivo de regular y fortalecer la creación de empresas de valorización a mediano y largo plazo. Para lograr lo anterior, es necesario crear fuentes de información fidedignas que faciliten la comprensión de este tipo de relaciones funcionales.

Las herramientas de análisis espacial, así como la necesidad de bases de datos confiables aplicadas al estudio de la valorización y el manejo de RSU, abren posibles líneas de investigación en el área geográfica, económica y social, lo que permitirá comprender de mejor manera la distribución y asociación espacial de las empresas de valorización en el Estado de México. Este conocimiento integral contribuirá a generar políticas económicas adecuadas para incrementar el aprovechamiento de los materiales contenidos en los RSU.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con el apoyo del Centro Mario Molina, TAAF Consultoría Integral y el Posgrado de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, a los cuales expresamos nuestro más profundo agradecimiento.

## REFERENCIAS

- Bauman Z. (2002). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México, 232 pp.
- Bustos M.L. (1993). Las teorías de localización industrial: una breve aproximación. *Estudios Regionales* 35, 51-76.
- Buzai G. (2010). Análisis espacial con sistemas de información geográfica: sus cinco conceptos fundamentales. En: *Geografía y sistemas de información geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. (Buzai G.D., Ed.). Universidad Nacional de Luján-Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica, Luján, Argentina, pp. 163- 195.
- Caballero S. (2008). Un procedimiento de búsqueda voraz, aleatorización y adaptativo para el diseño eficiente de territorios de atención comercial con requerimientos de asignación conjunta. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 120 pp.
- Cervantes J. y Palacios L. (2012). El trabajo en la pepeña informal en México: nuevas realidades, nuevas desigualdades. *Estud. Demogr. Urb.* 27 (1), 95-117. DOI: 10.2307/41759672
- CMM (2015). Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, México. Centro Mario Molina [en línea]. [https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU\\_VFfinal.pdf](https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU_VFfinal.pdf) 17/09/2018.
- Dos Santos A. y Wehenpohl G. (2001). De pepenadores y tiradores, el sector informal y los residuos sólidos municipales en México y Brasil. *Gaceta Ecológica* 60, 70-80.
- Enríquez C. (2015). Diseño de rutas de recolección en Ciudad Universitaria. Tesis de Maestría. Sistemas de Transporte. Programa de Posgrado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 195 pp.
- García E. (2012). Evaluación de la competitividad para el desarrollo industrial de sectores industriales económicamente importantes: el clúster de plásticos en Ciudad Juárez. Tesis de Doctorado. Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 141 pp.
- Garrocho C. y Campos J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicio claves para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, Sociedad y Desarrollo* 6 (22), 1-60. DOI: 10.22136/est002006262
- Goto N., Tabata T., Fujie K. y Usui T. (2005) Creation of a recycling-based society optimised on regional material and energy flow. *J. Energy* 30, 1259-1270. DOI: 10.1016/j.energy.2004.02.005
- IMT (2014). Red nacional de caminos, representación cartográfica en formato digital y georreferenciada de

- la red nacional de caminos. Instituto Mexicano del Transporte. Archivo digital en formato shape (shp) [en línea]. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos> 03/02/2018.
- INEGI (2012). Censo de población y vivienda 2010: sistema para la consulta de información censal (SCINCE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México [en línea]. <http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx> 05/01/2017.
- INEGI (2015). Principales resultados de la encuesta intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, 122 pp.
- INEGI (2017). Directorio estadístico nacional de unidades económicas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México [en línea]. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> 01/06/2017.
- Kokusai J. (1998). Estudio sobre el manejo de los residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. Informe Final. Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Ciudad de México, México [en línea]. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/01clave.pdf> 05/02/2018.
- Linares S. (2011). Análisis y modelización de la segregación socioespacial en ciudades medias bonaerenses mediante sistemas de información geográfica: Olavarría, Pergamino y Tandil. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Geográficas, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 304 pp.
- Medina M. (2005). Serving the unserved: Informal refuse collection in México. *Waste Manage. Res.* 23, 390-397.  
DOI: 10.1177/0734242X05057698
- Marello M. y Helweg A. (2018). Solid waste management and social inclusion of wastepickers: opportunities and challenges. *Lat Am Perspect.* 45(1), 108-129.  
DOI: 10.1177/0094582X17726083.
- North D.C. (2016). Institution and economic theory. *Am. Econ.* 61 (1), 72-76. DOI: 10.1177/0569434516630194
- Nyerges T. L. (1991). Analytical map use. *Cartogr. Geogr. Inform.* 18 (1), 11-22.  
DOI: 10.1559/152304091783805635
- Nystrom H. (1995). Manufacturing cluster growth methodology and model for the Arizona-Sonora (Mexico) region. Tesis de Doctorado. Universidad Estatal de Arizona, Arizona, EUA, 400 pp.
- O'Sullivan D. y Unwin D. (2003). *Geographic information analysis*. 2a ed. John Wiley and Sons, Nueva Jersey, EUA, 432 pp.  
DOI: 10.1002/9780470549094
- OIT-IPEC (2004). Tratamiento de la explotación de niños que hurgan en la basura: una evaluación temática sobre la acción emprendida contra el trabajo infantil. Informe de síntesis mundial para la OIT. Organización Internacional del Trabajo, Programa Internacional para la Erradicación del Trabajo Infantil, Waste Asesores sobre Medio Ambiente y Desarrollo Urbano, Ginebra, Suiza, 109 pp.
- Porter M. (1998) Clusters and the new economics competition. *Harv. Bus. Rev.* 76 (6), 77-90.
- Scheinberg A. y Simpson M. (2015). A tale of cities: Using recycling framework to analyse inclusive recycling performance. *Waste Manage Res.* 33 (11), 975-985.  
DOI: 10.1177/0734242X15600050
- SEMARNAT (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, Diario Oficial de la Federación, 10 de octubre.
- SEMARNAT (2012a). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México [en línea]. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf> 17/09/2018.
- SEMARNAT (2012b). Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, indicadores claves y desempeño ambiental, edición 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México [en línea]. [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf) 02/04/2014.
- SEMARNAT (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, indicadores claves y desempeño ambiental, edición 2015. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México [en línea]. [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf) 17/09/2018.
- Serrano M. (2006). Propuesta metodológica para elaborar modelos de transporte y desarrollo urbano mediante teledetección y sistemas de información geográfica. Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad Complutense de Madrid [en línea]. [http://www.age-geografia.es/tig/docs/doc2\\_26.pdf](http://www.age-geografia.es/tig/docs/doc2_26.pdf) 07/06/2016.
- Urbano D., Días J. y Hernández R. (2007). La teoría económica institucional: el enfoque de North en el ámbito de la creación de empresas. Decisiones basadas en el conocimiento y en el papel social de la empresa [en línea]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2499446.pdf> 04/04/2018.



Vázquez A. (2008). Zygmunt Bauman: modernidad líquida y fragilidad humana. *Nómadas, Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* 19, 309-316 [en línea] <http://www.latertuliadelagranja.org/sites/default/files/Bauman.pdf> 04/04/2018.

Wilson D.C., Rodic L., Scheinberg A., Velis C.A. y Alabaster G. (2012). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Manage Res.* 30 (3), 237-254.  
DOI: 10.1177/0734242X12437569