



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
ECONOMIA**

FACULTAD DE ECONOMIA

**“Aprovechamiento productivo y sustentable de la  
generación de Residuos Sólidos Urbanos en México:  
un estudio prospectivo”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN ECONOMIA**

**URBANA Y REGIONAL**

P R E S E N T A :

**HUGO ARAGON RODRIGUEZ**

TUTOR:

**LUIS QUINTANA ROMERO**

2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Normand Asuad Sanén

Vocal: Dr. Carlos Bustamante Lemus

Secretario: Dr. Luis Quintana Romero

1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Adolfo Sánchez Almanza

2<sup>do</sup>. Suplente: Mtro. Miguel Ángel Mendoza González

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

**Facultad de Posgrado de Economía,  
Universidad Nacional Autónoma de México.**

**TUTOR DE TESIS:**

**LUIS QUINTANA ROMERO**

---

**FIRMA**

*A mi abuela y mis padres*

*A Diana*

## **Agradecimientos**

A todas las personas que colaboraron, de una forma u otra, en la realización de este trabajo de investigación. Al Dr. Luis Quintana Romero por brindarme sus conocimientos y su experiencia. Al Dr. Clemente Ruiz por su apoyo incondicional. Al Mtro. Miguel Ángel Mendoza, al Dr. Normand Asuad, al Dr. Carlos Bustamante y al Dr. Adolfo Sánchez por su apoyo con la revisión y los comentarios del trabajo de investigación.

Agradezco a todas aquellas personas de la Facultad de Posgrado de Economía que me brindaron su apoyo, en especial a la Dra. Yolanda Trápaga, al Dr. Ángel de la Vega, la Dra. Marcela Astudillo, a Nallely León, Patricia Morán, Leticia Saldaña, Juana Romero, Araceli Martínez y Dulce María Ruedas.

Quisiera agradecer también a la Universidad Nacional Autónoma de México por otorgarme, a través de la Dirección General de Estudios de Posgrado, la beca de apoyo a la formación académica y profesional para la realización de estudios de maestría

## INDICE

Acrónimos

Resumen

Abstract

Introducción

1

Capítulo 1. Marco teórico y conceptual de la generación de RU

8

1.1 Conceptualización

9

1.2 Recursos naturales

11

1.3 El enfoque económico

13

1.4 Medio ambiente y crecimiento económico

14

1.4.1 Interacciones medio ambiente-actividad económica

15

1.5 Factores económicos que generan hábitos no sostenibles de Generación de RSU

19

1.5.1 Precios de mercado y costos totales

19

1.5.2 Modificaciones al precio de mercado: internalización de los costos externos

23

1.6 Modelos económicos vinculados a la generación de RSU

24

1.6.1 El modelo descriptivo predominante

25

1.6.2 Análisis económico de las alternativas de disposición de residuos sólidos

29

1.7 Conclusiones

33

Capítulo 2. Contaminación ambiental y RSU

35

2.1 Tipos de contaminantes

35

2.1.1 Contaminantes acumulativos y no acumulativos

36

2.1.2 Contaminantes locales, regionales y globales

37

2.1.3 Contaminantes de fuentes puntuales y no puntuales

37

2.1.4 Emisiones continuas o esporádicas

38

2.1.5 Daños ambientales no relacionados con emisiones

39

2.2 El diseño de políticas ambientales

39

2.2.1 El enfoque del Banco Mundial

40

2.2.2 El enfoque de la OCDE

44

2.3 Contaminación ambiental generada por RSU

46

2.3.1 Algunos conceptos útiles

46

2.3.2 La contaminación generada en los vertederos

48

2.3.3 Algunas alternativas para evitar la contaminación

50

2.4 Gestión de residuos en los distintos ámbitos geográficos

51

2.4.1 Política medioambiental para la gestión de residuos en países en vías de desarrollo

51

2.4.2 Política medioambiental para la gestión de residuos en países desarrollados

54

2.5 Situación de lo RSU en México	56
2.5.1 Marco Legal	64
2.6 Conclusiones	65
Capítulo 3: Modelación econométrica	67
3.1 Los modelos estocásticos y la incertidumbre	67
3.2 Modelos de panel	68
3.2.1 Modelo de sección cruzada	71
3.2.2 Modelo de panel con efectos comunes	71
3.2.3 Modelo de panel con efectos fijos en constante	72
3.2.4 Modelo de efectos aleatorios	72
3.2.5 Contraste de Hausman	73
3.3 Modelos para estimar la generación de desechos	74
3.3.1 Modelo de evaluación del potencial de reciclaje en Seattle	76
3.3.2 Modelo de estimación de tarifa para el manejo de residuos en King County (Estados Unidos)	78
3.3.3 El modelo de predicción de la generación de residuos en Europa	83
3.4 Caso de estudio: ámbito nacional	87
3.4.1 Modelo econométrico de generación de residuos para México	88
3.4.2 Escenarios para la estimación	91
3.5 Utilización de los residuo orgánicos con fines energéticos	94
3.6 Conclusiones	96
Conclusiones finales	99
Recomendaciones	103
Anexos	105
Anexo 1	105
Anexo 2	106
Anexo 3	107
Anexo 4	109
Anexo 5	111
Bibliografía	112

## **Acrónimos**

**ALC: América Latina y el Caribe**

**APP: Asociación Público Privada**

**BM: Banco Mundial**

**CELADE: Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía**

**CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe**

**CFE: Comisión Federal de Electricidad**

**CH<sub>4</sub>: Metano**

**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>: Benceno**

**CMNUCC: Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático**

**CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono**

**CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía**

**CRE: Comisión Reguladora de Energía**

**DF: Distrito Federal**

**DOF: Diario Oficial de la Federación**

**DRS: División de Residuos Sólidos**

**EA: Economía Ambiental**

**EM: Estado de México**

**FN: Frontera Norte**

**GEF: Global Environment Facility**

**GEI: Gases de Efecto Invernadero**

**GIR: Gestión Integral de Residuos**

**IIE: Instituto de Investigaciones Eléctricas**

**INEGI: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática**

**IMP: Instituto Mexicano del Petróleo**

**LFC: Luz y Fuerza del Centro**

**MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio**

**N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso**

**OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico**

**OMS: Organización Mundial de la Salud**



**ONG's: Organizaciones No Gubernamentales**

**PEMEX: Petróleos Mexicanos**

**PIB: Producto Interno Bruto**

**PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente**

**PK: Protocolo de Kyoto**

**RDF: Refuse Derived Fuel**

**RSM: Residuos Sólidos Municipales**

**RSU: Residuos Sólidos Urbanos**

**SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social**

**SMIRS: Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos**

**TCE: Tricloroetileno**

**VAR: Vector Autorregresivo**

**WWF: World Wide Fund**

## Resumen

En las últimas décadas los problemas ambientales en las grandes ciudades de América Latina y el Caribe se han agravado notablemente. En el caso específico del Distrito Federal (la zona de mayor volumen de generación de residuos en México) la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ha sufrido variaciones, se estima que en la actualidad se generan aproximadamente más de trece mil toneladas de residuos diariamente. El problema fundamental que se debe enfrentar en la etapa de planeación y diseño de un sistema de manejo integral de residuos sólidos es la correcta selección de las variables socioeconómicas que permitan llevar a cabo una estimación confiable de la generación de RSU en el futuro.

La hipótesis de investigación supone que es posible estimar la generación de RSU en México empleando variables socioeconómicas para, sobre esta base, articular una efectiva política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional. El objetivo principal de la investigación radica en la obtención, a través de un modelo econométrico, de información confiable acerca de la generación futura de RSU en México que pueda servir como base para el diseño de políticas ambientales.

La investigación se basó en la revisión bibliográfica de la literatura relacionada con la generación de RSU; además se empleó la metodología de panel para desarrollar un modelo econométrico que pudiera predecir la generación de RSU en México. Se desarrolló un modelo econométrico basado en la relación de la generación de RSU con el ingreso per cápita, el nivel de empleo en el sector terciario de la economía y en el nivel de población con bajo nivel de hacinamiento (cuatro habitantes o menos en los hogares). Las predicciones demostraron la tendencia al aumento en los niveles de generación per cápita de RSU en México, así como la necesidad de implementar políticas ambientales que logran revertir esta situación.

## **Abstract**

In the last decades the environmental problems in the big cities of Latin America and the Caribbean have been increased remarkably. In the specific case of the Distrito Federal (the area of more volume of generation of waste in Mexico) the generation of urban solid waste (USW) it has suffered variations, it is considered that at the present time this city generate approximately more than thirteen thousand tons of waste daily. The main problem that should be faced in the planning and design stage of a System of Integral Handling of Solid Waste is the correct selection of the socioeconomic variables that allow carrying out a reliable estimation of the generation of USW in the future.

The investigation hypothesis supposes that it is possible to estimate the generation of USW in Mexico using socioeconomic variables for, on this base, to articulate an effective politics of administration of solid waste at a national level. The main objective of the investigation project is to obtain, through econometric model, reliable information about the future generation of USW in Mexico that can be useful for the design of environmental policy.

The investigation was based on the bibliographical revision of the literature related with the generation of USW; the panel methodology was also used to develop an econometric model that could predict the generation of USW in Mexico. An econometric model was developed based on the relationship of the generation of USW with the per capita income, the employment level in the tertiary sector of the economy and the population's level with low quantity of members per house (four members or less). The predictions demonstrated the tendency to increase in the USW generation levels per capita in Mexico, as well as the necessity to implement environmental policies that were able to overcome this situation.

## Introducción

El surgimiento y posterior desarrollo de las ciudades provocó la aglomeración y concentración de actividades con fines productivos. Estos fenómenos surgieron con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de bienes y servicios de los pobladores de las ciudades y originaron la creación de economías de escala. Sin embargo, con el transcurrir de los años se produjo un crecimiento desproporcionado de las ciudades que provocó un notable incremento del número de habitantes y del espacio físico, todo ello condujo al reordenamiento de las economías de escala y a la utilización del suelo en la periferia con nuevos fines<sup>1</sup>. En este proceso, en algunos casos, se generaron deseconomías debido al encarecimiento de las actividades productivas y de servicios, lo cual supuso una amenaza para la sustentabilidad de las actividades económicas.

Históricamente el uso del suelo para la disposición de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se ha ubicado en las afueras de las ciudades con el fin de evitar consecuencias ambientales negativas. Sin embargo, la alta concentración económica existente en las grandes urbes, unido al acelerado crecimiento poblacional, ha provocado la expansión de sus límites geográficos<sup>2</sup> con lo cual también se ha modificado el uso del suelo en la periferia.

La región de América Latina y el Caribe (ALC) posee un elevado índice de urbanización. Según estimaciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), para el año 2010 el 79.5% de sus habitantes vivirán en ciudades<sup>3</sup>, fundamentalmente en grandes ciudades. Todo lo anterior provocará una gran concentración de residuos sólidos, así como complejos problemas para su manejo y disposición final.

---

<sup>1</sup> Este reordenamiento provocó la valorización de la renta del suelo de la periferia.

<sup>2</sup> La expansión geográfica de las ciudades se conoce también como el fenómeno de “*mancha de aceite*” debido al efecto que provoca en el territorio geográfico.

<sup>3</sup> Boletín Demográfico No. 76. *América Latina: Proyecciones de Población Urbana y Rural (1970-2025)*. CELADE, CEPAL. 2005

En las últimas décadas los problemas ambientales en las grandes ciudades de ALC –la calidad del aire; el abasto, la distribución y la calidad del agua; la recolección, el tratamiento y la disposición final de residuos sólidos y aguas negras; así como el control de residuos peligrosos– se han agravado notablemente hasta el punto de convertirse en un riesgo constante para la salud de sus habitantes y para la calidad del medio ambiente global.

Durante las décadas de los años 80's y 90's del pasado siglo, un considerable número de países latinoamericanos –México entre ellos– modificó sus marcos legales e institucionales con el fin de garantizar la protección del medio ambiente<sup>4</sup>. Algunas de las ciudades más importantes y prósperas de ALC implementaron acciones puntuales enfocadas al mejoramiento ambiental de sus prácticas de manejo y disposición de los residuos sólidos. A pesar de ello, no fue sino hasta los primeros años del actual siglo que se comenzaron a desarrollar los primeros proyectos integrales de manejo de residuos sólidos. Estos proyectos se enfocaban en la implementación de políticas dirigidas a reducir la generación de residuos sólidos, potenciar el reciclaje y la composta, así como disminuir los volúmenes de generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los proyectos pioneros en esta área fueron los de *Nova Gerar* en Brasil, *Maldonado* en Uruguay y *Monterrey* en México, los cuales fueron apoyados por el Banco Mundial (BM) y Global Environment Facility (GEF).

Como resultado de los acuerdos de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto (PK), se han desarrollado numerosos proyectos de captación y empleo con fines energéticos de gas metano (CH<sub>4</sub>) procedente de rellenos sanitarios. Estos proyectos tienen dos objetivos fundamentales: el control de la emisión de GEI y la generación de gas y electricidad con diversos fines.

---

<sup>4</sup> Domínguez-Villalobos, L. & Brown-Grossman, F. *El gasto ambiental: diagnósticos y reflexiones de política*. Agenda para el desarrollo. Volumen 14: Sustentabilidad y Desarrollo Ambiental. UNAM & H. Cámara de Diputados, LX Legislatura. 2007

En el caso específico del Distrito Federal (DF) –la zona de mayor volumen de generación de residuos en México– la generación de RSU ha sufrido variaciones en las últimas décadas. Se estima que en la actualidad se generan aproximadamente más de trece mil toneladas de residuos diariamente y si se considera a la zona conurbada del Estado de México (EM), el volumen de generación alcanza las veinticuatro mil toneladas diarias<sup>5</sup>. En este complejo contexto se emite la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal el 22 de abril de 2003, la cual supuso un cambio en la política ambiental del manejo de los residuos sólidos en México.

Dentro de la Gestión Integral de Residuos (GIR), conocer el comportamiento histórico de la generación de residuos constituye un elemento de trascendental importancia, la base a partir de la cual es posible diseñar un sistema de manejo que se adecue a las necesidades reales. La política de GIR debe enfrentar un problema medular: es necesario contar a mediano y largo plazo con un método confiable para la predicción de los niveles de generación de residuos en el futuro.

La modelación de la generación de residuos sólidos está relacionada con parámetros tales como los niveles de ingreso, la cantidad de habitantes en las ciudades, el número de industrias y comercios, los hábitos alimentarios, el nivel de gasto ambiental, las disposiciones ambientales y el nivel cultural de la población, entre otros. La relación que existe entre la sociedad y la generación de residuos se caracteriza por su elevada complejidad, es por ello que la modelación solo podrá aportar un sencillo esbozo de la realidad que la afecta.

Con el fin de abordar esta temática la presente investigación se propone generar un modelo econométrico que permita llevar a cabo un análisis prospectivo del comportamiento de la generación de RSU en México, descubrir cuáles son sus

---

<sup>5</sup> Gobierno del Distrito Federal & Secretaría de Medio Ambiente. *Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal*. 2006.

principales determinantes y explorar algunas alternativas para su manejo sustentable.

La investigación toma como punto de partida diversos análisis e investigaciones previas vinculadas con el estudio de la generación y el manejo de los RSU a nivel mundial. El propósito fundamental es realizar una investigación original que aporte nueva información respecto a la problemática de la generación y el manejo integral de los residuos sólidos.

El objeto de estudio de la investigación es la generación de RSU para el caso específico de México. Los límites temporales han sido establecidos en función de las estadísticas consultadas.

Uno de los principales problemas que enfrenta la investigación es la escasez de información cuantitativa referida a los volúmenes históricos de generación de residuos sólidos.

Se considera que el problema fundamental que se debe enfrentar en la etapa de planeación y diseño de un Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos (SMIRS) es la correcta selección de las variables socioeconómicas que permitan llevar a cabo una estimación confiable de la generación de RSU en el futuro.

La hipótesis de investigación supone que es posible estimar la generación de RSU en México empleando variables socioeconómicas para, sobre esta base, articular una efectiva política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional.

El proyecto de investigación tiene como principal objetivo la obtención, a través de un modelo econométrico, de información confiable acerca de la generación futura de RSU en México que pueda servir como base para el diseño de políticas ambientales.

Los objetivos específicos son:

- Revisión de la literatura relacionada con los conceptos Economía Ambiental, Residuos Sólidos Urbanos y Políticas Ambientales; así como de experiencias previas en proyectos internacionales de gestión de RSU.
- Revisión del marco legal relacionado con el manejo de los RSU en México.
- Análisis de la situación actual de la generación y el manejo de los RSU en México.
- Identificación de variables socioeconómicas que caractericen la generación de RSU en México.
- Elaboración y validación de un modelo econométrico que permita caracterizar la generación de RSU en México.
- Estimación de los niveles de generación de RSU en México a mediano plazo.
- Análisis de posibles aplicaciones de política ambiental para el aprovechamiento de los RSU en México.

Para alcanzar estos objetivos se parte de un enfoque multidisciplinario integrando aspectos económicos, ecológicos, urbanísticos, y estadísticos.

La investigación emplea, además, una estrategia de recolección de información con base en la estadística oficial publicada en censos, encuestas y reportes desarrollados principalmente por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Luz y Fuerza del Centro (LFC), Comisión Reguladora de Energía (CRE), Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Instituto Mexicano



del Petróleo (IMP), Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE); así como por organismos internacionales tales como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el World Wide Fund (WWF) y el GEF.

