

Simulación Computacional para la Enseñanza de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Luis A. Godoy, Ph. D.

Centro de Investigaciones de Infraestructura Civil y Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura,
Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Mayagüez, Puerto Rico 00681-9041, lgodoy@uprm.edu

Nora Valeiras, M. Sc.

Departamento de Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y
Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sársfield 299, 5000 Córdoba, Argentina,
nvaleira@com.uncor.edu

Abstract

Dentro de los problemas ambientales urbanos se destaca la generación de los residuos sólidos. Una meta de la educación es promover el desarrollo de la conciencia ambiental a través de estrategias educativas que ayuden a su logro. Este trabajo tiene por objetivo diseñar e implementar una simulación computacional destinada a desarrollar en los estudiantes procedimientos de las ciencias que le permitan visualizar las consecuencias de las acciones que toman cada uno de los actores de un sistema de manejo de residuos urbanos en situaciones hipotéticas. Se ha definido la población de la simulación, la cantidad de residuos generados por persona y se ha predefinido a través de bases de datos un patrón de composición y de separación de los residuos, como también la disposición final de los mismos. Para la implementación computacional se ha usado Excel para el cálculo y Visual Basic para la interfase con el usuario. Se lleva a cabo la implementación de esta propuesta evaluando los resultados obtenidos y extrayendo conclusiones que sirven de retroalimentación. Como ejemplo ilustrativo, se plantea la problemática de una ciudad de Argentina.

Keywords

Educación en Ingeniería, gestión municipal, residuos sólidos urbanos, simulaciones educativas.

1. Introducción

La educación científica actual tiene como principal meta formar ciudadanos capaces de comprender e interactuar en cuestiones que relacionan la ciencia con la vida cotidiana. Sin ninguna duda, la enseñanza de los problemas ambientales y sus impactos han adquirido gran relevancia en las últimas décadas, destacándose la generación, tratamiento y gestión de los residuos sólidos como resultados de las diferentes actividades en las ciudades. Encontrar nuevas estrategias para el aprendizaje de estos temas que faciliten la comprensión de contenidos específicos y promuevan el desarrollo de la conciencia ambiental es una preocupación, tanto para los educadores como para los investigadores en la enseñanza de las ciencias.

Las tecnologías de la información y la comunicación proveen la oportunidad de utilizar la simulación como una herramienta innovadora que permita al estudiante emular algún aspecto de un cierto fenómeno, analizado a la luz de un determinado modelo (Sierra Fernández, 2000). De manera que el medio virtual representa un sistema simulado y da soporte a datos que los estudiantes pueden enriquecer y manipular para comprobar sus conjeturas. A través de diferentes actividades se puede analizar y reflexionar sobre los resultados obtenidos, lo que seguramente ayudará a mejorar las actitudes hacia los problemas de los residuos, por ejemplo, con respecto al consumo y reciclado.

La mayor parte de las simulaciones hechas para la enseñanza de las ciencias están centradas en mostrar fenómenos físicos, químicos o biológicos, pero son escasos estos desarrollos en contenidos propuestos para la enseñanza desde el enfoque basado en ciencia, tecnología, sociedad y ambiente. A partir de estas consideraciones, nos preguntamos cómo tiene que ser una simulación para el manejo o gestión de los residuos sólidos y qué elementos se deben considerar para desarrollar en los estudiantes procedimientos de las ciencias. Para responder a estos interrogantes nos planteamos generar una simulación computacional con el objetivo de desarrollar en los estudiantes estas capacidades y que visualicen las consecuencias de las acciones que toman cada uno de los actores del sistema de manejo de residuos urbanos, en situaciones hipotéticas.

Es importante aquí considerar el manejo de los residuos sólidos como un sistema integrado (Solway, 1990) que cubre varias etapas desde la generación hasta su disposición final. Adicionalmente, este sistema se relaciona con otros sistemas, como la salud pública y el sistema económico. En esta simulación nos restringimos a los elementos propios del manejo de los residuos, definidos en la siguiente sección de este trabajo.

