

Simulación Computacional para el Aprendizaje Comprensivo de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Nora Valeiras ¹, Luis A. Godoy ²

Resumen – 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 presenta el diseño e implementación de 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 MS Excel para el cálculo y Visual Basic para la interfase con el usuario. En la actualidad, la simulación se encuentra en fase de evaluación de aprendizajes.

Palabras Claves - Educación ambiental, enseñanza con tecnologías, residuos sólidos urbanos, simulaciones educativas

Computer simulation for learning Municipal Solid Waste Management

Abstract – The generation of solid wastes is one of the main environmental problems in urban locations. One of the goals of education is promoting an environmental conscience through educational strategies that may help its development. This paper presents the design and implementation of a computational simulation aimed at developing science procedures which may allow the students to visualize the consequences of the actions that each one of the stakeholders make in simulated situations of solid waste management. The population and the amount of waste generated by each person are defined within the simulation and a database has been predefined to include patterns composition, separation and final disposition of wastes. Computations are carried out using MS Excel and Visual Basic is used to implement the user interface. The simulation is being tested at present to evaluate its usefulness as a learning tool.

Keywords – Educational simulations, environmental education, solid waste management, teaching with technology

INTRODUCCIÓN

En su discusión sobre la enseñanza de la ingeniería, Radcliffe sostiene que “la ingeniería es una actividad profundamente humana, que está basada en valores y involucra realizar juicios cuando se trabaja con los tipos de problemas extraños que se encuentran en la práctica profesional” (Radcliffe, 2006, pp. 263). Desde esa perspectiva, 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. Los programas de ingeniería civil de la mayoría de las universidades de América Latina y de Estados Unidos incluyen cursos sobre este tema, sean de tipo obligatorio o de tipo electivo.

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 y las ingenierías. Algunas de las estrategias que pueden ayudar en

¹ 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

² 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

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on November 10th, 2006; approved on April 20th, 2007. This paper is part of the *Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-8, April 2007. © LACCEI, ISSN 1935-0295.

ese proceso son las que Prince y Folder (2006) identifican como métodos de indagación, aprendizaje basado en problemas, casos, o proyectos, entre otros. “En la enseñanza basada en casos, los estudiantes analizan estudios de casos de situaciones históricas o hipotéticas que involucran la solución de problemas y/o la toma de decisiones” (Prince y Folder, 2006, pp. 131). Una estrategia efectiva para implementar estos métodos es el desarrollo de simulaciones de situaciones o de casos en los que el estudiante debe actuar y tomar decisiones.

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 e ingeniería están centradas en mostrar fenómenos, 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 actitudes de indagación. Para responder a estos interrogantes, los autores se plantearon generar una simulación computacional con el objetivo que los estudiantes 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, pero en esta simulación nos restringimos a los elementos propios del manejo de los residuos, definidos en la siguiente sección de este trabajo.

SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CONSIDERADO

Los residuos sólidos son aquellos que surgen como consecuencia de las actividades de seres humanos y animales, 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):

(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 las siguientes variables del modelo:

- 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 fuera de origen.
- Tipos y porcentajes de disposición final.

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

DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN EN LA SIMULACIÓN

El grupo principal de actores en el sistema de RSU se denomina “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.

NTi: Número total de individuos que responden al patrón de tipo i. Por ejemplo, para una población total de 74,500 personas, el tipo 1 puede haber $NT_1 = 4,500$ personas, mientras que para el tipo 2 puede haber $NT_2 = 70,000$ 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.

Bi: Cantidad de basura por habitante por día que genera el tipo de consumidor i, en [Kg]. Por ejemplo, puede ser que $B_1 = 1.2$ Kg/día, mientras que $B_2 = 0.7$ 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.

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) y Tchobanoglous y Kreith (2002), se supone aquí que los residuos están formados 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 xi.
- 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 yi. 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 xi, yi, 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.

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 m².

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.

INGRESO DE DATOS A LA SIMULACIÓN

El inicio a la simulación se hace por la pantalla de la Figura 1. SiMaReSo significa Simulación del Manejo 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.