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos, la investigación se divide en tres capítulos. El primero se enfoca en un análisis teórico-conceptual de la generación de residuos sólidos en el cual se exponen conceptos tales como: recursos naturales, calentamiento global y efecto invernadero entre otros; además, se hace referencia al surgimiento y desarrollo de la Economía Ambiental como disciplina de estudio de las relaciones entre la economía y el medio ambiente. Se hace particular énfasis en las interacciones que se desarrollan entre los recursos ambientales y el crecimiento económico de los países y se exponen las causas que provocan la generación no sostenible de residuos sólidos. Por último se muestra un modelo que describe las relaciones que existen entre los principales factores vinculados con la generación de residuos, así como las alternativas que existen para llevar a cabo un manejo efectivo de los residuos.

En el segundo capítulo, empleando un enfoque descriptivo, se hace referencia a las diversas clasificaciones de los agentes contaminantes; los diferentes enfoques propuestos por el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para el diseño de políticas ambientales; también se lleva a cabo una caracterización de la contaminación ambiental provocada por la generación de residuos y se exponen las diferencias que existen en la gestión pública en los diferentes ámbitos geográficos para llevar a cabo el manejo de dichos residuos. Por último se describe la situación actual de la generación de RSU en México y se hace referencia al alcance del marco legal existente, en materia de manejo de residuos.

El tercer capítulo se enfoca en el análisis econométrico a través de modelos de panel. Se hace referencia a modelos desarrollados en diversos ámbitos geográficos y con particularidades muy diversas. Finalmente se expone el caso de

estudio de México en el cual se desarrolla un modelo econométrico para determinar algunos de los factores que influyen en la generación de residuos; así como para intentar predecir los volúmenes de generación en el futuro.

Por último se muestran las conclusiones de la investigación y las recomendaciones o sugerencias en lo que se refiere a opciones de implementación de políticas públicas o acciones privadas enfocadas en el manejo efectivo de residuos.

# Capítulo 1. Marco teórico y conceptual de la generación de RSU

Actualmente convivimos en una sociedad caracterizada por elevados niveles de producción y servicios que buscan satisfacer las más diversas necesidades de consumo. El objetivo crítico de impactar positivamente en el desarrollo económico provoca que se ignoren los efectos negativos que causan las actividades productivas sobre el medio ambiente.

Durante la década de los 60's del pasado siglo comenzaron a ser cada vez más evidentes los graves problemas de contaminación ambiental, acumulación de desechos, sobreexplotación de recursos naturales y destrucción de ecosistemas. El calentamiento global<sup>6</sup> constituye un tema de vital importancia para el futuro económico y ambiental de nuestro planeta. Este término se utiliza habitualmente en dos sentidos:

- Como el *fenómeno* que muestra un aumento en la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.
- Como una *teoría* que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas.

De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero<sup>7</sup> se está viendo acentuado por la emisión de determinados gases, entre ellos el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los cuales constituyen los principales contaminantes atmosféricos a nivel global.

---

<sup>6</sup> En algunas ocasiones se emplean los siguientes términos: *cambio climático*, el cual hace referencia a cualquier cambio en el clima, o *cambio climático antropogénico*, donde se considera implícitamente la influencia directa de la actividad humana.

<sup>7</sup> Es el fenómeno que se produce cuando determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite debido al calentamiento derivado de la incidencia de la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera.

Todo lo anterior ha generado intensos debates en torno al futuro ambiental del planeta y su estrecha vinculación con las actividades económicas. El alcance del tema ambiental ha llegado incluso a formar parte de los debates relacionados con los procesos y las políticas económicas de desarrollo de las naciones subdesarrolladas.

México es uno de los países con mayores niveles de contaminación ambiental, lo cual constituye un serio obstáculo a la sustentabilidad de su desarrollo, así como un complejo problema que afecta la salud de sus pobladores y el medio ambiente global.

La política económica debe contar con una implementación paralela de medidas regulatorias que contribuyan a un desarrollo sustentable sin limitar la actividad económica. Es en este marco donde surge la Economía Ambiental (EA) como una herramienta que permite realizar análisis objetivos y plantear alternativas favorables que conduzcan a la explotación racional de recursos naturales.

## **1.1 Conceptualización**

En todo sistema económico las actividades de producción, distribución y consumo tienen lugar dentro de un entorno natural, el cual es considerado como un suministrador de materias primas e insumos y, a la vez, como un receptor de desechos o residuos. Dichos residuos pueden provocar contaminación ambiental o pueden ser utilizados como materias primas para nuevos procesos, en dependencia del modo en que estos sean manipulados y tratados, así como de su naturaleza.

Hace más de dos siglos comenzaron a desarrollarse los conceptos que cimentaron las bases de lo que en la actualidad se conoce como Economía Ambiental. Refiriéndose a los antecedentes históricos de esta disciplina Martínez-Alier y Schlupmann<sup>8</sup> hacen alusión a varios autores:

---

<sup>8</sup> Martínez-Alier, J. & Schlupmann, K. *La ecología y la economía*. Fondo de Cultura Económica. México.

- 1 Thomas R. Malthus: Fue uno de los primeros economistas en estudiar cuestiones relacionadas con los recursos naturales. Su análisis teórico considera que los límites de recursos naturales en nuestro planeta provocan que la capacidad de crecimiento de la producción alimentaria sea inferior al crecimiento de la población<sup>9</sup>.
- 2 David Ricardo: Comparte la visión pesimista de Malthus sobre el papel de los recursos naturales y los límites naturales que estos imponen al crecimiento.
- 3 John S. Mill: Igualmente se refiere a los límites en la disponibilidad de recursos naturales.
- 4 Willian S. Jevons: Introdujo el principio de *equimarginalidad*, que constituye el elemento básico de la economía de los recursos naturales. El principio equimarginal supone que *“dada la existencia de múltiples fuentes para generar un determinado producto, si se desea minimizar el costo total de generar una determinada cantidad de esa producción, entonces se deberá distribuir la producción de tal manera que se igualen los costos marginales de las fuentes de producción”*<sup>10</sup>.
- 5 Arthur C. Pigou: Introdujo la idea de externalidad negativa, la cual constituyó el soporte teórico del concepto de contaminación ambiental. Es considerado por algunos autores el padre de la economía ambiental.
- 6 Harold Hotelling: Sus trabajos recurren implícitamente al principio de equimarginalidad de Jevons, en ellos establece un principio básico para la extracción de recursos no renovables.

Las ideas de Pigou y la particularización del principio de equimarginalidad de Jevons trasladado por Hotelling al campo de los recursos naturales, constituyó la base sobre la cual se desarrolló la Economía Ambiental como disciplina de estudio.

---

1991.

<sup>9</sup> En su obra *“Ensayo sobre el principio de la población”* (1798) expuso una teoría basada en un principio según el cual la población humana crece en progresión geométrica en tanto que los medios de subsistencia lo hacen en progresión aritmética. Según Malthus llegará un punto en el cual la población no encontrará recursos suficientes para su subsistencia (catástrofe maltusiana).

<sup>10</sup> Field, B. *Economía Ambiental: una introducción*. Mc. Graw-Hill Interamericana. Colombia. 1997.

La EA –también conocida como Economía de los Recursos Ambientales y Naturales– tiene como eje central el análisis económico de los recursos ambientales. *“Esta ciencia pretende establecer las bases teóricas que permiten optimizar el uso del ambiente y de los recursos naturales”*<sup>11</sup>.

Otro enfoque es el propuesto por Pearce y Turner<sup>12</sup> en 1995 según el cual la Economía Ambiental se ocupa de estudiar cómo afectan las variaciones de tamaño de la economía (crecimiento económico) a las funciones del medio ambiente.

Resumiendo, es posible afirmar que la Economía Ambiental abarca el estudio de los problemas relacionados con el medio ambiente utilizando la perspectiva e ideas analíticas de la economía. Su principal área de atención se centra en el análisis de cómo y por qué las personas toman decisiones que afectan de modo positivo o negativo al medio ambiente. También estudia el modo de actuar sobre las instituciones políticas y económicas, así como sobre los tomadores de decisión con el propósito de *“equilibrar un poco más esos impactos ambientales con los deseos humanos y las necesidades del ecosistema en sí mismo”*<sup>13</sup>.

## **1.2 Recursos naturales**

Muchos de los problemas de contaminación ambiental que se manifiestan con mayor fuerza por el impacto de la actividad económica sobre el medio ambiente, se originan previamente en la fase inicial de las materias primas.

Durante las últimas décadas se ha hecho evidente la gran importancia de los recursos naturales para el desarrollo de la actividad económica y para la vida del hombre en general. Los recursos energéticos son considerados vitales, especialmente aquellos materiales fósiles como el carbón, el petróleo o el gas

---

<sup>11</sup> Romero, C. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. II Edición Ampliada. Alianza Económica. España. 1997.

<sup>12</sup> Pearce, D. & Turner, K. *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Colegio de Economistas de Madrid. Celeste. 1995.

<sup>13</sup> Field, B. 1997. op. cit.

natural; incluso en algunos países son considerados una prioridad para la seguridad nacional. De igual modo existe un gran número de materiales provenientes de recursos minerales y forestales, los cuales son utilizados con los más diversos fines por las sociedades modernas. La producción y obtención de alimentos depende en gran medida de recursos naturales tales como el suelo, el aire, el agua de ríos y océanos, los animales de cría, etc.

El modo usualmente empleado para clasificar esta enorme variedad de recursos naturales consiste en diferenciarlos entre recursos *renovables* y recursos *no renovables*<sup>14</sup>. La definición general de recursos naturales renovables hace referencia a recursos bióticos o con ciclos de regeneración por encima de su nivel de extracción o explotación, su uso excesivo o no racional puede llevarlos a convertirse en recursos extintos (bosques, especies marinas, etc.). Por otra parte, los recursos naturales no renovables son considerados usualmente como depósitos limitados o con ciclos de regeneración muy por debajo de los ritmos de extracción o explotación (hidrocarburos, minería, etc.). Ocasionalmente el uso no controlado de estos recursos puede conducir a su agotamiento.

Una característica inherente a los recursos naturales es que estos presentan una considerable dependencia del tiempo, o sea, que su uso se distribuye a lo largo del tiempo de tal modo que las tasas de explotación en un período determinan las disponibilidades y tasas de explotación para períodos posteriores. Este tipo de comportamiento sugiere la existencia de una fuerte dimensión *intertemporal*, ya que implica mediaciones o *trade-offs* entre el presente y el futuro.

Determinados problemas ambientales también presentan una dimensión intertemporal, específicamente aquellos que están vinculados con contaminantes que se acumulan en un sitio dado, o con contaminantes que requieren considerables períodos de tiempo para su disipación. En estos casos entra en consideración la concepción de *capacidad de asimilación de la Tierra*, la

---

<sup>14</sup> Naredo, J.M. & Parra, F. *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Siglo XXI de España Editores. España. 1993.

cual se basa en la capacidad del sistema natural para asimilar determinados productos contaminantes y convertirlos en benignos o inofensivos al medio ambiente<sup>15</sup>.

Tal es el caso de los RSU, los cuales se depositan sobre la tierra y generan problemas de contaminación ambiental vinculados con el lecho terrestre y la atmósfera. Esta contaminación tiene sus efectos no solo en el presente, sino que presenta una dimensión intertemporal: la emisión de biogás se extiende por un determinado período de tiempo a partir de su deposición<sup>16</sup>. De igual modo los lixiviados generados por los residuos contaminan la tierra y las fuentes de aguas subterráneas condicionando la salud humana y las labores agrícolas en el presente y el futuro.

### **1.3 El enfoque económico**

Uno de los enfoques de la Economía Ambiental consiste en analizar los llamados *incentivos a la contaminación*. Dichos incentivos se refieren a los factores que estimulan o conducen la contaminación.

*“La degradación ambiental surge a partir del comportamiento humano que carece de ética o moral”<sup>17</sup>*. Según este planteamiento una solución al problema de la contaminación ambiental consistiría en aumentar la responsabilidad moral de los ciudadanos; sin embargo, la verdadera causa de los problemas ambientales es la forma en la cual se ha organizado la actividad económica y sus instituciones y cómo estas contribuyen a tomar decisiones que generan daños ambientales. Es por ello que resulta importante estudiar cómo funciona este proceso de *incentivos a la contaminación*, así como el modo de reestructurarlos para promover comportamientos y estilos de vida que contribuyan al mantenimiento del medio ambiente.

---

<sup>15</sup> Pearce, D. & Turner, K. 1995. op. cit.

<sup>16</sup> El período de tiempo durante el cual se mantiene emitiendo biogás un vertedero depende de características tales como la humedad, la temperatura, el caudal de lluvias y sobre todo de la composición de los RSU.

<sup>17</sup> Field, B. 1997. op. cit.



Otro planteamiento acerca de los *incentivos* se sustenta en el hecho que la contaminación es resultado de la ambición por obtener utilidades<sup>18</sup>. De acuerdo con este punto de vista, en las economías capitalistas las personas son recompensadas por maximizar las utilidades; en esta precipitada búsqueda de utilidades monetarias, los empresarios no tienen en cuenta los impactos ambientales de sus acciones. Para este supuesto el único modo de reducir la contaminación ambiental es debilitar la fortaleza del deseo de obtener ganancias; sin embargo, esta propuesta no es suficiente para el análisis ya que no son solamente las grandes corporaciones "motivadas por la utilidad" las que causan la contaminación, los consumidores individuales también generan contaminación. Todo ello implica que el interés por la utilidad económica, por sí solo, no es la causa principal de la contaminación del medio ambiente.

La contaminación ambiental es generada por la interacción espacial de una serie de factores políticos, económicos, empresariales y/o sociales, que van a ser únicos en cada localización. Los llamados incentivos al funcionamiento de un sistema económico tienen una gran importancia tanto para el desarrollo económico, como para los impactos ambientales que este genera. Un sistema económico, ya sea a nivel local, regional o nacional, generará impactos ambientales negativos si sus *incentivos* no están concebidos para contrarrestarlos. Resulta sumamente importante conocer las especificidades de la actividad económica, así como las características de su entorno para poder diseñar correctamente el modo idóneo de evitar la contaminación ambiental y la degradación de los ecosistemas.

#### **1.4 Medio ambiente y crecimiento económico**

Las cuestiones analizadas con anterioridad sobre los *incentivos* implican problemas macroeconómicos. Existen algunas interrogantes significativas enfocadas en la relación que existe entre las cuestiones ambientales y el

---

<sup>18</sup> Field, B. 1997. op. cit.

comportamiento macroeconómico. Algunas de estas interrogantes se refieren a la relación que existe entre las medidas de control de la contaminación y la tasa de crecimiento económico y de desempleo: ¿La implementación de políticas más estrictas vinculadas con el cuidado y manejo de los bienes ambientales puede provocar una tendencia al retraso del crecimiento económico y al incremento de los niveles de desempleo? ¿Qué impacto provocará la implementación de regulaciones ambientales sobre la tasa de inflación? Por otro lado existen interrogantes relacionadas con los impactos del crecimiento económico sobre la calidad ambiental. ¿El incremento en las tasas de crecimiento implica una mayor degradación ambiental?

Algunas investigaciones concluyen que los niveles de contaminación se incrementan durante las primeras etapas de desarrollo de un país y luego comienzan a disminuir en la medida que los países obtienen recursos adecuados para afrontar los problemas de contaminación<sup>19</sup>. Sin embargo la afirmación anterior está sujeta a debate ya que no en todos los casos los niveles de contaminación han sido los mismos y las decisiones políticas para enfrentarlos no se han implementado del mismo modo ni han tenido idénticos resultados. Es por ello que resulta sumamente importante analizar detalladamente las relaciones existentes entre el comportamiento macroeconómico y la calidad ambiental.

#### **1.4.1 Interacciones medio ambiente-actividad económica**

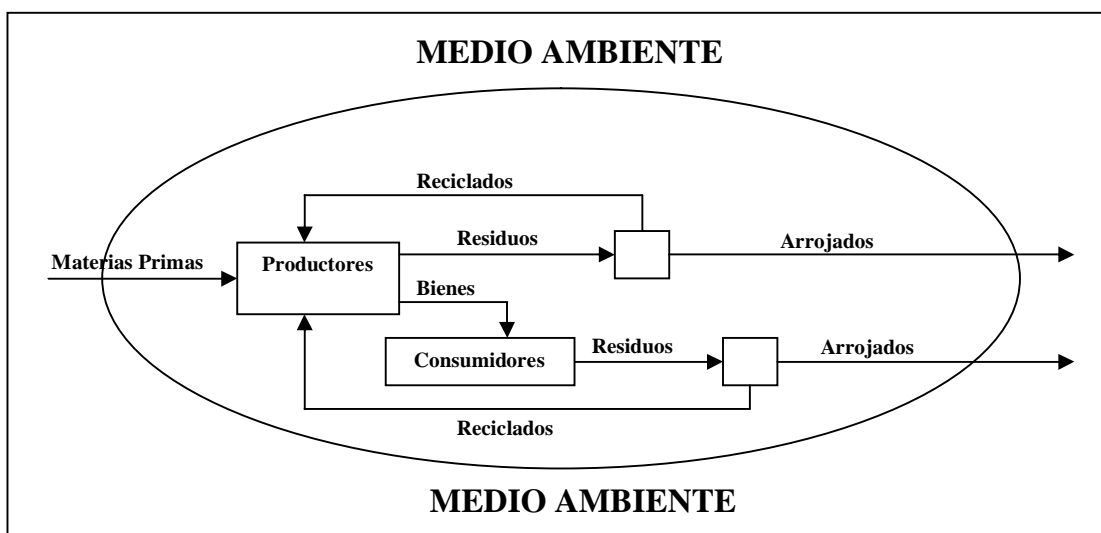
La figura 1.1 constituye una representación de las complejas relaciones que se producen entre la actividad económica y el medio ambiente. Todos los elementos que aparecen dentro del círculo forman parte del sistema económico, el cual se encuentra incluido dentro del medio ambiente.