2. Sistema de manejo de residuos sólidos urbanos considerado

Los residuos sólidos son aquellos que surgen como consecuencia de las actividades de seres humanos, los cuales se descartan porque son no deseados o por considerarlos no útiles en un determinado contexto. Aproximadamente el 70% de los residuos sólidos en zonas urbanas son de origen residencial o comercial y ellos se engloban en el término Residuos Sólidos Urbanos (RSU), denominados también en algunos países como Residuos Sólidos Municipales.

Es frecuente agrupar las actividades asociadas al manejo de RSU, desde la generación a la disposición final, en seis elementos funcionales (Tchobanoglous et al., 1993, Tchobanoglous y Kreith, 2002):

- (a) Generación de RSU.
- (b) Manejo y separación de RSU, almacenaje y procesamiento en la fuente.
- (c) Recolección.
- (d) Separación, procesado y transformación de RSU.
- (e) Transferencia y transporte.
- (f) Disposición.

Sin embargo, estos elementos no son universales, sino que dependen del contexto cultural y económico considerado. En muchos países de América Latina aparece un elemento entre el manejo y la recolección, que es la separación en la calle por personas de bajos recursos que recuperan algunos componentes de los residuos que tienen valor inmediato de venta; esas personas se denominan cirujas, cartoneros, recicladores urbanos, pepenadores (ver, por ejemplo, White, 1983). En segundo lugar, la etapa “separación procesado y transformación” puede no existir, con lo que la “recolección” se unifica a la “transferencia y transporte” y es el propio camión recolector domiciliario el que transporta los residuos hasta su disposición final.

En esta simulación se representan cuatro de los seis elementos mencionados, dejando de lado la recolección y transporte, porque se considera que ellas no modifican la composición de los RSU, sino que los compactan y los cambian de lugar. De modo que los elementos del sistema que se modela son:

- (1) Generación de residuos domiciliarios.
- (2) Separación y procesamiento en la fuente.
- (3) Separación y procesamiento después de dejar la fuente (por cirujeo o por separación en plantas municipales o privadas).
- (4) Disposición final.

De acuerdo con esto, en la simulación desarrollada en este trabajo se han considerado como variables del modelo a:

- Tamaño de la población.
- Días anuales de producción de RSU.
- Cantidad de residuos generados.
- Patrón de composición de los residuos generados.
- Patrón de separación en origen.
- Patrón de separación no en origen.
- Tipos y porcentajes de disposición final.

Estos elementos se relacionan directamente con los actores sociales que intervienen en el sistema.

3. Definición de la población en la simulación

El grupo principal de actores en el sistema de RSU será denominado “vecinos productores” que generan residuos en el nivel familiar con una composición determinada; adicionalmente, el **vecino-productor** puede hacer separación de RSU en origen. No todos los vecinos en una población actúan con los mismos patrones de conducta, por lo que es adecuado separarlos en varios tipos característicos, dependiendo de sus patrones de generación de residuos y de su patrón de separación de residuos en su propia casa.

Para caracterizar un tipo de vecino es necesario especificar la cantidad de residuos que genera por día, la composición de los residuos que genera, la proporción de cada componente que separa de los residuos que ha generado, para reciclado. Cada patrón se caracteriza y se especifica en una base de datos. La simulación contiene algunos tipos de vecinos ya especificados, pero el usuario de la simulación puede incrementar esos tipos introduciendo la información que tenga disponible para determinada población. En definitiva, el vecino saca a la calle una cantidad de RSU con una composición determinada.

En algunas ciudades (especialmente en América Latina) existen otros actores (llamados aquí “cirujas”), que son personas que circulan por la ciudad tratando de rescatar elementos de su interés de las bolsas de residuos domiciliarios. La cantidad y tipo de elementos que toman de la basura se encuentra definida en una base de datos, pero puede ser modificada por el usuario de la simulación para aportar datos locales que conozca. Para caracterizar la acción de estos individuos se considera la proporción de residuos que toman de los RSU que los vecinos sacaron fuera de su casa para recolección urbana.