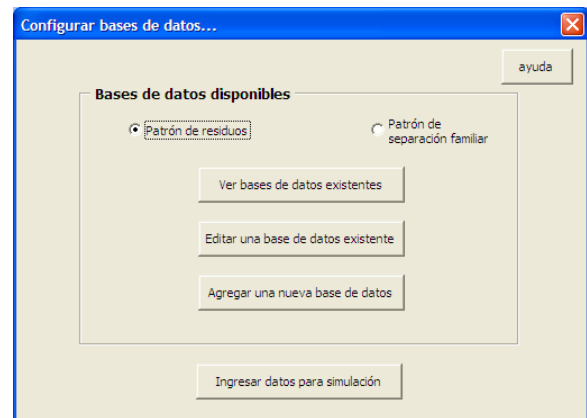


Figura 2: Pantalla de bases de datos disponibles.

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.

Ver patrón de residuos existente...

Seleccione la base de datos:

Desperdicios de alimentos : %

Papel : %

Cartones : %

Plásticos : %

Textiles : %

Gomas : %

Cuero : %

Pastos y desperdicios del jardín : %

Madera : %

Miscelaneos orgánicos : %

Vidrios : %

Latas : %

Aluminio : %

Otros metales : %

Polvo, ceniza, tierra : %

Figura 3: Pantalla de visualización de datos de la base que muestra los datos de generación de RSU familiares para Estados Unidos, obtenidos de la literatura.

Ver patrón de separación existente...

Seleccione la base de datos:

Desperdicios de alimentos : %

Papel : %

Cartones : %

Plásticos : %

Textiles : %

Gomas : %

Cuero : %

Pastos y desperdicios del jardín : %

Madera : %

Miscelaneos orgánicos : %

Vidrios : %

Latas : %

Aluminio : %

Otros metales : %

Polvo, ceniza, tierra : %

Figura 4: Pantalla de visualización de datos de la base que 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 : %

Via a relleno sanitario : %

Via a cielo abierto : %

Tipo 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	incinerar
2	1500	365	1.5	0.3	EU	incinerar
3	800	90	2.0	0.1	EU	cero

Figura 5: 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.

Simulación...

Porcentajes de Destino

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

Incinerar : %

Via a relleno sanitario : %

Via a cielo abierto : %

Tipo 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	incinerar
2	1500	365	1.5	0.3	EU	incinerar
3	800	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 centros recolectores (Ton): 1080.44529

Cantidad total incinerada (Ton): 54.0222645

Cantidad total a relleno sanitario (Ton): 318.3784965

Cantidad total a cielo abierto (Ton): 108.044529

Meta de relleno sanitario considerando tasa de 4.3% (Ton): 290488086.0

Figura 6: 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.

EJEMPLOS 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.

En uno de los ejemplos planteados, se desea estudiar la gestión de RSU en la ciudad de Resistencia, en Chaco,

Argentina. 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. En el ejemplo faltan datos (por ejemplo, no todas las componentes están 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 que tiempo se completará la capacidad del terreno para la disposición final en las condiciones actuales, y que medidas deberían adoptarse para lograr un escenario más aceptable.

CONCLUSIONES

Se ha presentado el desarrollo e implementación de una simulación que está orientada al enriquecimiento de conciencia ambiental en estudiantes de Ingeniería y de Ciencias acerca del manejo de residuos sólidos urbanos. La simulación contiene elementos predefinidos mediante bases de datos, con el fin de tomar en cuenta diferentes patrones de consumo de la población y de gestión de residuos. Para facilitar su uso, se han preparado casos de diferente nivel de complejidad, algunos de los cuales solamente aspiran a adiestrar al estudiante en el manejo del sistema, mientras que otros requieren de búsqueda de información de manera independiente y exploración de consecuencias basada en las decisiones adoptadas inicialmente.

La simulación se encuentra en fase de evaluación de aprendizajes, a través de su implementación como módulos en cursos de nivel subgraduado.

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.

Durán de la Fuente, H. (Ed.) (1997), *Gestión Ambientalmente Adecuada de Residuos Sólidos: Un Enfoque de Política Integral*, CEPAL/GTZ, Santiago, Chile.

Prince, M. J., Felder, R. M. (2006), Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons and research bases, *Journal of Engineering Education*, vol. 95 (2), pp. 123-138.

Radcliffe, D. F. (2006), Shaping the discipline of engineering education, *Journal of Engineering Education*, vol. 95 (4), pp. 263-264.

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.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1993), *Integrated Solid Waste Management*, McGraw-Hill, New York.

Tchobanoglous, G. and Kreith, F. (Eds.) *Handbook of Solid Waste Management*, Second Edition, McGraw-Hill, New York, 2002.

White, P. T. (1983), "The fascinating world of trash", *National Geographical*, April, pp. 424-457.