---

<sup>19</sup> Field, B. 1997. op. cit.

En esta representación la actividad económica se divide en dos categorías: *productores* y *consumidores*. La categoría *productores* incluye las empresas que transforman materias primas e insumos procedentes del medio ambiente y los convierten en productos útiles; también se incluyen empresas públicas y organizaciones sin ánimo de lucro. Los materiales e insumos primarios tomados del ambiente natural con fines productivos generalmente son combustibles, minerales, madera, agua, petróleo y gas natural entre otros. Los bienes y servicios generados por los *productores* se distribuyen hacia los *consumidores*<sup>20</sup>. La categoría *consumidores* incluye a todas aquellas personas o entidades que hacen uso (sin fines productivos) de los bienes provenientes de los *productores*.

**Figura 1.1: Interacciones entre el medio ambiente y la actividad económica.**  
(Fuente: Field, 1997)



La producción y el consumo generan *residuos*, los cuales pueden ser arrojados al aire, al agua, o ser depositados sobre el suelo. Los desechos de energía en forma de calor, ruido o radioactividad también son considerados residuos importantes de la producción. Por otra parte, los consumidores son responsables de la generación de cantidades considerables de residuos, los cuales se ubican principalmente en los alcantarillados domésticos y en las emisiones producidas por los automóviles.

<sup>20</sup> Este modelo no tiene en cuenta los insumos que son tomados directamente del ambiente natural por los consumidores, como pueden ser el agua de un río o arroyo natural, la leña, etc.

El gran potencial de desechos generados por los *consumidores* se encuentra en aquella parte de los bienes de consumo que no está diseñada para ser consumida; aquí podríamos nombrar a los envases, etiquetas u otros materiales acompañantes de dichos bienes y que no son consumidos directamente. Esta parte no diseñada para ser consumida se considera la fuente de generación de grandes cantidades de desechos sólidos al igual que de materiales peligrosos.

¿Qué sucede al final de las dos flechas de descarga de residuos sobre el medio ambiente representadas en la parte derecha de la figura 1.1? Dicho de un modo muy simple esta acción de arrojar residuos al medio ambiente es considerada como emisión, la cual puede ser controlada de modo efectivo o generar contaminación ambiental. Usualmente las emisiones producen cambios en los niveles de la calidad ambiental, la cual a su vez repercute en los seres humanos. La manera como se manejan estos residuos produce un efecto crítico en las etapas posteriores. Algunos de estos residuos pueden recuperarse y reciclarse nuevamente para ser utilizados en procesos productivos o en el consumo. Mediante procesos de tratamiento o manipulación de residuos se logra reducir el poder contaminante de estos y con ello su impacto negativo sobre el medio ambiente.

Usualmente las emisiones tienen como destino uno o varios de los diferentes medios naturales. Existe una tendencia natural a desvincular estos medios naturales; sin embargo, estas emisiones se encuentran obviamente interconectadas, ya que, aunque provienen de las más diversas fuentes, una vez emitidas se fusionan en un solo flujo. Esta mezcla de emisiones constituye un grave problema para los intentos por delimitar responsabilidades de contaminación.

Con solo una fuente emisora la línea de responsabilidad es clara, y si se desea obtener un mejoramiento en la calidad del ambiente se conoce exactamente cuales emisiones deben controlarse; sin embargo, la existencia de múltiples

fuentes provoca que las responsabilidades sean menos claras. En la actualidad se conoce hasta que punto se desea disminuir las emisiones totales, no obstante resulta sumamente complejo distribuir esta reducción total entre las diferentes fuentes. Todo lo anterior constituye la base de los problemas de diseño y ejecución de programas para el control de la contaminación.

Una vez se ha introducido una determinada cantidad de residuos en un medio natural, son los procesos físicos, químicos, biológicos, etc., de dicho sistema los que determinan en qué medida se afecta la calidad del ambiente y por ende, a los seres humanos que se ubican en dicho entorno. Es importante reconocer que las exposiciones provocadas por la emisión de residuos están en función no solo de los procesos físicos, químicos, etc. involucrados, sino también de las elecciones humanas vinculadas con las decisiones acerca de dónde y cómo vivir; así como de las características de los sistemas vivos e inertes dentro de las variables condiciones ambientales.

Ahora es posible desplazar el análisis hacia la competencia de los economistas para explorar las características de la relación entre la producción de mercado y la calidad ambiental. La producción está determinada por las capacidades tecnológicas de la economía, así como por factores ecológicos (comportamiento meteorológico, hidrológico, etc.) del sistema natural en el cual se localiza. En este caso es importante reconocer la importancia del componente social, el cual va a definir, dadas las características tecnológicas y ecológicas, el tipo de producción que se llevará a cabo, así como su nivel de intensidad.

Existe una relación competitiva entre la calidad ambiental y la producción de mercado, más de un factor implica menos del otro. En el largo plazo, la calidad ambiental puede ser menos sustitutiva y más complementaria en cuanto a las producciones económicas convencionales. El entorno natural desempeña el papel de insumo de capital ambiental para el sistema de producción; una baja significativa del capital ambiental puede provocar efectos negativos en la sostenibilidad del sistema económico.

La influencia de las decisiones actuales sobre las futuras posibilidades de producción resultan sumamente complejas; la degradación ambiental no es el único factor que afecta las condiciones futuras, también los desarrollos tecnológicos, así como los cambios que se producen en el conocimiento humano tienen una determinada incidencia. De este modo, las decisiones actuales podrían contraer o expandir los niveles de producción en el futuro dependiendo de factores dinámicos que resultan sumamente difíciles de predecir. Es preciso estar muy atentos para evitar que las decisiones tomadas en el presente pudieran provocar reducciones de los niveles productivos en el futuro debido al empeoramiento de la calidad ambiental o el agotamiento de los recursos naturales. Las reflexiones anteriores hacen alusión a los conceptos uso racional y sostenibilidad. Todo ello implica que, teniendo en cuenta las posibilidades de producción actuales, reducir los impactos ambientales de manera tal que estos no disminuyan los niveles de producción en el futuro.

### ***1.5 Factores económicos que generan hábitos no sostenibles de generación de RSU***

Los conceptos económicos son sumamente importantes para evaluar a los residuos como recursos y no como desechos, así como para introducir elementos relacionados con la sostenibilidad dentro de la discusión sobre las opciones de manejo de los residuos sólidos. A menos que sean considerados todos los costos y beneficios de los sistemas de residuos sólidos, el precio pagado por los clientes no reflejará el uso óptimo de los recursos.

#### **1.5.1 Precios de mercado y costos totales**

De acuerdo con la teoría económica tradicional, los bienes y servicios utilizados en una economía tienen precios que reflejan todos los costos en los cuales se incurrieron durante las etapas previas a su realización en el mercado. Los costos que se incluyen en el precio de un determinado bien o servicio son conocidos como *costos internos*, los cuales se reflejan en los precios de mercado pagados por los consumidores.

Los costos internos incluyen todas las transacciones que ocurren al interior de un sistema económico y que son rastreadas utilizando métodos estándares de contabilidad. Por ejemplo, los costos internos de un Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos incluyen los costos generados por la utilización de camiones de recogida, contenedores, la construcción y el mantenimiento de estaciones de transferencia y selección, así como de rellenos sanitarios, el empleo de trabajadores, las plantas de selección, así como las labores de monitoreo y control, entre otros.

Los costos internos se dividen en costos *variables* y *fijos*. Los costos fijos incluyen amortización de planta, maquinaria y equipos, mantenimiento de rutina y administración y se supone que no varían significativamente con el nivel de operatividad de la actividad. Por su parte los costos variables incluyen mantenimientos vinculados a la operación diaria, el pago a los trabajadores y el combustible; estos costos son proporcionales al nivel de operación de la actividad.

La contabilidad de costos totales constituye una práctica contable que incluye todos los costos internos conocidos y susceptibles de medición y los incorpora al precio de mercado<sup>21</sup>. Este método incluye costos en los que incurrirán los sistemas en el futuro; por ejemplo, los costos en los que se incurre durante las etapas de cierre y post-cierre de un relleno sanitario deben ser incluidos en un precio de contabilidad de costo total<sup>22</sup>.

Los SMIRS, además de consolidar los métodos tradicionales de disposición final de RSU en los rellenos sanitarios, se enfocan en la implementación de diversos programas educacionales, de reciclaje y de reducción de desechos. Los costos de estos programas no aparecen incluidos dentro de las actividades de disposición final, sin embargo son financiados con fondos destinados a dichas actividades.

---

<sup>21</sup> Bernow, S. et al. *Ecological Tax Reform*. Ecological Tax Reform Workshop. USA. 1996.

<sup>22</sup> Work Group. *Solid waste costs and barriers to recycling*. Beyond waste: Washington State Solid Waste Plan. Issue paper 10. Publication No. 02-07-030. Washington State Department of Ecology, USA. 2002.

Todo lo anterior evidencia una fuga de costos que no se incluyen dentro del precio final de las actividades de manejo de RSU.

Uno de los objetivos fundamentales que se plantean en la actualidad los gobiernos locales es el de impulsar programas de reciclaje y la reducción de los volúmenes de disposición final de RSU mediante la disminución de los niveles de generación de desechos en las fuentes; sin embargo esta reducción provoca una disminución de los costos de las actividades de disposición final –menos volumen a manejar implica menos recursos a emplear con este fin–.

Usualmente los recursos monetarios que se recaudan por concepto de actividades de manejo de RSU dependen directamente del volumen de estos; por ello, con los programas de reciclaje y reducción de los niveles de generación de RSU estos volúmenes disminuyen considerablemente, lo cual trae como consecuencia una disminución de los fondos monetarios de los que se dispone. Aquí se genera un conflicto de intereses: por un lado la estrategia de los programas públicos busca reducir los volúmenes de generación de residuos e incentivar el reciclaje, y por el otro esta reducción implica una disminución de los fondos monetarios sobre los cuales descansan las actividades y los diferentes programas públicos vinculados con el manejo de los RSU.

Una posible solución para este conflicto de intereses se podrá alcanzar si separamos, por un lado las actividades directas de manejo de RSU (recogida, selección, reciclaje y disposición final), y por el otro los diferentes programas públicos vinculados con los RSU (programas educativos y de reducción de los volúmenes de generación de residuos). Una vez lograda esta separación de las actividades, la contabilidad de costos totales puede aportar soluciones interesantes y efectivas al conflicto de intereses; sin embargo persistirá una brecha en la contabilidad ya que este método no incluye los *costos externos*.



Los costos externos son aquellos costos que se encuentran fuera del sistema económico y que no se contabilizan mediante métodos contables tradicionales<sup>23</sup>. Por ejemplo, cuando una compañía deposita residuos o desechos productivos sobre la tierra, se generan externalidades negativas tales como la contaminación de la atmósfera, el suelo y las aguas subterráneas. Dichas externalidades negativas implican costos asociados a la degradación del medio ambiente, los cuales no son asumidos por la compañía que depositó sus desechos sobre la superficie terrestre y por ello tampoco aparecerán reflejados en el precio de mercado de sus productos finales. Sin embargo, partiendo del supuesto que existen recursos naturales que proporcionan beneficios a todos los seres humanos (ecosistemas, hábitat saludable, aire, recursos hídricos, etc.), todos debemos contribuir por los daños ocasionados a dichos recursos. Resumiendo, es posible afirmar que todos debemos sufragar los costos no pagados por el productor que generó contaminación con su actividad productiva.

La contabilidad monetaria de estos costos externos resulta sencilla en algunos casos, sin embargo, en ocasiones su cuantificación se torna sumamente compleja. Cuando algunos de los costos de producir un bien o servicio no aparecen reflejados en su precio de mercado, los recursos utilizados tienden a estar sobre utilizados en la producción de dichos bienes y subutilizados para otros propósitos, o sea que los recursos no están siendo empleados del modo más eficiente posible. Dado que los compradores no están pagando el precio real que debieran pagar si se cargaran los costos externos al precio de mercado, estos comprarán mayores volúmenes de estos productos y por tanto los productores serán estimulados a producir más de estos bienes. De este modo se generará un efecto de causación circular en el cual recibirán beneficios los productores y consumidores, los cuales no pagarán todos los costos causados por la producción de estos bienes o servicios, y serán afectados aquellos que no recibieron los beneficios del uso de dichos bienes y servicios. Es así como los costos externos distorsionan la ubicación eficiente de los recursos en una economía.

Los impactos ambientales producidos por el biogás liberado a la atmósfera

---

<sup>23</sup> Work Group. *Solid waste costs and barriers to recycling*. 2002. op. cit.

procedente de los vertederos pueden ser considerados como externalidades negativas que no son internalizadas dentro de los costos de manejo de RSU ya que no se incorporan a los precios que pagan los ciudadanos por este concepto. Es necesario tener en cuenta que los vertederos emiten biogás durante un determinado período de tiempo y los efectos negativos sobre el ambiente afectarán fundamentalmente a las generaciones futuras y no a las actuales.

### **1.5.2 Modificaciones al precio de mercado: internalización de los costos externos**

La contabilidad de costos totales constituye tan solo un primer paso, sin embargo no proporciona la solución final. Numerosos efectos ambientales de gran importancia son omitidos por los sistemas de costos totales debido a que no aparecen reflejados en los costos de mercado tradicionales y en sus precios de mercado.

Uno de los métodos empleados para lograr la internalización de los costos ha sido la creación de *sistemas de permisos comerciables*<sup>24</sup>. Estos sistemas establecen límites sobre el monto total de emisiones de agentes contaminantes para cada generador y al mismo tiempo permite a los generadores comprar y vender dichos permisos. El resultado final de este comercio de permisos reflejará la actitud de los productores según la cual unos excederán sus límites iniciales y otros se quedarán por debajo de ellos.

El precio de mercado de estos permisos de emisiones facilitará el cálculo de los costos para liberar agentes contaminantes o para realizar inversiones que garanticen menores niveles de contaminación. Si desean cubrir los costos de emisión, los fabricantes deberán incluir estas transacciones dentro del precio de mercado de su producto.

---

<sup>24</sup> Work Group. *Solid waste costs and barriers to recycling*. 2002. op. cit.

Otro enfoque utilizado para internalizar los costos son los llamados *impuestos sobre emisiones*<sup>25</sup>. Suponiendo la ausencia de mercados para la comercialización de permisos para liberar agentes contaminantes, la teoría económica sugiere la imposición de costos a los productores y consumidores de bienes y servicios que provoquen contaminación ambiental. Estos impuestos sobre emisiones deben ser lo suficientemente elevados para garantizar que los montos pagados sean suficientes para cubrir los costos externos de contaminación.

Si se lograra la internalización de todos los costos externos, los productos del mercado serían sumamente eficientes ya que todos los productores y consumidores pagarían por todos los impactos provocados por la producción y el consumo de los bienes y servicios utilizados. De este modo el mercado demandaría únicamente el monto de recursos y la contaminación que los consumidores estarían dispuestos a pagar.

En la práctica existen numerosos obstáculos a la internalización de los costos. Una correcta evaluación de los costos externos constituye un proceso sumamente complejo. Generalmente resulta imposible llevar a cabo el rastreo de las rutas de los contaminantes a través de los ecosistemas; así como evaluar los daños generados en el presente y el futuro. Aún si se lograra una correcta evaluación de los daños y riesgos generados por los contaminantes, la asignación de un valor monetario apropiado a los costos externos puede resultar controversial. Más allá de las limitaciones, la evaluación de los costos externos constituye una poderosa herramienta.

### **1.6 Modelos económicos vinculados a la generación de RSU**

En la literatura económica, la discusión acerca de los problemas vinculados a la generación de RSU se concentra en el diseño de una política que conduzca a un manejo efectivo y adecuado, tanto desde el punto de vista social como económico de los residuos sólidos. A continuación se desarrolla la caracterización del modelo dominante en materia de política de manejo de RSU.

---

<sup>25</sup> Work Group. *Solid waste costs and barriers to recycling*. 2002. op. cit.

### 1.6.1 El modelo descriptivo predominante

En esta sección se hace referencia al modelo propuesto por Kinnaman y Fullerton<sup>26</sup>.

El modelo parte del supuesto de la existencia de  $N$  idénticos hogares, cada uno de los cuales maximiza su utilidad, la cual se define sobre el consumo ( $c$ ). Dicho consumo genera desechos los cuales pueden ser reciclados ( $r$ ) o pueden ser susceptibles de ser recolectados ( $g$ ) para su disposición en otros sitios especialmente diseñados para ello. En este caso se emplea la notación  $c=c(g,r)$  para representar las diversas combinaciones de  $g$  y  $r$  que son consistentes para cualquier nivel particular de consumo. Dados los precios pagados por el consumo ( $p_c$ ), y la recolección de los desechos ( $p_g$ ), y los recibidos a cambio de los materiales para reciclaje ( $p_r$ ), un hogar con un nivel de ingresos ( $y$ ) tomará decisiones de disposición de residuos que maximicen su utilidad ( $u$ ), según la siguiente ecuación:

$$u = u(c) = u[c(g, r)]$$

Sujeta a una restricción de presupuesto del tipo:

$$y = p_c c(g, r) + p_g g - p_r r$$

En este modelo los productores eligen entre materiales vírgenes ( $v$ ) o reciclados ( $r$ ) para producir  $c$  de acuerdo a la siguiente función de producción:

$$c = f(v, r)$$

Dados los precios  $p_r$  y  $p_v$  (para los materiales reciclados y vírgenes respectivamente) los productores eligen una combinación de materiales que maximice sus ganancias:

$$\pi = p_c f(v, r) - p_v v - p_r r$$

---

<sup>26</sup> Kinnaman, T. C. & Fullerton, D. *The economics of residential solid waste management*. Department of Economics, Bucknell University & Department of Economics University of Texas. USA. 1999.