Pero en muchas ciudades no se da el fenómeno de “cirujas”, de modo que esta etapa no debería activarse en la simulación. Sin embargo, allí los RSU pueden ser trasladados a un centro de separación, donde se lleva a cabo una separación organizada por el propio municipio. Para modelar este tipo de situaciones, en la simulación se deberá usar esta “separación municipal organizada” en los casilleros reservados para “cirujas”, aportando las proporciones de RSU que se separan de cada componente de residuos.

Una población determinada tendrá varios tipos de “vecinos” y un tipo de ciruja (o en su defecto, de sistema de separación organizado por el municipio). El usuario de la simulación debe definir el tamaño de la población por cada tipo que se considera y sus características (los parámetros que definen su comportamiento).

La simulación admite que se delimiten hasta diez tipos diferentes de vecinos-productores en una población, cada uno con características diferentes definidas por dos aspectos; el de generación de residuos y el de separación domiciliaria. Las siguientes variables escalares se emplean en la simulación:

T: Número de tipos de vecinos-productores considerados en una simulación. Por ejemplo, la ciudad de Resistencia en Argentina tiene dos tipos ($T = 2$) claramente diferenciados de vecinos, unos viven en la zona del centro de la ciudad, tiene producción alta debida al alto consumo (Tipo 1); otros viven en el resto de la ciudad, con capacidad de generación de residuos mucho menor (y además, las propias componentes del residuo cambian, predominando la materia orgánica), son Tipo 2.

NT_i: Número total de individuos que responden al patrón de tipo *i*. Por ejemplo, para el tipo 1 puede haber NT₁ = 4500 personas, mientras que para el tipo 2 puede haber NT₂ = 70,000 personas.

La conducta de los ciudadanos con respecto al manejo de RSU depende de una serie de factores: Por una parte, hay una presión social a través de los medios de comunicación para incrementar el consumo como forma de mejorar la calidad de vida, pero esto genera una mayor cantidad de RSU, en gran medida provenientes del tipo de embalaje de los productos. En Estados Unidos, los embalajes suman la tercera parte del total de RSU generado. El desafío es cambiar hábitos de consumo enraizados por años, que asocian un cierto estatus social al consumo.

B_i: Cantidad de basura por habitante por día que genera el tipo de consumidor *i*, en [Kg]. Por ejemplo, puede ser que B₁ = 1.2 Kg/día, mientras que B₂ = 0.7 Kg/día. La disposición promedio diario por persona puede tener variaciones significativas. En Estados Unidos se estima B en 1.43 Kg/día; en Puerto Rico es mayor, 1.78 Kg/día; en España se estima 1.2 Kg/día, en Argentina puede ser de 0.6 Kg/día.

4. Componentes de los RSU

Los elementos componentes de RSU son de gran interés para establecer políticas de gestión de los residuos y usualmente se dan como porcentajes en peso, no en volumen. La caracterización de los RSU es una tarea difícil porque hay un número demasiado grande de fuentes de generación, con variaciones geográficas, sociales y culturales; por otra parte, el número de muestras que se toman para llevar a cabo una caracterización es pequeño, de modo que sólo se trata de estimaciones aproximadas.

Para complicar el panorama, la composición de los RSU de una población determinada no permanecen constantes en el tiempo, sino que varían de acuerdo a los hábitos de consumo de la población, la introducción de nuevos productos y empaques en el mercado, la participación ciudadana en programas de separación y reciclaje, la infraestructura de reciclado y la existencia de mercados para productos reciclados.

Siguiendo a Tchobanoglous et al. (1993), se supone aquí que los residuos están compuestos por 15 componentes. Esta metodología es la recomendada por la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA, que establece la generación per capita considerando los RSU y los desechos de jardinería, separándolos de escombros de construcción y demolición, automóviles y artefactos eléctricos.

Para facilitar el manejo dentro del programa, esas componentes se agrupan formando un vector. La posición de cada una de las 15 componentes es la siguiente:

- [1] desperdicios de alimentos,
- [2] papel (periódicos, salidas de computadora, etc.),
- [3] cartones (empaques),
- [4] plásticos (botellas, trozos de plásticos),
- [5] textiles (telas, ropa, etc.),
- [6] gomas,
- [7] cuero,
- [8] pastos y desperdicios del jardín,
- [9] madera,
- [10] misceláneos orgánicos,
- [11] vidrios (botellas, trozos de vidrios),
- [12] latas metálicas (típicamente, latas de conservas, aceite, etc. No incluye latas de bebidas),
- [13] aluminio (típicamente latas de refrescos o de cerveza),
- [14] otros metales,
- [15] polvo, tierra, cenizas, etc.

Esta composición desglosada en 15 componentes se emplea en varios lugares de la simulación:

- Para definir cual es la composición del residuo que se genera inicialmente. Este es el Patrón de residuos domiciliarios (proporciones de cada componente de basura), que se almacena en el Vector x_i .
- Para definir cuáles son elementos que se separan en origen, y en qué proporciones, se usa el “Patrón de separación familiar” (que contiene las proporciones del residuo generado por componente que separa la familia para ser tratado), que se almacena en un Vector y_i . Los materiales recuperados por reciclaje en Estados Unidos se han tomado de la Tabla 6-7 de Tchobanoglous et al. (1993).
- Para definir los elementos que se lleva el “ciruja”, se usa el Patrón de “cirujeo” (proporciones de basura en la vereda que lleva el “ciruja”). Esto se almacena en un Vector u .

La composición inicial de residuo se ha obtenido de datos de la literatura obtenidos de textos y de información disponible en Internet. Por el momento, se encuentran datos para Argentina, España y Estados Unidos. El usuario puede agregar a su base de datos otras cantidades, en la medida que las conozca o quiera experimentar con ellas.

Las características de un tipo de vecino pueden correlacionarse con el nivel de ingresos de un país. Para 1990, países de bajos ingresos tenían ingresos per capita inferiores a 750 dólares anuales; los de ingreso medio oscilaban entre 750 y 5,000 dólares; mientras que los de ingresos altos superaban los 5,000 dólares. En ausencia de otros datos para un lugar determinado, pueden usarse para los vectores x_i , y_i , los datos proporcionados por la Tabla 3-5 de Tchobanoglous et al. (1993), que aprovecha esa correlación para definir los vectores que se necesitan para operar la simulación.

5. Definición de la Disposición Final de los RSU

Hay diferencias significativas entre los RSU per capita generados por los vecinos y los finalmente depositados en rellenos sanitarios. La presente simulación supone que una parte de esos residuos se lleva a incineración, una parte va a relleno sanitario, y otra parte queda a cielo abierto. Las proporciones por defecto que supone la simulación son 5%, 75% y 20% respectivamente. El usuario puede cambiar las proporciones de cada destino final como dato de entrada.

El porcentaje que se incinera se almacena en una variable **Pinc**. Las tecnologías asociadas a la incineración han mejorado notablemente en las últimas dos décadas, pero la política pública de muchos países (ADS, 2004) rechaza la incineración como medio para disponer de los RSU, ni permite invertir fondos públicos para investigación, desarrollo o construcción de tecnologías que conlleven incineración.