En este modelo las firmas emplearán materiales vírgenes y reciclados hasta que el costo marginal iguale el ingreso marginal. Los hogares llevarán a cabo su selección en base a recolección y reciclaje del mismo modo. Resulta sencillo apreciar que, dado que los agentes en este modelo internalizan todos los costos y beneficios de sus decisiones, los recursos son ubicados de modo eficiente y se generan las cantidades óptimas de desechos para recolección y reciclaje.

Sin embargo, el monto total de residuos sólidos depositados ( $G=N_g$ ) puede emitir olores desagradables, contaminar las aguas o incidir negativamente en el clima mundial. Se estima que, como promedio, el 6% de las emisiones totales de metano ( $CH_4$ ) que son liberadas a la atmósfera terrestre provienen de los gases emitidos por los rellenos sanitarios<sup>27</sup>. La utilidad de los hogares puede ser impactada por estos efectos, por lo tanto ahora se asume que  $u=u(c,G)$  donde  $u_G < 0$ . Bajo este supuesto los hogares fracasan en la internalización de los costos sociales totales de sus decisiones acerca de la disposición de residuos. Una gran cantidad de desechos para la recolección y poco reciclaje es generado en una economía descentralizada.

Con el objetivo de internalizar los costos de disposición los economistas han sugerido varios esquemas de impuestos y subsidios. A continuación nos referimos a la literatura económica dedicada al diseño de las políticas de impuestos y subsidios que pueden alcanzar una eficiente distribución de recursos en presencia de costos externos de disposición de desechos.

Los hogares pueden ser gravados con impuestos por cada unidad de residuos recolectados con fines de disposición a una tasa  $t_g$  o, en contraste, subsidiados por sus esfuerzos de reciclaje a una tasa  $s_{hr}$ . Los hogares también pueden ser forzados a pagar una cuota avanzada –en el momento en que realizan la compra de un determinado artículo de consumo– por concepto de disposición de residuos, a una tasa  $t_c$ . Bajo estos esquemas de política, los hogares maximizarían su utilidad según la siguiente ecuación:

---

<sup>27</sup> Beede, D. N. & Bloom, D.E. *The economics of Municipal Solid Waste*. The World Bank Research Observer, 10 (2). USA. 1995.

$$u = u[c(g, r), G]$$

Sujeta a la siguiente restricción presupuestaria:

$$y = (p_c + t_c)c(g, r) + (p_g + t_g)g - (p_r + s_{hr})r$$

El empleo de materiales vírgenes por parte de los productores puede ser gravado a una tasa  $t_v$ , en cambio el uso de material reciclado puede ser subsidiado a una tasa  $s_{fr}$ , lo cual genera la siguiente función de ganancia:

$$\pi = p_c f(v, r) - (p_v + t_v)v - (p_r - s_{fr})r$$

La teoría económica anteriormente expuesta ha determinado que combinaciones de este tipo de políticas de impuestos y subsidios puede alentar a una economía descentralizada a alcanzar una eficiente distribución de los recursos.

La aproximación más directa en materia de internalización de costos de disposición de residuos se basa en la imposición de un gravamen ( $t_g$ ) para cada bolsa de desechos presentada por cada hogar. Tradicionalmente la mayoría de los hogares han pagado los servicios de recolección y disposición de residuos a través de una cuota mensual o trimestral plana, o mediante los impuestos sobre los ingresos. Lo anterior provoca que todos los hogares paguen el mismo monto de dinero, o sea que no haya diferencia entre aquellos que generan grandes cantidades de desechos y los que generan menores cantidades, por tanto el costo por cada bolsa de desechos ( $p_g + t_g$ ) es cero, aunque en la realidad el costo social marginal es considerablemente mayor que cero. La implementación de un impuesto por cada bolsa de desechos puede imponer a los hogares la internalización de los costos marginales sociales de recolección y disposición final.

Robert Jenkins<sup>28</sup> utilizó un panel de doce ciudades con imposición directa de precios y estimó que la obligación del pago de un precio por generación de residuos de acuerdo a su costo social marginal podría provocar reducciones en la cantidad de desechos generados por cada hogar y en consecuencia se lograría incrementar el nivel de bienestar social. Fullerton & Kinnaman<sup>29</sup> y Podolsky & Spiegel<sup>30</sup> también estimaron los beneficios potenciales de la imposición de una cuota a la generación de residuos por concepto de recolección y disposición.

La aplicación del resto de políticas para lograr una distribución correcta y eficiente de los recursos se vuelve innecesaria con la imposición directa sobre los residuos (Fullerton & Kinnaman<sup>31</sup> y Palmer & Walls<sup>32</sup>). En la misma medida que los hogares deban hacer frente al costo social total de sus decisiones sobre disposición de residuos, estos tomarán dichas decisiones de un modo eficiente.

Cualquier incremento en los niveles de reciclaje puede provocar una reducción en los precios de los materiales reciclados, lo cual provocará que dichos materiales se vuelvan más atractivos para los productores sin tener que aplicar un impuesto sobre la utilización de materiales vírgenes.

Dinan<sup>33</sup> encontró que la aplicación simultánea de un impuesto sobre materiales vírgenes y una cuota directa sobre la generación de residuos no resultaba eficiente.

---

<sup>28</sup> Jenkins, R. R. *The economics of Solid Waste Reduction*. Edward Elgar Publishing Limited. England. 1993.

<sup>29</sup> Fullerton, D. & Kinnaman, T. C. *Household responses to pricing garbage by bag*. American Economic Review, 86 (4). USA. 1996.

<sup>30</sup> Podolsky, M. & Spiegel, M. *Municipal waste disposal: unit-pricing and recycling opportunities*. Publick Works Management and Policy, 3 (1). USA. 1998.

<sup>31</sup> Fullerton, D. & Kinnaman, T. C. *Garbage, recycling and illicit burning or dumping*. Journal of Environmental Economics and Management, 29 (1). USA. 1995.

<sup>32</sup> Palmer, K. & Walls, M. *Materials use and solid waste: an evaluation of policies*. Resources for the future discussion paper. USA. 1994.

<sup>33</sup> Dinan, T. M. *Economics efficiency effects of alternative policies for reducing waste disposal*. Journal of Environmental Economics and Management, 25 (3). USA. 1993

Otra ventaja de la imposición directa de los residuos se relaciona con el nivel de información requerido por los tomadores de decisión, el cual se reduce únicamente a la determinación del costo social total de cada bolsa de desechos. Repetto et al.<sup>34</sup> estimó este costo en un rango de entre 1.43 y 1.83 dólares por bolsa en dependencia de los costos sociales y privados de disposición<sup>35</sup>.

No obstante, la investigación científica y la evidencia empírica relacionada con la imposición directa de la generación de residuos han sido criticadas por la literatura económica. Primeramente se alude al problema de los vertederos ilegales, los cuales se afirma que son el resultado de excesivas cargas impositivas en materia de generación de residuos sobre sectores pobres. Otro problema es el hecho que los costos de implementación de los programas pueden afectar los beneficios sociales calculados previamente (Fullerton y Kinnaman)<sup>36</sup>.

En respuesta a estas críticas se desarrollaron modelos que efectivamente comprobaron que en algunos casos puede ocurrir que los costos de implementación de una política de imposición directa sean tan significativos que, en efecto, superen los beneficios esperados. En tales casos se propone la aplicación de políticas alternativas descritas anteriormente (subsidios).

### **1.6.2 Análisis económico de las alternativas de disposición de residuos sólidos**

El problema de la disposición final de los residuos sólidos puede ser solucionado una vez que sean determinadas las tecnologías de disposición adecuadas (rellenos sanitarios o incineradores), el tamaño de estas y su ubicación, de manera tal que se logren minimizar los costos totales del sistema. El objetivo principal será

---

<sup>34</sup> Repetto, R., Dower, R. C., Jenkins, R. & Geoghegan, J. *Green fees: how a tax shift can work for the environment and the economy*. The World Resources Institute. USA. 1992

<sup>35</sup> Esta estimación incluye los costos privados y externos de recolección y disposición.

<sup>36</sup> Fullerton, D. & Kinnaman, T. C. 1996. op. cit.



entonces el diseño de un sistema de disposición de desechos que minimice los costos sociales y se encuentre sujeto a las regulaciones institucionales de tecnología, salud y seguridad social. Los costos sociales incluyen tanto costos financieros como los equivalentes monetarios de los daños provocados sobre los bienes públicos y ambientales. Según Swallow, Opaluch y Weaver<sup>37</sup> la ecuación principal del modelo sería la siguiente:

$$\min_j FC(J) \bullet EC(J)$$

Donde:

$$J \bullet \bullet$$

Sujeto a:

$$HS(j) \bullet 0$$

*J*: Vector de características que describen al sitio.

*FC(J)*: Costos fuera de bolsillo<sup>38</sup> para la implementación y operación del sitio (incluye la transportación).

*EC(J)*: Medida monetaria de los daños ambientales locales y regionales asociados a la selección del sitio *J*.

• : Representa el universo de posibles sitios.

*HS(J)*: Regulaciones tecnológicas, de salud y seguridad.

Malarin y Vaughan<sup>39</sup> desarrollaron el modelo propuesto por Dooley et al.<sup>40</sup> para un

---

<sup>37</sup> Swallow, S. K., Opaluch, J. J. & Weaver, T. F. *Siting Noxious Facilities: An Approach that Integrates Technical, Economic, and Political Considerations*. Land Economics. 68. USA. 1992.

<sup>38</sup> Son conocidos como costos *out-of-pocket*. En este caso se trata de la parte de los costos que debe enfrentar el proyecto y que no son cubiertos por las aportaciones de los ciudadanos.

<sup>39</sup> Malarin, H. & Vaughan, W. J. *An approach to the economic analysis of solid waste disposal alternatives. A good practice paper*. USA. 1997.

<sup>40</sup> Dooley, F. J., Bangsund, D. A., Leistriz, F. L. & Fischer. W. R. *Estimating Optimal Landfill Sizes and*

caso de estudio específico. El objetivo del modelo consistía en minimizar los costos de operación (fuera de bolsillo) totales anuales y los costos de inversión anualizada para el transporte y la disposición final de los desechos generados. Dicha minimización se lograría a través de la configuración de un sistema que lograra vincular, de modo eficiente, las asignaciones de transporte de desechos, la ubicación del vertedero y las capacidades a trabajar. Todo lo anterior queda visualizado en la siguiente ecuación:

$$\min_{IS_{ij}, GS_{kji}, VS_{ij}} C \cdot \sum_{i,j} FC_{ij} IS_{ij} + \sum_{i,j} VC_{ij} VS_{ij} + \sum_{i,k,j} TC_{kji} GS_{kji}$$

La minimización del costo está sujeta al siguiente grupo de restricciones:

$$(1) \sum_{i,j} GS_{kji} \leq WASTE_k, \quad k$$

$$(2) \sum_k GS_{kji} \leq VS_{ij}, \quad i,j$$

$$(3) CAPACITY_i \leq \sum_{j} IS_{ij} \leq VS_{ij}, \quad i,j$$

$$(4) IS_{ij} \in \{0,1\}, \quad j$$

Donde:

C: Costos de inversión, operación y transporte.

$FC_{ij}$ : Costo fijo anualizado de construcción y equipo de capital para un vertedero de capacidad  $i$  en un sitio  $j$ .

---

*Locations in North Dakota.* Agricultural Economics Report No. 294. Fargo, North Dakota: North Dakota State University, Department of Agricultural Economics. USA. 1993.

$IS_{ij}$ : Variable entera binaria.

$VC_{ij}$ : Costo variable por tonelada de operar un vertedero de capacidad  $i$  en el sitio  $j$ .

$VS_{ij}$ : Monto anual de toneladas transportadas a un vertedero de capacidad  $i$  en el sitio  $j$ .

$TC_{kji}$ : Costo de transportar una tonelada de desechos desde la jurisdicción  $k$  a un vertedero de capacidad  $i$  en el sitio  $j$ .

$GS_{kji}$ : Monto anual de toneladas de desechos transportadas desde el condado  $k$  a un vertedero de capacidad  $i$  en el sitio  $j$ .

$WASTE_k$ : Desechos generados anualmente en el condado  $k$ .

$CAPACITY_i$ : Monto anual de desechos que pueden ser aceptados en un vertedero de capacidad  $i$ .

$i$ : Índice de posibles capacidades del vertedero.

$j$ : Índice de diferentes sitios para el vertedero.

$k$ : Índice de generación de desechos de las diferentes jurisdicciones de un país.

La primera restricción establece la disposición de todos los desechos generados anualmente en cada jurisdicción. La segunda restricción establece que el monto total de desechos provenientes de todas las jurisdicciones que fueron enviadas a un determinado vertedero de capacidad  $i$  y ubicado en un lugar dado  $j$ , debe ser igual al monto recibido en ese vertedero. La tercera restricción plantea que la capacidad de almacenaje de los vertederos en operación tiene que ser igual o mayor que el monto de residuos sólidos recibidos por ellos. La última restricción permite solamente una capacidad de vertedero para ser construida en cualquier sitio.

Este es un modelo estático que representa un período de proyectos superior a los 20 años. La dimensión del tiempo es manejada por los costos de capital anualizados a una determinada tasa de interés. Los montos de generación anuales de desechos son estimados como el promedio anual de la generación total de residuos desde el primero hasta el último año de duración del proyecto;

aquí se asume una tasa de crecimiento que refleja el efecto neto del crecimiento de la población, de la recuperación económica de recursos y de las actividades de reciclaje, las cuales son consideradas exógenas al modelo.

Como se puede apreciar existe un factor clave dentro del modelo: la estimación del volumen de generación de residuos sólidos. Sin embargo esta estimación se realiza a través del análisis del comportamiento de variables que son consideradas exógenas al modelo. No cabe duda que una correcta estimación de la generación de residuos conducirá al éxito, en cambio una estimación errónea provocará que se malgasten recursos en un programa basado en un escenario irreal.

## ***1.7 Conclusiones***

Hasta aquí se han expuesto los aspectos principales de la discusión acerca de las políticas de manejo eficiente de RSU. Evidentemente el diseño de política constituye la base del éxito futuro y el aspecto clave en este sentido es la correcta estimación de los volúmenes de generación de residuos en el futuro. Este proceso de estimación debe llevarse a cabo de manera cuidadosa y tratando de incluir los factores que verdaderamente influyan en la generación de residuos.

Como se ha podido apreciar existen una serie de factores que influyen negativamente en las políticas de manejo de RSU a nivel mundial. El primer factor lo constituyen las externalidades negativas generadas de manera irresponsable durante los procesos de generación, recolección, selección y disposición final de los residuos y que son responsables de la contaminación ambiental del suelo, las aguas subterráneas y la atmósfera planetaria. Relacionado con este primer factor se halla el hecho de la no internalización de los costos externos asociados a procesos productivos y de consumo generadores de RSU. Las estrategias implementadas para la internalización de los costos varían de un caso a otro ya que existe una realidad única para cada una de las localidades, países y regiones, esto implica la no existencia de una metodología única en este sentido, sino solo algunos aspectos teóricos y experiencias de estudios de casos específicos.

Otro factor que incide negativamente en el diseño de políticas de manejo de RSU es la ausencia de datos confiables relacionados con los volúmenes de generación de RSU, lo cual provoca que sea necesario hacer estimaciones muy cuidadosas para no incurrir en errores que puedan afectar la implementación de las políticas.

Existen factores socioeconómicos directamente relacionados con la generación de residuos. Estos factores varían de un contexto geográfico a otro por lo cual es preciso tener cuidado a la hora de incluirlos en las estimaciones. Entre los principales factores podemos encontrar los hábitos de consumo, el número de habitantes, los niveles de ingresos, la actividad industrial, el número de habitantes por vivienda, las tasas de desempleo, el costo de los servicios de manejo de residuos, entre otros.

Dada la gran complejidad que requiere el diseño e implementación de políticas públicas relacionadas con el manejo de los RSU, y los problemas relacionados con la disponibilidad de datos; esta investigación se limitará a llevar a cabo una estimación de los volúmenes de generación de RSU para México. Una vez obtenidos los resultados de las estimaciones y teniendo en cuenta la composición actual de los RSU, se presentarán algunas sugerencias relacionadas con el aprovechamiento productivo de estos residuos.

## **Capítulo 2. Contaminación ambiental y RSU**

Los procedimientos utilizados para la gestión de los residuos sólidos domésticos en las ciudades de los diferentes ámbitos geográficos del planeta son muy diversos. Ello se debe, por un lado, a los distintos factores que les afectan, y por otro a la dificultad de desarrollar una solución universal para la implantación de instalaciones eficaces que gestionen un servicio imprescindible, como es la evacuación de los residuos del ámbito urbano.

Actualmente puede constatarse el aún incipiente desarrollo de esta instalación urbana, sobre todo si se la compara con otras infraestructuras. Incluso, en sentido estricto, algunos de los sistemas de evacuación de residuos no pueden ser considerados como instalaciones urbanas, puesto que constan, básicamente, de algunos elementos de almacenaje temporal de los residuos y de unos pocos camiones de recogida. Por otro lado, en el ámbito legal y normativo más reciente, pese a su pretendida severidad en materia de protección medioambiental, no se aprecian exigencias dirigidas a la unificación y normalización de los sistemas de recogida, problema clave en materia de sostenibilidad.

### ***2.1 Tipos de contaminantes***

Los residuos generados por las actividades de producción y consumo se incluyen dentro de una amplia y compleja clasificación de materia y energía; es por ello que resulta necesario distinguir entre los diversos tipos de emisiones de acuerdo con sus características y los impactos que producen.