El porcentaje que va a relleno sanitario se almacena en una variable **Prell**. En países desarrollados hay estudios acerca de los RSU que se disponen en rellenos sanitarios, llevados a cabo con técnicas de extracción de muestras a diferentes profundidades (ver, por ejemplo, Rathje 1991). La parte que va al relleno sanitario, se supone que tiene una compactación. La compactación supuesta por el sistema genera un peso específico del material compactado de 474 Kg/m³. Por ejemplo, si se llevan (X) Kg al relleno sanitario, una vez compactado eso ocupará un volumen de (X/474) en m³. Adicionalmente, se supone que el material se dispone en capas de $h = 6.67$ metros de altura, por lo que la superficie que se ocupa en el relleno será igual a (X/474/h/10,000) en Ha, donde se ha usado que 1 Ha = 10,000 m³.

El porcentaje que va a cielo abierto se almacena en una variable **Pcielo**. Hay ciudades en las que esta es la única opción, lo cual genera condiciones sanitaria críticas.

6. Ingreso de datos a la simulación

El inicio a la simulación se hace por la pantalla de la Figura 1. SiGrES significa Simulación de la Gestión de Residuos Sólidos. Pero además de permitir el manejo virtual del sistema de gestión, esta simulación permite tomar conciencia de como optimizar la gestión.



Figura 1: Pantalla inicial de la simulación.

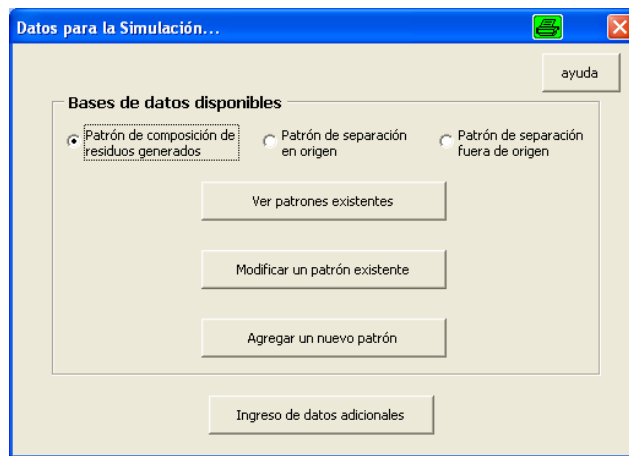


Figura 2: Pantalla de bases de datos disponibles.