### **2.1.1 Contaminantes acumulativos y no acumulativos**

Una interrogante de vital importancia sobre los contaminantes ambientales es la relacionada con el hecho de si estos se acumulan con el paso del tiempo o tienden a disiparse poco después de ser expulsados<sup>41</sup>. El ruido es un contaminante no acumulativo ya que mientras la fuente generadora está en operación el ruido se manifiesta en el aire circundante, pero en el mismo instante que la fuente deja de funcionar, cesa el ruido. En cambio, los desechos radioactivos constituyen un tipo de contaminante estrictamente acumulativo ya que se acumulan en el ambiente, prácticamente en las mismas cantidades que son emitidos.

Entre estos dos extremos (acumulativos y no acumulativos) existe una gran variedad de efluentes que son acumulativos hasta cierto punto, pero no completamente. Sea o no acumulativo un contaminante, esencialmente se tiene el mismo problema básico: tratar de corregir los deterioros ambientales y relacionar estos con los costos para reducir las emisiones. Sin embargo, esta tarea es mucho más difícil para contrarrestar los contaminantes acumulativos que para los contaminantes no acumulativos. En los primeros la relación es más compleja ya que las emisiones de la actualidad –dado que se acumulan y se suman a la concentración de contaminantes ya existentes– ocasionarán daños tanto en el presente como en el futuro; esto implica que la cantidad actual de un contaminante acumulativo en el ambiente puede estar solo débilmente relacionada con las emisiones actuales. En cambio, para los contaminantes no acumulativos las concentraciones en el ambiente están estrictamente en función de las emisiones actuales, o sea, reducir estas a cero conduciría a concentraciones cero en el ambiente.

---

<sup>41</sup> Field, B. 1997. op. cit.

### **2.1.2 Contaminantes locales, regionales y globales**

Algunas emisiones solo tienen impacto en regiones restringidas y localizadas, mientras que otras afectan a regiones más amplias. En este caso el problema radica en la amplitud de los efectos provocados por una determinada fuente de contaminación. Mientras que la contaminación visual o el ruido tienen solo efectos locales, existen otros tipos de contaminantes que provocan amplios impactos en una gran región e incluso en el ambiente global. Por ejemplo, los efectos por el agotamiento del ozono en la atmósfera debido a las emisiones de GEI en varios países inducen cambios químicos de largo plazo en la estratosfera.

Generalmente los problemas ambientales a nivel local suelen ser más fáciles de manejar que los regionales, nacionales o mundiales. En las últimas décadas han proliferado los problemas ambientales de gran impacto internacional y mundial; sin embargo, aún la solución se torna muy lejana debido fundamentalmente a la ausencia de instituciones políticas internacionales que logren conciliar posturas e implementar programas efectivos que logren controlar el nivel de emisiones de contaminantes globales.

### **2.1.3 Contaminantes de fuentes puntuales y no puntuales**

Es posible diferenciar las fuentes de contaminación en términos de la facilidad con que pueden identificarse los puntos reales de descarga hacia el medio ambiente. Resulta sencillo identificar los puntos por los cuales una gran planta de energía descarga sus emisiones de dióxido de sulfuro hacia la atmósfera. Estos residuos se denominan *contaminantes de fuentes puntuales*, ya que se conoce con certeza el sitio a través del cual se introducen en el medio ambiente. Sin embargo, existen muchos contaminantes para los cuales no existen puntos de expulsión claramente definidos. Un ejemplo pudieran ser los químicos agrícolas que usualmente fluyen en la tierra en forma dispersa o disuelta; aunque estos químicos pueden contaminar corrientes específicas de agua



subterránea, no existe un único conducto de escape hacia el ambiente natural. Este tipo de materiales residuales se conocen como un tipo de *contaminante de fuentes no puntuales*<sup>42</sup>.

Los contaminantes de fuentes puntuales son, por lo general, más fáciles de manejar que los contaminantes de fuentes no puntuales, debido a que se conoce exactamente el modo en que ingresan al medio ambiente y por ello resulta más sencilla su medición y monitoreo. Esto permite estudiar las conexiones existentes entre las emisiones de estos residuos y el modo en que impactan el ambiente natural. Todo lo anterior implica que será más factible, por lo general, diseñar, implementar, monitorear y administrar políticas de control de contaminantes que hayan sido expulsados por fuentes puntuales, que para los contaminantes procedentes de fuentes no conocidas.

#### **2.1.4 Emisiones continuas o esporádicas**

Las emisiones generadas por las plantas de energía eléctrica o el sistema de alcantarillado pueden ser consideradas, en mayor o menor medida, continuas. Por ejemplo, las plantas son diseñadas para estar en funcionamiento continuo, no obstante el ritmo de operación puede variar durante el transcurso de un día, una semana o un determinado período de tiempo. Sin embargo, el hecho de que las emisiones sean continuas no significa que los daños también sean constantes; factores meteorológicos, hidrológicos y climáticos en general, pueden convertir las emisiones continuas en daños variables.

También existen contaminantes que son emitidos esporádicamente, un ejemplo clásico son los derramamientos accidentales de químicos o de petróleo. En este caso, el desafío consiste en diseñar y manejar un sistema que reduzca la probabilidad de descargas accidentales.

---

<sup>42</sup> Field, B. 1997. op. cit.

### **2.1.5 Daños ambientales no relacionados con emisiones**

Existe un gran número de factores y fenómenos que provocan impactos negativos en el medio ambiente y que no son provocados por descargas de residuos. Por ejemplo, la transformación de suelo en la periferia urbana con diversos usos (residenciales y comerciales), destruye el valor ambiental de estos terrenos, aquí se puede incluir su valor como ecosistema natural (hábitat de diversas especies, características específicas para el desarrollo de la actividad agrícola o turística, etc.). En este tipo de fenómenos resulta importante comprender los incentivos que inducen al comportamiento humano a tomar este tipo de decisiones, y tratar de modificar dichos incentivos en los casos en que resulte conveniente mediante la implantación de programas y políticas apropiadas.

### **2.2 El diseño de políticas ambientales**

Uno de los objetivos fundamentales de la Economía Ambiental es el de desempeñar un importante papel en el diseño de políticas públicas, las cuales deben estar enfocadas a la optimización en la explotación de recursos naturales de manera tal que se garantice una adecuada calidad ambiental. Existe un gran número de programas y políticas públicas con enfoques ambientales a nivel local, estatal, regional, nacional e incluso internacional, los cuales varían en su nivel de efectividad. Algunas de estas herramientas públicas muestran un diseño apropiado que se evidencia en sus impactos positivos; sin embargo otras revelan imprecisiones durante su diseño e implementación que ocasionan gastos considerables de dinero, recursos y tiempo.

Resulta común que al proceso de diseño no se le brinde toda la atención que merece; sin embargo esta fase resulta clave para el éxito de la política. Es en esta etapa donde se definen los objetivos a partir de un estudio previo de los problemas que se pretenden solucionar, aquí se especifica no solo la metodología de implementación, sino también los recursos de los cuales se debe disponer. El éxito o fracaso de los programas o políticas de este tipo se

evalúan en dependencia de la consecución de las metas previstas en base al mejoramiento de la calidad ambiental de acuerdo con los recursos invertidos.

El diseño de metodologías que permitan valorar los impactos positivos y negativos al medio ambiente de las políticas encuentra un importante obstáculo en la no existencia de mercados para dichos impactos, la cual está relacionada con la no asignación de derechos de propiedad<sup>43</sup>. Aquí es posible afirmar que no existen los incentivos precisos para que la explotación de los recursos ambientales se lleve a cabo utilizando la lógica económica que implica que, cuanto más escasos son los recursos mayor será el precio que habría que pagar por su utilización; o la lógica que supone que, si el recurso tiene propietario este tendrá en cuenta no sólo la tasa a la que puede explotarlo en el presente sino las tasas de explotación posible en períodos futuros, evitando así el hecho de agotarlo rápidamente.

Una de las explicaciones atribuidas a esta degradación ambiental se basa en el hecho que los agentes económicos no incorporan, subestiman o no se sienten responsables de los costos que sus actividades producen a la sociedad y el medio ambiente. Esta diferencia entre el costo social y el costo privado se debe a las deficiencias del mercado para reflejar el valor social del medio ambiente y al establecimiento de políticas gubernamentales que fomentan la ineficiencia en el uso de los recursos naturales.

### **2.2.1 El enfoque del Banco Mundial**

Según las autoridades del Banco Mundial existen dos formas básicas para influir sobre el comportamiento de los contaminadores, estos son<sup>44</sup>:

- *Mecanismos oficiales de control*: Se trata básicamente de normas y reglamentaciones. Se recomienda la implementación de estas políticas reguladoras para los casos de empresas privadas no competitivas, así como de determinadas empresas públicas; es decir, cuando las

---

<sup>43</sup> Una gran parte de los recursos ambientales son utilizados en régimen de libre acceso, no existe una asignación clara de derechos de propiedad sobre el aire, el agua, la capa de ozono o la atmósfera.

<sup>44</sup> Banco Mundial. *Informe mundial sobre desarrollo*. IBRD. Desarrollo y Medio Ambiente. 1992. pág. 78.

tecnologías de control de la contaminación o de uso de los recursos son relativamente uniformes y los organismos encargados de regularlos pueden especificarlas con facilidad, estableciendo que estas sean aplicables imparcialmente a todas las empresas, ya sean públicas o privadas.

- Políticas basadas en el funcionamiento del mercado o en los incentivos económicos: En este caso la idea fundamental consiste en fijar precios a la contaminación o al uso adicional de los recursos de modo tal que se logren internalizar las externalidades negativas al medio ambiente. En este sentido es posible mencionar experiencias tales como los cargos por emisiones de dióxido de azufre en Japón, el intercambio de derechos de emisión de contaminantes del aire en Estados Unidos, el mercado del carbono a nivel mundial, o los diferentes mecanismos implementados por el Protocolo de Kyoto para reducir las emisiones de GEI a la atmósfera. De modo general suelen ser eficaces y menos costosas que las reglamentaciones. La implementación de políticas basadas en los mecanismos de mercado, facilita que todos los contaminadores o usuarios de recursos hagan frente a los mismos precios y deban decidir acerca de su grado de control.

Las políticas basadas en incentivos a través de la fijación de precios a los daños causados al medio ambiente logran transmitir a los usuarios de los recursos ambientales las señales correctas de largo plazo. De este modo el contaminador o usuario de los recursos tiene un incentivo para emplear las tecnologías más eficientes en relación con su costo, de modo tal que se reduzca la contaminación. La eficacia de estas políticas está directamente relacionada con la medida en que los contaminadores y los usuarios de recursos reaccionen a ellas.

Dentro de las políticas basadas en los incentivos económicos, la elección de las cargas impositivas o de los permisos negociables depende en parte de la capacidad de los organismos reguladores, aunque suelen ser más difíciles de administrar que los cargos, ya que estos últimos pueden aplicarse a través del sistema fiscal.

En contraste con las reglamentaciones, las políticas de incentivos económicos elevan los ingresos de los gobiernos, por lo que suelen ser más atractivas cuando se reemplazan otras fuentes de ingresos que crean distorsiones, tal es el caso de los derechos de importación y los impuestos a las sociedades<sup>45</sup>. Mientras que con las políticas de incentivos económicos cada usuario puede tomar la decisión de usar menos recursos o de pagar por usarlos en mayor cantidad, el método de la reglamentación deja esas decisiones en manos de los organismos reguladores, los cuales, evidentemente, no están bien informados sobre los costos y beneficios relativos de los usuarios.

Las normas relativas a emisiones otorgan a los contaminadores el derecho a contaminar hasta cierto límite especificado, en tanto que con la imposición de cargos se les obliga a pagar por la totalidad de sus emisiones. De igual modo, en los casos en que la reglamentación relativa a emisiones que contaminan el aire se reemplaza por sistemas de permisos negociables, el costo global del control de la contaminación de la atmósfera se reduce. Sin duda, el uso de incentivos económicos es más eficaz que la reglamentación en función de los costos, ya que permite alcanzar mejoras para la sociedad en su conjunto, aunque no para cada contaminador en particular.

Los tomadores de decisiones deben elegir alternativas que van desde la utilización de políticas directas, enfocadas a la solución inmediata de daños del medio ambiente, hasta las medidas indirectas o más generales orientadas hacia actividades relacionadas indirectamente con el deterioro ambiental. Un ejemplo de política directa son los gravámenes o reglamentaciones a las emisiones de los vehículos automotores; una política indirecta es el impuesto a un insumo contaminante, por ejemplo el impuesto sobre la gasolina.

---

<sup>45</sup> Banco Mundial. *Informe mundial sobre desarrollo*. IBRD. Desarrollo y Medio Ambiente. 1992, pág. 82.

Un escenario ideal podría ser aquel en el cual los órganos reguladores modifiquen los comportamientos de los usuarios de los recursos mediante políticas directas (gravámenes o reglamentaciones sobre las emisiones de GEI a la atmósfera); sin embargo, estas implican fuertes gastos administrativos ya que están orientadas de modo individual hacia los contaminadores o usuarios de los recursos. Es por ello que se recomienda en muchos casos utilizar políticas indirectas que requieren una supervisión menos estricta.

Las dificultades de las aplicaciones de políticas directas dependen de cuatro factores<sup>46</sup>:

1. Mientras más numerosas y más dispersas se hallen las fuentes de contaminación ambiental, más costosas serán las políticas que impliquen una estricta supervisión.
2. Resulta sumamente complejo supervisar a los usuarios que realizan acciones contaminantes de modo indirecto.
3. La destreza con que se pueda llevar a cabo la supervisión depende en gran medida de la eficacia de las soluciones tecnológicas.
4. Para los casos de problemas ambientales que ocurren en fronteras estatales o nacionales, es recomendable coordinar e implementar acciones conjuntas.

El uso de políticas directas es recomendable en aquellos casos donde los problemas ambientales son causados por empresas grandes y muy visibles. Las políticas indirectas resultan ventajosas cuando los organismos reguladores tienen poca capacidad para fiscalizar y exigir el cumplimiento de las leyes.

---

<sup>46</sup> Banco Mundial. *Informe mundial sobre desarrollo*. IBRD. Desarrollo y Medio Ambiente, 1992, pág. 84.

## 2.2.2 El enfoque de la OCDE

Una alternativa al enfoque del Banco Mundial se halla en la clasificación de instrumentos de política propuesta por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico<sup>47</sup>. Esta clasificación supone dos enfoques: el de *mercado o de instrumentos económicos*, y el *regulatorio o de comando y control*. A continuación ambos enfoques aparecen detallados:

### 1. Enfoque de mercado o de instrumentos económicos:

- i. Impuestos a las emisiones: Pago sobre la cantidad y calidad del contaminante descargado.
- ii. Gravámenes a los usuarios: Pagos por el costo de los servicios de tratamiento y recolección.
- iii. Impuestos administrativos: Están diseñados para ayudar a los sistemas de monitoreo de permisos.
- iv. Permisos comercializables o intercambio de emisiones: Están basados en el principio de que cualquier incremento en las emisiones debe compensar una disminución equivalente y algunas veces mayor de la cantidad.
- v. Impuestos a los productos: Se aplica a los precios de los productos que crean contaminación al ser manufacturados, consumidos o desechados.
- vi. Sistemas de depósito y devolución.
- vii. Subsidios: Ayuda a la industria para que pueda efectuar inversiones en el control de la contaminación. Medida provisional, en el largo plazo causa ineficiencias.
- viii. Creación de mercados.

---

<sup>47</sup> Barde, Jean-Phillippe. *Economics instruments in environmental policy: Lessons from OECD experience and their relevance to developing economies*. OCDE. 1994. pág. 13-23.

## 2. Enfoque regulatorio o de comando y control:

- i. Normas de calidad ambiental: Especifica las características de las emisiones que debe recibir el ambiente.
- ii. Normas de descarga de emisiones: Descargas máximas permitidas de contaminantes en el ambiente.
- iii. Normas a los procesos: Especifica el tipo de proceso de producción o equipo de reducción de emisiones que las plantas contaminantes deben instalar.
- iv. Normas a los productos: Define las características de los productos potencialmente contaminantes

El enfoque de *comando y control* supone la promulgación y aplicación de leyes y regulaciones que prescriben objetivos, normas y tecnologías que los contaminadores deben cumplir obligatoriamente. Usualmente estas leyes se manifiestan como normas a través de las cuales se establecen reglas específicas para controlar las acciones de los contaminadores. Para el caso mexicano este tipo de regulaciones se manifiestan en las Normas Técnicas y Ecológicas, así como en otras leyes y reglamentos ambientales.

La principal desventaja de este tipo de políticas es la complejidad que supone su aplicación: requiere de una costosa infraestructura, un gran número de controles, requerimientos administrativos, etc., lo cual incrementa enormemente los costos del presupuesto gubernamental.

En cambio, el enfoque de mercado propone una implementación de instrumentos económicos tales como impuestos, subsidios y permisos comercializables de emisiones; su principal ventaja es la libertad de elección de los agentes económicos, hacia los cuales se traspasa toda la responsabilidad para seleccionar la solución más ventajosa. Tanto la OCDE como el Banco Mundial apoyan el criterio de *el que contamina paga*<sup>48</sup>.

---

<sup>48</sup> Martínez-Alier, J. & Roca-Jusmet, J. *Economía Ecológica y Política Ambiental*. Fondo de Cultura



Desde el punto de vista de la conveniencia política, los impuestos ambientales disminuyen la contaminación en el largo plazo al promover el uso de las llamadas tecnologías limpias; sin embargo, en el corto plazo su impacto sobre las emisiones es muy relativo ya que los contaminadores tienen la opción de pagar por contaminar. En cambio, las regulaciones directas o de comando y control, pueden ser más efectivas en el corto plazo, ya que reducen las emisiones de manera casi inmediata, no obstante resultan ineficientes en la promoción e implementación del uso de tecnologías limpias.

### ***2.3 Contaminación ambiental generada por RSU***

Son diversas las actividades humanas que generan residuos; la producción industrial, los servicios y el consumo son consideradas las principales fuentes de generación de residuos sólidos en las ciudades. El principal problema de contaminación ambiental generado por los RSU viene dado por irregularidades en su manejo y disposición final.

#### **2.3.1 Algunos conceptos útiles**

Para los fines de la presente investigación se aceptarán los conceptos expuestos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos con fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 8 de octubre de 2003 (última reforma publicada en el DOF el 19 de junio de 2007). Algunos de estos conceptos se exponen a continuación:

*“Generación: Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.”*

*“Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella se deriven.”*

*“Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus embases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole.”*

*“Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.”*

*“Inventario de Residuos: Base de datos en la cual se asientan con orden y clasificación los volúmenes de generación de los diferentes residuos, que se integra a partir de la información proporcionada por los generadores en los formatos establecidos para tal fin, de conformidad con lo dispuesto en este ordenamiento.”*

*“Lixiviado: Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la*

*contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.”*

*“Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.”*

*“Disposición final: Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al medio ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.”*

### **2.3.2 La contaminación generada en los vertederos**

Los vertederos o basureros, también conocidos en algunos países hispanohablantes como tiraderos o basurales, son aquellos lugares donde se lleva a cabo la deposición final de los RSU. Estos vertederos pueden ser oficiales o clandestinos.

- a) Vertedero clandestino: Es un lugar elegido (sin condiciones ambientales) por algún grupo humano para depositar sus desechos sólidos. Son fuentes de contaminación ambiental y enfermedades.
- b) Vertedero municipal o urbano: Es un vertedero que bajo ciertas consideraciones o estudios de tipo económico, social y ambiental, es destinado por los gobiernos municipales o urbanos para la disposición final de RSU. También son conocidos como "vertederos controlados" o "rellenos sanitarios".

A los vertederos es destinada la basura generada por un grupo o asentamiento humano. Generalmente contiene una mezcla de restos orgánicos, plásticos, papel, vidrio, metales, pinturas, tela, pañales y una gran diversidad de objetos y sustancias consideradas no deseables.

En los rellenos sanitarios, en la misma medida que se va colocando la basura, esta es compactada con maquinaria y cubierta con una capa de tierra y otros materiales para posteriormente depositar otra capa de basura y así sucesivamente hasta que el relleno sanitario se satura y debe ser clausurado.

En el proceso de descomposición de la materia en los vertederos, se forman los lixiviados<sup>49</sup> que arrastran los productos tóxicos presentes en la basura, y contaminan las aguas subterráneas que, en ocasiones, se utilizan para consumo humano y riego agrícola. Además se liberan al aire importantes cantidades de gases tales como metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )<sup>50</sup>, o gases tóxicos como el benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), tricloroetileno (TCE), etc.

El lixiviado es anóxico, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. Los peligros de los lixiviados se deben a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal; así como microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes en el lixiviado fresco.

---

<sup>49</sup> El lixiviado es el líquido producido cuando el agua se filtra a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto material suspendido como disuelto, generalmente ambos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a rellenos sanitarios, donde, como resultado de las lluvias filtrándose a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado.

<sup>50</sup> El dióxido de carbono es uno de los gases de efecto invernadero (G.E.I.) que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando se mantenga dentro de un rango determinado. Un exceso de dióxido de carbono acentúa el fenómeno conocido como efecto invernadero, reduciendo la emisión de calor al espacio y provocando un mayor calentamiento del planeta.

### 2.3.3 Algunas alternativas para evitar la contaminación

Durante los incendios accidentales o provocados en los vertederos, se liberan a la atmósfera productos clorados, algunos tan tóxicos como las dioxinas, una de las sustancias más tóxicas conocidas y declarada cancerígena por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Como alternativas se prioriza la reducción de los residuos mediante una selección previa a la disposición final, por ejemplo, evitando los productos descartables (residuos médicos, radiactivos<sup>51</sup>, etc.), además se lleva a cabo el compostaje<sup>52</sup> o tratamiento de los desechos orgánicos; así como el reciclado<sup>53</sup>. Para evitar el paso de los lixiviados a las fuentes de aguas subterráneas, se cubre el suelo y los bordes de los rellenos sanitarios con lonas de polietileno.

A pesar de los esfuerzos por recuperar los materiales contenidos en los residuos, los vertederos siguen siendo necesarios como infraestructura para la disposición final de los RSU. La reducción de los impactos ambientales anteriormente señalados puede lograrse diseñando los vertederos de modo que se evite la contaminación del entorno en el que se ubican. En este sentido, deben tomarse medidas para la impermeabilización y la instalación de sistemas de recogida de lixiviados, de modo que se evite la contaminación del agua y el suelo. También pueden prevenirse algunos impactos de los vertederos mediante sistemas de recuperación del biogás<sup>54</sup> producido durante la descomposición de la materia orgánica.

---

<sup>51</sup> Este tipo de residuos tienen lugares específicos para su disposición final en sitios controlados.

<sup>52</sup> La composta es el humus obtenido de manera artificial por descomposición bioquímica al favorecer la fermentación aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aeróbicas termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar (posteriormente, la fermentación la continúan otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos).

<sup>53</sup> Reciclaje es un término empleado de manera general para describir el proceso de utilización de partes o elementos de un artículo o tecnología que todavía pueden ser usados, a pesar de pertenecer a algo que ya llegó al final de su vida útil. Reciclar es por tanto la acción de volver a introducir en el ciclo de producción y consumo productos materiales obtenidos de residuos.

<sup>54</sup> El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

La producción de biogás por descomposición anaeróbica se considera un modo útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de alto valor energético además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El biogás tiene como promedio un poder calorífico que varía entre 4.500 y 5.600 kilocalorías por metro cúbico (Kcal·m<sup>3</sup>). Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas, u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

## ***2.4 Gestión de residuos en los distintos ámbitos geográficos***

A diferencia de la administración de otros servicios urbanos, la gestión de residuos sólidos se lleva a cabo de formas muy diferentes en función del ámbito geográfico. Aquí se conjugan factores de desarrollo tecnológico, desarrollo social y normativo – sensibilidad ecológica –, volumen de generación de residuos y su composición, densidad de población y morfología urbana, además de la inercia de la tradición en la aplicación sistemas de gestión.

### **2.4.1 Política medioambiental para la gestión de residuos en países en vías de desarrollo**

En los países menos desarrollados económica y tecnológicamente, la gestión de RSU es el servicio urbano más afectado. Las insuficiencias en el servicio son provocadas por sistemas de gestión obsoletos y por bajas frecuencias de recogida de residuos domésticos, todo lo cual provoca serios problemas de salubridad. La composición y la cantidad de residuos generados en los ámbitos subdesarrollados difieren notablemente de las características de los desechos generados en países desarrollados.

Al mismo tiempo se aprecian grandes diferencias entre las comunidades en vías de desarrollo de diferentes partes del mundo. Estas diferencias son provocadas por factores tales como las raíces culturales, el clima, los hábitos alimentarios, etc.

Por otro lado, el transporte de los residuos tiene además el inconveniente añadido de que su adaptación a nuevas técnicas de gestión de residuos es mucho más compleja en el caso de países en vías de desarrollo<sup>55</sup>.

A pesar de la importancia de la gestión de residuos para la protección medioambiental, esta resulta insuficiente en la gran mayoría de los países subdesarrollados<sup>56</sup>. Uno de los principales inconvenientes es la práctica de la gestión conjunta de residuos industriales, domésticos y sanitarios, y de su deposición incompleta. En general, en estos países sólo es recogido del 50 al 70% de los residuos domésticos, considerándose muy eficaz una recogida del 90%<sup>57</sup>.

En las ciudades medias y pequeñas, se identifican como aspectos críticos de la recolección, la baja cobertura y la escasa atención a los asentamientos marginales urbanos. Las tareas de recogida suelen realizarse empleando abundante mano de obra, dado su escaso costo. En estos casos el reciclaje se halla ampliamente extendido, lo cual obedece a la ineludible necesidad de optimizar los recursos y no a un proceso de concienciación ecológica.

El método de reciclaje es muy similar en casi todos los países en vías de desarrollo. Se trata en algunos casos de trabajadores del servicio, los llamados “segregadores”<sup>58</sup> en América Latina y El Caribe<sup>59</sup>, y en otros, de recogida a domicilio para extraer materiales reciclables: los “zabbaleen” en Egipto, o incluso personas que acompañan en su ruta a los operarios, separando el material reciclable: “scavengers” en Filipinas e Indonesia. Este trabajo llega a ocupar a cientos de miles de familias en algunos países: hasta un 0,4 por 1000 de la población<sup>60</sup>.

---

<sup>55</sup> Blight, G. *Solid Waste Management: Critical Issues for Developing Countries*. University Press of West Indies. Kingston. 2000.

<sup>56</sup> Fair, L. *Generating Public Sector Resources to Finance Sustainable Development: Revenue and Incentive Effects*. 2002.

<sup>57</sup> Cointreau-Levine, S. *Private sector participation in municipal solid waste services in developing countries*. Banco Mundial. USA. 1994.

<sup>58</sup> “Pepenadores” para el caso mexicano.

<sup>59</sup> Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F. y Zepeda, F. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo y Organización Panamericana de la Salud. 1998.

<sup>60</sup> Cointreau-Levine, op. cit.

En cuanto al sistema de recogida de residuos, en ocasiones se emplean métodos muy rudimentarios; por ejemplo, en la mayoría de los países africanos este sistema está aún por implantarse. En algunos casos, tan sólo existen vertederos abiertos cercanos a las zonas habitadas, en los que se depositan los desechos. Países como Bolivia, Brasil, Colombia, Guatemala, El Salvador, Honduras, México y Perú utilizan métodos no convencionales de recogida con participación comunitaria. En aquellos lugares donde no existe el servicio oficial de recogida, especialmente en áreas marginales, la recolección se realiza ocasionalmente y de modo informal y frecuentemente se arrojan los residuos a vertederos clandestinos<sup>61</sup>.

Por otro lado, el problema de la recogida de residuos en ciudades con morfología urbana inaccesible para el transporte, por la estrechez de sus calles, es aún más grave en las zonas poco desarrolladas; este es el caso algunas de las viejas ciudades del Este asiático, como Lijiang en China<sup>62</sup>.

En lo que se refiere al aprovechamiento de los recursos procedentes de los residuos, en América Latina se han realizado proyectos de incineración con aprovechamiento de energía, bioconversión en composta, producción de combustible auxiliar o RDF (Refuse Derived Fuel); así como de biogás de los rellenos sanitarios (en Santiago de Chile para uso residencial y en Río de Janeiro como combustible auxiliar para los vehículos de la Empresa de Limpieza Urbana). Estas tecnologías han sido adoptadas por varias ciudades con resultados casi siempre desalentadores, (a excepción de algunos proyectos de recuperación de biogás) debido a que no se llevaron a cabo análisis técnicos, institucionales y económicos que establecieran la justificación y viabilidad de las inversiones.

Existen más ejemplos de proyectos de recuperación de recursos y minimización de residuos que muestran que estas nuevas propuestas son factibles. Tal es el caso de *Olinda* en Brasil, con un proyecto piloto para 450 familias de bajos

---

<sup>61</sup> Cointreau-Levine, op. cit.

<sup>62</sup> World Bank Publications. *Historic cities and Sacred Cities: Cultural Roots for Urban Futures*. 2001.



ingresos<sup>63</sup>, o bien los proyectos demostrativos de bioconversión y recuperación de residuos sólidos, promovidos y auspiciados por Organizaciones No Gubernamentales (ONG's), que han sido exitosos. Sin embargo, lo fueron como proyectos de valor académico y de progreso técnico, pero en raros casos la experiencia se ha mantenido en el tiempo y no se ha logrado implantarlos de forma masiva<sup>64</sup>.

Por otro lado, los países del Este Asiático están participando activamente en la investigación de proyectos de gestión de residuos sólidos, gracias fundamentalmente a patrocinadores. Sin embargo, aún existe un gran número de vertederos a cielo abierto en los que se deposita la basura<sup>65</sup>.

Otro hecho destacable en la gestión de residuos en países en vías de desarrollo es que las políticas neoliberales recientes están influenciando y fortaleciendo la tendencia a la privatización de los servicios de manejo de residuos urbanos. Aquí es importante destacar que esta política se está aplicando principalmente en las metrópolis y grandes ciudades y, en forma más restringida, en las ciudades medianas con la participación de microempresas.

#### **2.4.2 Política medioambiental para la gestión de residuos en países desarrollados**

En la actualidad, en todos los países desarrollados, la base de la protección medioambiental, a nivel local, en lo que se refiere a RSU, es el reciclaje basado en la separación previa de residuos desde la fuente donde se genera. Independientemente de los sistemas de recogida que se empleen en cada caso, el objetivo fundamental de las políticas locales es la separación de los residuos para garantizar un manejo óptimo en las plantas de transferencia.

---

<sup>63</sup> Hardoy, J.E. *Environmental Problems Third World*. Earthscan Publications. England. 1993.

<sup>64</sup> Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P.F. y Zepeda, F., 1998. op. cit.

<sup>65</sup> Fair, L, 2002, op. cit.

En Francia, Suecia, Portugal y España existen experiencias en las que se ha intentado solucionar el problema del transporte de residuos de un modo eficaz. En 1961 en Suecia se instauró el sistema neumático canalizado de transporte de residuos, en el hospital de *Solfteftea*, en Estocolmo; este sistema se extendió al resto de Europa de manera muy lenta. Dusseldorf (1989), Barcelona (1992), Lisboa (1998), Sevilla (2001), Almere (2003) y Almería (2004) son algunas de las ciudades europeas que cuentan con este sistema de transporte de residuos. A pesar de estas innovaciones el traslado de desechos es una actividad que aún no se ha estudiado con suficiente profundidad y por tanto no ha sido posible ofrecer soluciones óptimas a este problema.

En Europa, principalmente en España e Italia, se han extendido progresivamente sistemas soterrados de contenedores donde se depositan los residuos mediante un buzón exterior de vertido. Estos sistemas fueron diseñados con el objetivo de mitigar el impacto visual de los residuos en el entorno urbano. Independientemente de sus beneficios estos sistemas no constituyen una solución efectiva al problema de la retirada de los residuos de las zonas urbanas, sino que, debido a sus altos niveles de perfeccionamiento tecnológico, encarecen y obstaculizan el proceso de evacuación.

En los Estados Unidos de Norteamérica el énfasis en la minimización de residuos es aún más agudo que en los países europeos; aquí sobresale el papel desempeñado por las iniciativas públicas. Al igual que en el caso europeo, en los Estados Unidos tampoco se ha prestado especial atención al estudio de los problemas del traslado de residuos. Por otra parte, se han mostrado soluciones enfocadas en la calidad del servicio directo a los usuarios; aquí sobresalen las columnas de vertido de residuos domésticos en los edificios.

Resumiendo podríamos afirmar que en los países desarrollados se han experimentado determinadas acciones que se enfocan en ofrecer soluciones a problemas tales como el de la evacuación de los RSU, y el de la prestación de servicios de calidad a los usuarios. Estas acciones suponen avances importantes, sin embargo aún queda mucho por hacer en el tema del manejo de residuos a nivel mundial.

## **2.5 Situación de los RSU en México**

La generación de Residuos Sólidos Urbanos está directamente relacionada con el crecimiento demográfico, el cambio en los patrones de consumo y en general con el fenómeno de la urbanización. En México, al igual que en el resto del mundo, el patrón de desarrollo regional y urbano se caracteriza por una elevada concentración económica y poblacional en determinadas regiones y localidades urbanas, lo cual se debe, en gran medida, a las diferencias existentes en la aglomeración de capital fijo, la producción industrial, la formación de las áreas de mercado, así como los niveles de productividad global y sectorial de las diferentes economías. Sobresale la alta concentración económica y poblacional de la región central, la cual cuenta con más de la mitad de la producción nacional y el empleo, fundamentalmente industrial y de servicios.

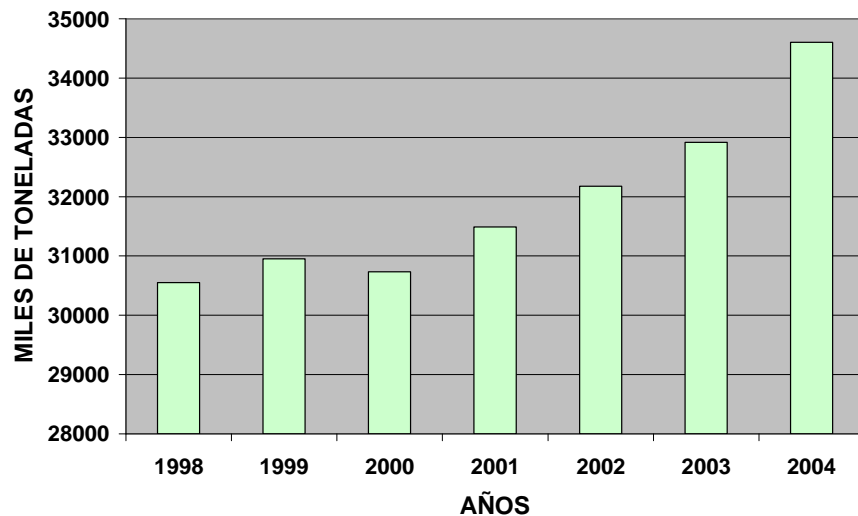
Este fenómeno de concentración de la producción fue el resultado de un largo proceso que tuvo su mayor empuje durante el período 1940-1980 y que ha continuado, aunque a menor escala, desde la década del 90 hasta la actualidad. A finales del siglo XX se visualiza un cambio en los ámbitos de concentración territorial en México: primero de una metrópoli a una megalópolis y segundo, de un sistema preeminente con una ciudad importante a uno policéntrico con un conjunto de metrópolis como lugares jerárquicos de primer orden<sup>66</sup>.