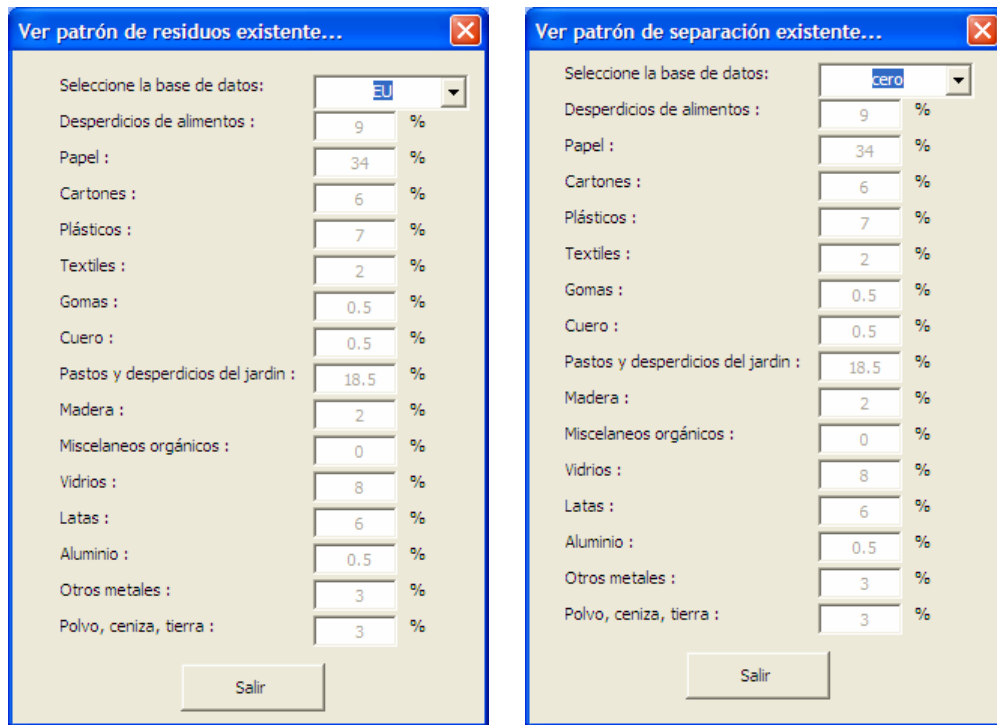


Figura 3: Pantalla de visualización de datos de la base. La pantalla de la izquierda muestra los datos de generación de RSU familiares para Estados Unidos, obtenidos de la literatura. La pantalla de la derecha muestra un ejemplo de patrón de separación.

Simulación...

Porcentajes de Destino
 Por favor especifique los porcentajes de basura destinados a las siguientes acciones en esta simulación :

Incinerar : %
 Va a relleno sanitario : %
 Va a cielo abierto : %

Tipos de consumidores considerados en esta simulación :

Tipo	Tamaño	Número de días anuales generando basura	Cantidad de basura por habitante por día (kg)	Factor de particip. del vecino en el programa de separación	Patrón de residuos domiciliarios	Patrón de separación familiar
1	2000	365	1.2	0.6	EU	4contene
2	1500	365	1.5	0.3	EU	3contene
3	500	90	2.0	0.1	EU	cero

simular Generar reporte escrito Borrar Datos Salir ayuda

Figura 4: Pantalla de datos de la simulación. Se muestra un ejemplo en el que T = 3, y para cada tipo se definen sus características, tamaño de la población y cantidad de personas de ese tipo que adoptan la separación señalada.

7. Resultados de la simulación

El programa opera sobre los datos provistos por el usuario y sobre la información de la base de datos, y arroja como resultados las cantidades de residuos que van a cada destino final, y su composición. Se dan así los valores de RSU para cada destino final. La pantalla no muestra las composiciones de cada parte de RSU que van a cada destino final, pero esa información se ha calculado y está disponible si quiere usarse.

Simulación...

Porcentajes de Destino
 Por favor especifique los porcentajes de basura destinados a las siguientes acciones en esta simulación :

Incinerar : %
 Va a relleno sanitario : %
 Va a cielo abierto : %

Tipos de consumidores considerados en esta simulación :

Tipo	Tamaño	Número de días anuales generando basura	Cantidad de basura por habitante por día (kg)	Factor de particip. del vecino en el programa de separación	Patrón de residuos domiciliarios	Patrón de separación familiar
1	2000	365	1.2	0.6	EU	4contene
2	1500	365	1.5	0.3	EU	3contene
3	500	90	2.0	0.1	EU	cero

Resultados de la simulación (anuales):

- Cantidad total producida (Ton): 1787.25
- Cantidad total separada en origen (Ton): 397.9143
- Cantidad total a la calle (Ton): 1389.3357
- Cantidad total separada en cruces (Ton): 308.89041
- Cantidad total a camion recolector (Ton): 1080.44529
- Cantidad total incinerada (Ton): 54.0222645
- Cantidad total al relleno sanitario (Ton): 918.3784965
- Cantidad total a cielo abierto (Ton): 108.041529
- Área del relleno sanitario considerando CDS de 6.67m (Ha): 2.904808660

simular Generar reporte escrito Borrar Datos Salir ayuda

Figura 5: Pantalla final de la simulación.

La pantalla tiene la opción de generar un reporte de esa simulación; si el usuario elige esa opción, el sistema le entrega la información total en una planilla de cálculo Excel. Allí encontrará las composiciones de la basura mediante Vector **inc**: Composición de la cantidad incinerada, Vector **rell**: Composición de la

cantidad a relleno sanitario, y Vector **cielo**: Composición de la cantidad a cielo abierto.