---

<sup>66</sup> Garza, G. *La urbanización de México en el siglo XX*. El Colegio de México, A.C., México, D.F., 2003, pp. 74.

**Figura 2.1 Generación de RSU en México (1998-2004)**

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.

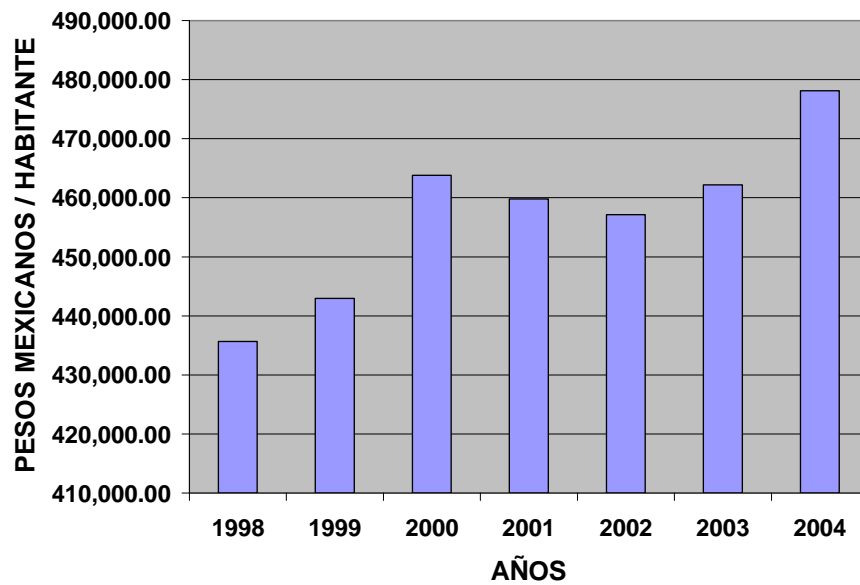


NOTA: Los cálculos de generación para el año 2004 se hicieron con estricto apego a las proyecciones de población de CONAPO, que resultaron ser ligeramente superiores a los datos de población que se manejaron por SEDESOL; razón por la que se puede apreciar un incremento sobre la tendencia observada en el período 2000-2003.

En la figura 2.1 se puede apreciar el incremento de los volúmenes de generación de RSU en México en el período 1998-2004. En apenas siete años los volúmenes de generación se incrementaron en casi 5 millones de toneladas anuales –de 30.5 a 35.4 millones de toneladas–, lo cual supone un grave problema para el manejo y la disposición final de desechos. Este dramático aumento del volumen de generación anual de residuos en México tiene repercusiones negativas sobre los niveles de salud y de calidad ambiental; de igual modo provoca inconvenientes relacionados con la disposición y el uso del suelo, especialmente en zonas urbanas donde este recurso es escaso.

¿Cuáles son los factores que inciden en este acelerado incremento en los volúmenes de generación de residuos sólidos en el caso mexicano? A continuación se describe el comportamiento de tres variables que, a nuestro juicio, estimulan el crecimiento explosivo de la generación de RSU.

**Figura 2.2: Ingreso per cápita anual (1998-2004)**  
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.

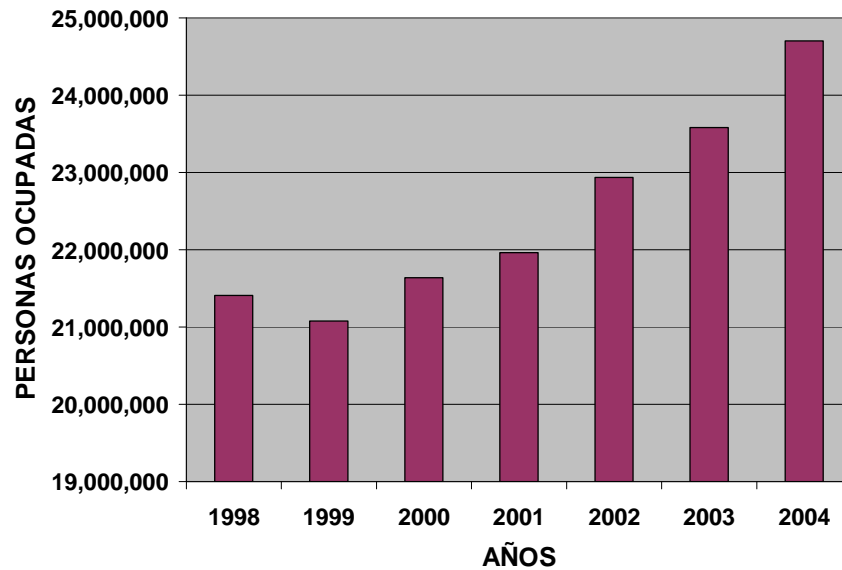


La figura 2.2 muestra el comportamiento del ingreso per cápita anual en México en el período de análisis. Es claro que existe una tendencia al aumento de los niveles de ingreso per cápita. Este aumento, asumiendo mayores niveles de oferta, induce a un incremento del consumo y por tanto provoca un aumento del volumen de desechos derivados tanto de los procesos productivos y de servicios, como del consumo en los hogares.

Resulta importante aclarar que en nuestra investigación no se toman en cuenta los volúmenes de generación de residuos procedentes de la actividad industrial, ya que no existen datos acerca del comportamiento histórico de este tipo de desechos. Los residuos industriales, dependiendo del tipo de actividad, requieren un manejo más cuidadoso dado su alto poder contaminante.

Una de las variables que efectivamente demuestra el crecimiento en la oferta de servicios y por ende un aumento en los niveles de consumo, es la población ocupada en el sector terciario de la actividad económica. En este sector se incluyen las actividades de comercio, comunicaciones, transporte y servicios.

**Figura 2.3: Población ocupada en el sector terciario (1998-2004)**  
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.

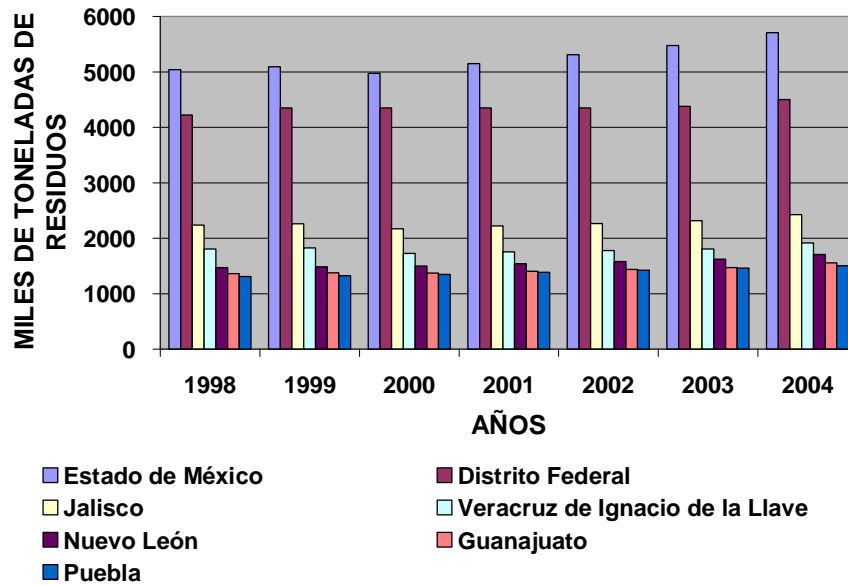


En la figura 2.3 se puede apreciar un claro incremento del número de personas ocupadas en el sector terciario. En apenas siete años el total de personas empleadas aumentó en casi 4 millones, lo cual implica, además de un aumento en el consumo, un incremento en los niveles de ingreso ya que creció el nivel de empleo.

Estos aumentos encadenados de consumo-oferta-empleo-consumo crean un círculo vicioso que termina por incidir directamente sobre la generación de residuos sólidos fundamentalmente en las grandes y medianas ciudades que son los sitios donde se localizan los mayores niveles de concentración poblacional, así como de actividades productivas y de servicios.

Figura 2.4: Estados con mayores volúmenes de generación de residuos (1998-2004)

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.

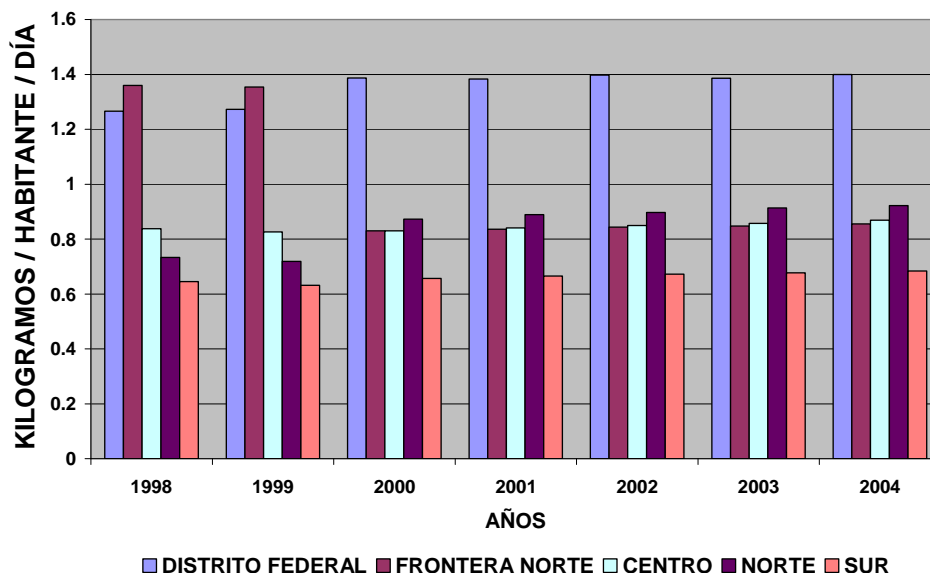


La figura 2.4 muestra los Estados con mayores niveles de generación de residuos<sup>67</sup>. El Estado de México y el Distrito Federal sobresalen como los de mayores volúmenes de generación de residuos con cifras que se hallan en el rango de los cuatro y cinco millones y medio de toneladas anuales. Esto confirma la hipótesis que los mayores volúmenes de generación de residuos se localizan en sitios con altas concentraciones poblacionales, productivas y de servicios.

<sup>67</sup> Se consideraron los Estados con niveles de generación de residuos superiores a un millón de toneladas anuales.

**Figura 2.5: Generación per cápita diaria de RSU por zona geográfica (1998-2004)**

**Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.**



CENTRO: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán de Ocampo, Morelos, Puebla, Querétaro Arteaga, Tlaxcala y Veracruz de Ignacio de la Llave.

NORTE: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Durango, Nayarit, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

SUR: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

FRONTERA NORTE: Incluye los municipios de Baja California, Sonora, Coahuila de Zaragoza, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, que están dentro de la franja de 100 Km., (a partir del 2005 se extiende a 300 Km), al Sur del límite internacional con los Estados Unidos de América.

La figura 2.5 muestra el comportamiento de la generación per cápita diaria de residuos sólidos por zona geográfica en el período analizado. Los mayores volúmenes se registran en el Distrito Federal y en la Frontera Norte (FN); sin embargo, si analizamos el comportamiento de estas dos zonas se podrá apreciar que existen diferencias. En tanto que en el Distrito Federal existe una marcada tendencia al aumento de la generación per cápita diaria en el período 1998-2000 (de 1.25 a 1.4 kg./habitante/día) y luego un comportamiento estable en el período 2000-2004; en la Frontera Norte se puede apreciar la existencia de altos niveles en los años 1998 y 1999 (valores cercanos a 1.35 kg./habitante/día), mientras que en el año 2000 se experimenta una dramática caída hasta 0.85 Kg./habitante/día.

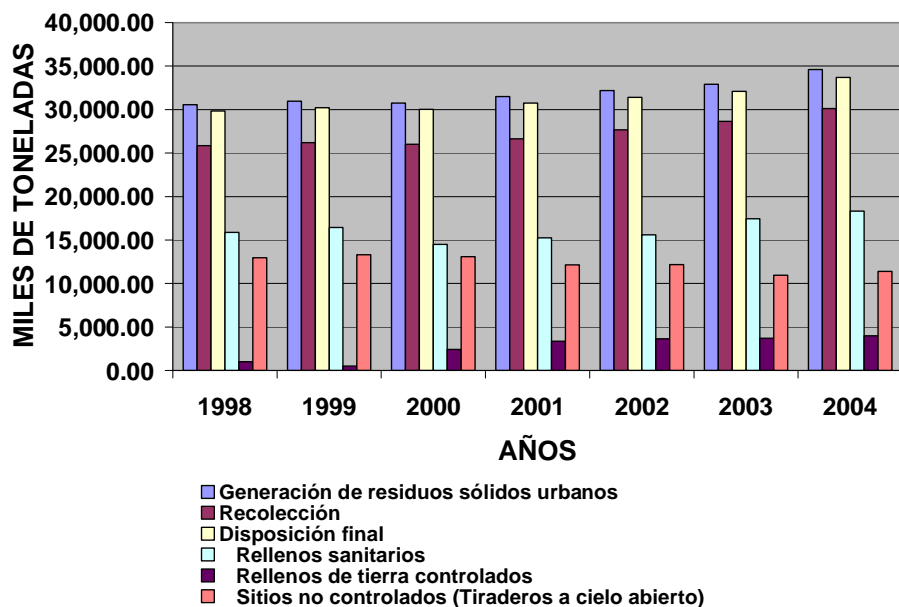
En la región Norte también se aprecia una tendencia al aumento en los volúmenes de generación de RSU (desde 0.7 hasta 0.9 Kg./habitante/día). Por otra parte,



tanto en la región Centro como en la Sur, se observan aumentos muy moderados –incrementos de no más de 0.03 Kg./habitante/día– que suponen un comportamiento uniforme.

En un informe generado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) en 1999<sup>68</sup> se brindan datos que sitúan la generación de residuos en México en alrededor de 84,200 toneladas diarias, de las cuales solamente 41,258 eran depositadas en sitios controlados.

**Figura 2.6: Generación, recolección y disposición final de RSU en México (1998-2004)**  
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.



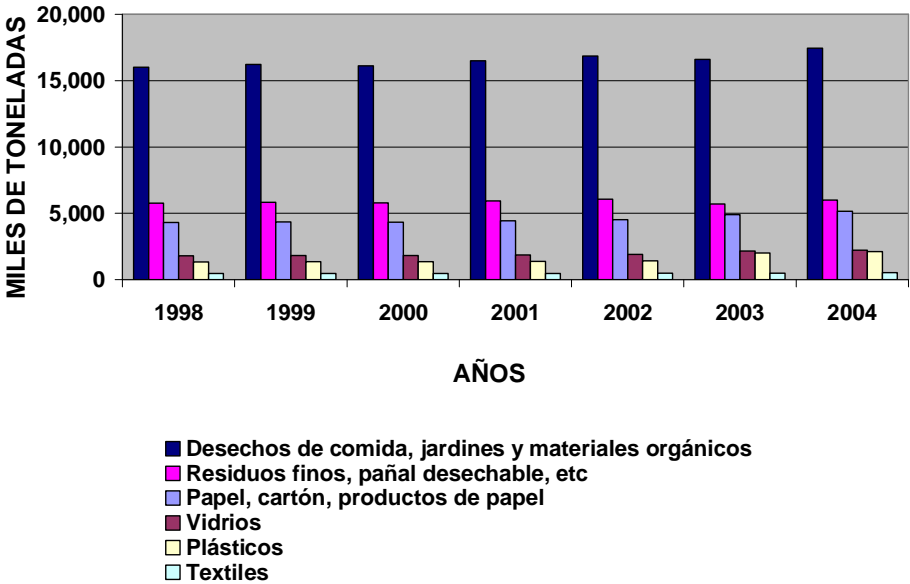
NOTA: La disposición final se refiere al depósito permanente de los residuos sólidos tanto en sitios habilitados total como parcialmente para minimizar los impactos negativos a la salud pública y al ambiente. La diferencia entre el total de generación y el de disposición final se debe a reciclaje de residuos recuperados.

En la figura 2.6 se puede apreciar una ligera disminución de los volúmenes de disposición final en sitios no controlados con respecto al total de generación, lo cual se debe al aumento del volumen de RSU depositados en rellenos sanitarios.

<sup>68</sup> Sancho, J. & Rosiles, G. *Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México*. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), México. 1999

Resulta significativo que la mayor parte del volumen recolectado es depositado, o sea, que existe un bajo por ciento de reutilización de residuos, lo cual supone un grave problema si se tiene en cuenta que aumentan las proporciones en las que se utiliza el recurso suelo con fines de disposición final y disminuye su uso para otros propósitos (productivos, comerciales y residenciales).

**Figura 2.7: Composición de los RSU en México (1998-2004)**  
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI con base en SEDESOL.



La figura 2.7 brinda una detallada información acerca de la composición de los residuos generados en México en este período. Más del 50% del total de los residuos pertenecen a la categoría de *Comida, jardinería y materiales orgánicos*; los cuales, dependiendo de su valor calórico y de la infraestructura creada, pueden ser empleados con diversos fines:

- a) En la obtención de energía para procesos productivos o de servicios.
- b) Para su eliminación por incineración.
- c) Para su deposición final en rellenos sanitarios.

Más del 30% del total de los residuos pertenecen a las categorías que son susceptibles de ser recicladas: *papel y cartón, textiles, plásticos, vidrios y metales*.