7. Ejemplo de Uso de la Simulación

El tipo de trabajo con la simulación consiste en llevar a cabo investigaciones en los que, para una población determinada, se estudian las consecuencias de cambios en los parámetros que definen el sistema. Por ejemplo, cómo incide la participación de la ciudadanía en programas orientados a reducir los RSU sobre la cantidad de RSU que van a parar a relleno sanitario. En esta participación, algunos sectores de la población (que los define el usuario) asumen responsabilidades y participan en programas para reducir la cantidad de RSU que irán a disposición final en rellenos sanitarios.

Como ejemplo ilustrativo del tipo de problema que pueden plantearse y en los que el programa SiGReS puede ser de gran utilidad, presentamos la gestión de RSU en una ciudad de Argentina. En la sección siguiente se presentan las consignas que se dan a los participantes para trabajar en este problema.

Gestión de Residuos Sólidos en Ciudad de Resistencia

La ciudad de Resistencia, capital de la Provincia de Chaco en Argentina, tiene 274,000 habitantes de acuerdo a la información del censo de 2001. Resistencia tiene un problema serio para el manejo de los residuos que genera, agravado porque no cuenta con facilidades de relleno sanitario ni de incineración, de modo que el destino final de los residuos es su disposición a cielo abierto en un terreno relativamente pequeño.

Debido a que se enfrenta una situación muy difícil de gestión de los residuos, interesa fundamentalmente que usted investigue dos cuestiones:

- Conocer la magnitud del problema en la actualidad. En particular, interesa saber qué volumen del terreno destinado a disposición final se llena anualmente.
- Desarrollar estrategias que sean adecuadas y efectivas para la gestión de residuos. En particular, interesa saber qué tipo de cambios en el comportamiento de los vecinos (logrado mediante campañas de concienciación) son efectivos para reducir la cantidad de residuos que va a disposición final.

La meta es diseñar estrategias para reducir a la mitad los residuos que en la actualidad van a disposición final.

Como herramienta de investigación, usará el programa SiGReS para simular el sistema de manejo de residuos sólidos en Resistencia. Para llevar a cabo las simulaciones, necesitará contar con datos sobre el sistema. Algunos de esos datos se encuentran disponibles, mientras que otros deberán suponerse sobre la base de la mejor información proveniente de casos similares.

Se cuenta con información parcial sobre la situación actual de la Ciudad de Resistencia, en un artículo de Bonfanti (2005). Con esa información, usted podrá definir muchas de las variables necesarias para la simulación de la gestión usando SiGReS:

- Cuántos tipos de vecinos-productores se tendrán en cuenta en la simulación, qué población tiene cada uno de los tipos y cuántos residuos produce cada grupo por día y por persona.
- Encontrará además algunos comentarios sobre qué factores inciden en la generación y composición de los residuos.

- El informe contiene datos sobre el destino final de los residuos, que se hace en un predio de 64 Ha. de superficie. Las dimensiones de ese terreno es de 800 x 800 metros. Lea acerca de los problemas ambientales que genera esta disposición en Resistencia.

No se poseen estudios llevados a cabo en Resistencia sobre la composición de los residuos generados. Sin embargo, podemos hacer las siguientes hipótesis: Para la población del centro de la ciudad, pueden emplearse los datos promedio de Argentina; mientras que para la población fuera del centro de la ciudad pueden usarse datos de composición para países con ingresos bajos, tomados de la tabla de Tchobanoglous et al. (1993) que se adjunta.

Componentes	Países bajos ingresos	Países ingresos medianos	Países ingresos altos
Desperdicios de alimentos	40-85	20-65	6-30
Papel	1-10	8-30	20-45
Cartones			5-15
Plásticos	1-5	2-6	2-8
Textiles	1-5	2-10	2-6
Gomas	1-5	1-4	0-2
Cuero			0-2
Desperdicios del jardín	1-5	1-10	10-20
Madera			1-4
Misceláneos orgánicos	-	-	-
Vidrios	1-10	1-10	4-12
Metales ferrosos,	1-5	1-5	2-8
Aluminio			0-1
Otros metales			1-4
Polvo, tierra, cenizas	1-40	1-30	0-10

No hay estudios de separación en origen. Inicialmente podemos suponer que no existe separación por parte de los vecinos, y como parte de las estrategias de gestión, se puede suponer que se llevarán a cabo campañas para la separación de los residuos hecha por los vecinos, de manera tal que solamente saquen a la vereda los residuos no reciclables. Supondrá diferentes niveles de participación de los vecinos, diferenciándolos por tipo. Deberá argumentar con que criterio supone escenarios de separación.

No se cuenta con datos sobre separación llevada a cabo fuera de origen (principalmente por cirujas) para Resistencia. Suponga un patrón de separación por cirujas y argumente su hipótesis. Lleve a cabo las simulaciones que necesite hasta logara alcanzar la **meta**.

Hay información sobre las características del sistema de RSU disponibles en Internet, que el usuario puede aprovechar para generar su propia base de datos. Típicamente, se podrá distinguir entre dos tipos de vecinos, unos para la zona central de la ciudad y otros para el resto de la ciudad, cada uno con patrones de conducta diferentes. Seguramente faltarán datos (por ejemplo, no todas las componentes estarán definidas en la composición de los residuos generados), pero el usuario puede completar esa información de acuerdo a promedios obtenidos para países con bajos ingresos medios de población. En la ciudad considerada no hay rellenos sanitarios ni incineración, de manera que todos los RSU van a parar a cielo

abierto, a un lugar cuyas dimensiones pueden obtenerse de Internet. El ejercicio consiste en averiguar en qué tiempo se completará la capacidad del terreno para la disposición final en las condiciones actuales, y qué medidas deberían adoptarse para lograr un escenario más aceptable.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Ing. Héctor D. López en la traducción del programa de simulación del lenguaje MAPLE a VISUAL BASIC.

Referencias

- ADS (2004), *Plan Estratégico para el Manejo de Residuos Sólidos en Puerto Rico*, Autoridad de Desperdicios Sólidos, San Juan, Puerto Rico.
- Ayuntamiento de la Coruña. 2005. Disponible en <http://www.aytolacoruna.es/medioambiente/030102plan.jsp>
- Bonfanti, F. A. 2004. *La incorrecta gestión de los residuos Sólidos Urbanos y su incidencia en la calidad de vida de la población de Resistencia*. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/2-Humanidades/H-006.pdf>
- Bonfanti, F. A. 2005. *Los residuos Sólidos Urbanos*. Disponible en http://www.ecoportel.net/contenido/temas_especiales/basura_residuos/los_residuos_solidos_urbanos.
- del Val, A. 2004. Tratamiento de los residuos sólidos urbano. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html>
- Durán de la Fuente, H. (Ed.) (1997), *Gestión Ambientalmente Adecuada de Residuos Sólidos: Un Enfoque de Política Integral*, CEPAL/GTZ, Santiago, Chile.
- Rathje, W. L. (1991), "Once and future landfills", *National Geographical*, May, pp. 117-134.
- Sierra Fernández, J. L. (2000). Informática y la enseñanza de las ciencias. En Perales, F. J. y Canal, P. *Didáctica de las ciencias experimentales*, Marfil, Alcoy, España.
- Solway, J. (1990), *Municipal Solid Waste Management: Making Decisions in the Face of Uncertainty*, Institute for Risk Research, University of Waterloo, Waterloo, Canada.
- del Val, A. 2004. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a014.html>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1993), *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill, New York.
- Tchobanoglous, G. y Kreith, F. (Eds.) (2002), *Handbook of Solid Waste Management*, Second Edition, McGraw-Hill, New York.
- White, P. T. (1983), "The fascinating world of trash", *National Geographical*, April, pp. 424-457.