Es posible afirmar que más del 80% del volumen total de RSU puede ser empleado con fines de reutilización, reciclaje, composta o como fuente de generación de energía (electricidad, gas para la cocción de alimentos, etc.). Todo ello permitiría reducir el volumen de residuos que actualmente son depositados en rellenos sanitarios, sitios controlados y no controlados.

### **2.5.1 Marco legal**

Durante los últimos años del pasado siglo fueron modificadas las leyes mexicanas con el objetivo de responder a las necesidades sociales. La Ley General para la Prevención y Manejo Integral de los Residuos, a la cual ya se hizo referencia con anterioridad en este capítulo, supone un importante cambio en la normatividad y las acciones federales en materia de manejo de RSU. Algunos de los principales objetivos de esta ley se exponen a continuación:

*“Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos.”*

*“Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas de gestión integral de los mismos.”*

*“Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos.”*

*“Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos más limpios.”*

Resulta evidente que esta ley se propone establecer los principios fundamentales que regirán la política pública en términos de manejo integral de RSU a nivel federal. Sin embargo para establecer estos principios es necesario contar con una

base de datos confiable, es por ello que se plantea la necesidad de uniformar los criterios de clasificación de los residuos y actualizar los inventarios de estos a nivel nacional.

En sus artículos 37, 38 y 39, queda establecido que las autoridades de los tres órdenes de gobierno, en el ámbito de sus respectivas competencias, deben integrar el Sistema de Información sobre la Gestión Integral de Residuos, que contenga la información relativa a la situación local, los inventarios de residuos generados, la infraestructura disponible para su manejo y las disposiciones jurídicas aplicables a su regulación y control.

Adicionalmente, señala que las autoridades de los tres órdenes de gobierno deben elaborar y difundir los inventarios de generación de residuos, de acuerdo con sus atribuciones respectivas, de manera periódica.

Otro de los objetivos fundamentales es la delimitación de responsabilidades de los diferentes actores que se hallan vinculados a actividades productivas, comerciales y de consumo, durante las cuales se generan de residuos. Este objetivo se identifica plenamente con el principio de “el que contamina paga” promovido por el Banco Mundial y la OCDE en sus enfoques de política ambiental. Con esta ley también se intenta impulsar la innovación tecnológica y la investigación científica con el objetivo de introducir alternativas que garanticen procesos productivos con estrictas normas de calidad ambiental.

## ***2.6 Conclusiones***

A lo largo de este capítulo se han expuesto diferentes puntos de vista relacionados con la contaminación ambiental generada por los RSU. Se hizo referencia a los diversos enfoques de política ambiental manejados por el Banco Mundial y la OCDE y que proponen alternativas relacionadas con dos vertientes fundamentales: la vía institucional y la opción de mercado.

Además, se describió brevemente la situación actual del manejo de los residuos en el contexto de los países desarrollados y subdesarrollados. Es evidente que, a pesar de las acciones impulsadas por los gobiernos de los países desarrollados, aún queda mucho por hacer en materia de políticas públicas ambientales relacionadas con el manejo integral de los RSU. Específicamente en los países subdesarrollados es necesario tomar medidas inmediatas, fundamentalmente en lo que se refiere a la reducción de los residuos en la fuente, los mecanismos de transporte, el reciclaje y la educación ambiental de los usuarios. Por supuesto el contexto subdesarrollado se ve agravado por problemas de pobreza, desempleo y bajos niveles de educación, entre otros.

En el caso específico de México se analizaron las estadísticas de generación de residuos en el período 1998-2004. Aquí se pudo constatar la existencia de inconvenientes en el manejo integral de los RSU. Los altos niveles de generación, fundamentalmente en la región central del país y los bajos niveles de reutilización y reciclaje están mostrando una tendencia hacia la deposición final de un alto volumen de residuos en los vertederos, muchos de los cuales se hallan en sitios no controlados.

La promulgación de la Ley General para la Prevención y Manejo Integral de los Residuos supuso un importante cambio en el marco legal federal en materia de manejo de RSU en México; sin embargo, aún queda mucho por hacer en lo que se refiere al marco legal mexicano. Es preciso fortalecer las instituciones encargadas del monitoreo y la evaluación de las actividades, promover soluciones eficaces a los problemas de reducción de residuos en la fuente, e impulsar programas educativos que logren sensibilizar a los ciudadanos.

Las estadísticas analizadas han mostrado carencias en cuanto a la dimensión temporal, lo cual no permite llevar adelante estudios históricos consistentes. Es preciso entonces acudir a las estimaciones para analizar el posible comportamiento futuro de la generación de RSU en México y en base a ello poder diseñar políticas efectivas que logren revertir las graves consecuencias ambientales que hoy producen las actividades de manejo de RSU a nivel nacional.

## Capítulo 3: Modelación econométrica

La modelación econométrica se utiliza fundamentalmente para validar la teoría económica, para generar estimaciones numéricas sobre relaciones económicas con el fin de apoyar la toma de decisiones, o para obtener estimaciones sobre los valores futuros de determinadas variables. Estas tres actividades no son excluyentes entre sí, sino que suelen combinarse<sup>69</sup>.

### 3.1 Los modelos estocásticos y la incertidumbre

Una clase particular de modelos son aquellos que no sólo contienen una descripción de los componentes de un fenómeno, sino que, además, intentan llevar a cabo una caracterización del orden causal que los determina. Para los efectos de la presente investigación resultan relevantes los modelos que, además de expresar un determinado orden de causalidad, poseen un término aleatorio que admite la aparición de variaciones.

Nos referimos explícitamente a los modelos estocásticos de la forma:

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + u_i$$

Donde  $u_i$  es el término aleatorio.

El término aleatorio implica que el patrón que se intenta explicar puede tener diferentes valores según el contexto o el comportamiento de los agentes, los cuales poseen una característica singular que los define: la incertidumbre.

---

<sup>69</sup> Koutsoyiannis, A. *Theory of Econometrics*. Second edition. Hamsphire, London. 1977.

La incertidumbre es un factor que justifica, por sí mismo, la utilidad de los modelos de regresión aplicados a los procesos de toma racional de decisiones por parte de los agentes económicos<sup>70</sup>. La incertidumbre se considera, desde un punto de vista social, como un comportamiento no deseable ya que entorpece la eficiente asignación de recursos y reduce las posibilidades de bienestar social.

### **3.2 Modelos de panel**

Los conjuntos de datos que combinan series temporales con secciones cruzadas son comunes en los estudios económicos. Un ejemplo podrían ser las estadísticas publicadas por la OCDE, las cuales contienen numerosas series anuales de agregados económicos para un gran número de países. Se han construido conjuntos de datos longitudinales o de panel que contienen observaciones de miles de individuos o familias, cada uno observado en distintos momentos de tiempo. Estos conjuntos de datos se obtienen mediante un seguimiento a lo largo del tiempo de grandes secciones cruzadas con miles de micro unidades.

Los modelos de panel resultan de gran interés para la econometría espacial ya que permite realizar estudios contemporáneos de la variación tanto dinámica como individual de los fenómenos económicos<sup>71</sup>. Baltagi<sup>72</sup> hizo referencia a las ventajas y limitaciones del uso de datos de panel (véase también Hsiao 2003, Klevmarken 1989 y Solon 1989):

Ventajas:

- Permiten controlar la heterogeneidad de los individuos.
- Brindan mayor información que las series de tiempo puras o la información de sección cruzada.
- Presentan más variabilidad, menos colinealidad entre las variables y más grados de libertad.

---

<sup>70</sup> Constantino, R. *Modelos, modelación y funciones de regresión. Una versión introductoria al problema de la modelación econométrica*. Curso de econometría Colson. 2006

<sup>71</sup> Arbia, G. *Spatial econometrics. Statistical foundations and applications to regional convergence*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 2006.

<sup>72</sup> Baltagi, B. H. *Econometric analysis of panel data*. Second Edition. John Wiley & Sons. Chichester. England. 2001.

-  
Desventajas:

- Al inicio, el diseño y los problemas de recolección de información son mayores que para el caso de series de tiempo puras o la información de sección cruzada.
- Pueden ocurrir errores en las mediciones lo cual provoca que se realicen inferencias distorsionadas.
- En ocasiones las dimensiones temporales son demasiado pequeñas y no permiten una modelación dinámica apropiada.
- Existen problemas con la selectividad de la muestra debido a inconvenientes de auto selección o nuevas entradas.

Los conjuntos de datos de panel están más orientados hacia el análisis de sección cruzada; la heterogeneidad entre las unidades es una parte esencial del análisis. Los datos de panel ofrecen un entorno muy rico para el desarrollo de técnicas de estimación y resultados teóricos<sup>73</sup>.

La metodología de panel tiene la ventaja de combinar la información de corte transversal y de series de tiempo<sup>74</sup>.

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta_i + \varepsilon_{it}$$

Para  $i = 1, 2, 3, \dots, N$  (elementos cruzados) y  $t = 1, 2, 3, \dots, T$  (Tiempo).

En la ecuación principal  $y_{it}$  es una matriz de información de tamaño  $i \times t$  con la cual es posible tener una constante para cada variable del panel (corte transversal). Existe una ecuación y un error para cada elemento de la sección cruzada.

---

<sup>73</sup> Greene, W. H. *Análisis econométrico*. Tercera Edición. Prentice Hall. España. 2006.

<sup>74</sup> Hsiao, C. *Analysis of panel data*. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge. 2003.



Supuestos econométricos:

$$\begin{aligned} a) E[\varepsilon_{it}] &= 0 \\ b) E[\varepsilon_{it}^2] &= \sigma_\varepsilon^2 \\ c) E[\varepsilon_{it}\varepsilon_{js}] &= 0 \end{aligned}$$

Cuando  $t \neq s$  e  $i \neq j$

$$d) E[\varepsilon_i \varepsilon_j'] = \Omega = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \varepsilon_1' & \varepsilon_1 \varepsilon_2' & \dots & \varepsilon_1 \varepsilon_N' \\ \varepsilon_2 \varepsilon_1' & \varepsilon_2 \varepsilon_2' & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_N \varepsilon_1' & \varepsilon_N \varepsilon_2' & \dots & \varepsilon_N \varepsilon_N' \end{bmatrix}$$

Donde:

$$\varepsilon_i = [\varepsilon_{i1}, \dots, \varepsilon_{iN}]$$

En este caso se parte del supuesto que no existe interrelación entre los datos. Este modelo es apropiado cuando los residuos no están correlacionados y la varianza es homocedástica con respecto al tiempo y en sección cruzada<sup>75</sup>.

$$\Omega = \sigma^2 I_N \otimes I_T \quad (\text{Producto Kronecker}^{76})$$

El modelo de panel que se especifica se estima como un sistema de  $i$  ecuaciones.

<sup>75</sup> Greene, W. H. 2006. op. cit.

<sup>76</sup> En matemáticas, se llama **producto de Kronecker**, denotado con  $\otimes$ , a la operación sobre dos matrices de tamaño arbitrario que da como resultado una matriz bloque. Debe su nombre al matemático alemán Leopold Kronecker. Se multiplica cada uno de los elementos de la primera matriz por toda la segunda matriz; se utiliza para separar cada uno de los efectos. En este caso separan los elementos de la sección cruzada y los elementos de la serie de tiempo.

### 3.2.1 Modelo de sección cruzada

La ecuación principal de este modelo es:

$$y_i = \alpha + x_i\beta + \varepsilon_i$$

Donde  $t = 0$

*Restricciones para el “Efecto Común”*

Constante común:  $\alpha_1, \dots, \alpha_i = \alpha$ ,

Efecto común:  $\beta_1, \dots, \beta_i = \beta$  para las variables exógenas.

Supone que la variable exógena tiene el mismo efecto o impacto en la variable endógena independientemente del producto de sección cruzada. Se asume que el efecto sobre las variables es el mismo ya que estas se encuentran en igualdad de condiciones.

### 3.2.2 Modelo de panel con efectos comunes

La ecuación principal de este modelo es:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

Se asume que las  $i$  ecuaciones tienen la misma estructura, la misma constante.

*Restricciones para el “Efecto Común”*

Constante común  $\alpha_1, \dots, \alpha_i = \alpha$ ,

Efecto común  $\beta_1, \dots, \beta_i = \beta$  para las variables exógenas.

La diferencia entre corte transversal y esta especificación de panel son los valores resultantes, ya que en panel existe un mayor número de datos.

### 3.2.3 Modelo de panel con efectos fijos en constante

La ecuación principal de este modelo es:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

En este modelo se plantea que la constante va a ser diferente para cada uno de los  $i$  elementos. Es importante tener en cuenta que el título no quiere decir que sea la misma constante para todos, sino tiene que ver con la manera en la que se estima.

#### *Restricciones para “Efectos Fijos en Constante”*

Constantes diferentes en sección cruzada  $\alpha_1, \dots, \alpha_i$

Efecto común  $\beta_1, \dots, \beta_i = \beta$  para las variables exógenas.

Con una constante diferente se plantea que existe un elemento diferente para cada una de las regiones que se analice. Es una función heterogénea ya que existen desigualdades en base a la constante. En este caso existen  $i$  ecuaciones donde la constante para cada elemento  $i$  va a ser diferente pero la  $\beta$  va a ser la misma.

### 3.2.4 Modelo de efectos aleatorios

El modelo de efectos aleatorios asume que el término  $\alpha_{it}$  viene dado por la suma de una constante común  $\alpha$  y una variable aleatoria de sección cruzada invariante en el tiempo  $u_i$  que no está correlacionada con los errores  $\varepsilon_{it}$ .

Este tipo de modelos asume que la variación a través de los agentes sociales (y/o a través del tiempo) es el azar, y por lo tanto se captura y especifica explícitamente en el término de error de la ecuación. El caso general es el método de Mínimos Cuadrados Generalizados donde se incorpora una estructura en el término de error.

### 3.2.5 Contraste de Hausman

El contraste de Hausman puede ser empleado para analizar la posible correlación entre los efectos aleatorios y los regresores y poder así decidir entre una estimación por efectos fijos o por efectos aleatorios.

Bajo la hipótesis nula de no correlación tanto Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), en el modelo Mínimos Cuadrados con Variables Ficticias (MCOF), como Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) son consistentes, pero MCO es ineficiente. Bajo la hipótesis alternativa MCO es consistente mientras que MCG no lo es. Por tanto bajo la hipótesis nula las dos estimaciones no deberían diferir sistemáticamente, y un contraste se puede basar en la diferencia. El otro aspecto esencial para el contraste es la matriz de varianzas y covarianzas del vector de diferencias  $[b - \beta]$ :

$$Var[b - \beta] = Var[b] + Var[\beta] - Cov[b, \beta] - Cov[b, \beta] \quad (I)$$

El resultado esencial del Contraste de Hausman es que la covarianza de un estimador eficiente con su diferencia respecto a un estimador ineficiente es cero. Esto implica que:

$$Cov[(b - \beta), \beta] = Cov[b, \beta] - Var[\beta] = 0 \quad (II)$$

O:

$$Cov[b, \beta] = Var[\beta] \quad (III)$$

Sustituyendo (III) en (I) se genera la matriz de varianzas y covarianzas requerida para llevar a cabo el contraste:

$$\text{Var}[b - \beta] = \text{Var}[b] - \text{Var}[\beta] = \Sigma \quad (\text{IV})$$

El contraste Chi-cuadrado se basa en el criterio de Wald:

$$W = x^2[K] = [b - \beta]' \Sigma^{-1} [b - \beta] \quad (\text{V})$$

Para  $\Sigma$ , se emplean las matrices de varianzas y covarianzas estimadas de los estimadores de pendientes en el modelo MCVF, y la matriz de varianzas y covarianzas estimada en el modelo de efectos aleatorios, excluyendo el término constante. Bajo la hipótesis nula,  $W$  se distribuye asintóticamente como una Chi-cuadrado con  $K$  grados de libertad<sup>77</sup>.

### **3.3 Modelos para estimar la generación de desechos**

En la actualidad existe una tendencia a la aplicación de políticas de reducción de residuos en la fuente, reciclaje y aprovechamiento con fines energéticos. Como se ha explicado anteriormente la base de toda política de manejo integral de residuos radica en un correcto diseño. A su vez, el diseño requiere de una cuidadosa etapa de estudio detallado de los volúmenes de generación de desechos, su impacto sobre el medio ambiente y la salud de los habitantes, su composición, la infraestructura de recolección, el número de plantas de selección, el potencial de reciclaje y reutilización, así como la disponibilidad de áreas para la disposición final, entre otras.

---

<sup>77</sup> Greene, W. H. 2006. op. cit.

Un obstáculo común que enfrentan los tomadores de decisión y los planificadores de políticas vinculados con el manejo de los residuos, es la ausencia de información confiable sobre los volúmenes históricos de generación de desechos. La solución más común a este tipo de obstáculos se basa en la estimación del potencial de generación futuro.

Los escépticos de este tipo de modelos señalan que éstos requieren información que no siempre está disponible. Aunque este argumento es válido y al inicio siempre es necesario hacer una serie de supuestos, la modelación constituye una valiosa herramienta analítica y de planeación. La experiencia sugiere diseñar un modelo lo suficientemente flexible para que las consecuencias de cambiar uno de estos supuestos puedan ser observadas y analizadas detalladamente. Un beneficio de este tipo de herramientas analíticas es que en la medida en que existe disponibilidad de nueva información el modelo puede ser rápidamente actualizado.

Estados Unidos, Canadá y algunos de los países europeos han desarrollado programas de manejo de residuos en los cuales han aplicado diversas técnicas para la estimación de diferentes variables: el potencial de reciclaje, el potencial de volúmenes de generación, la infraestructura necesaria para las etapas de recolección, selección y disposición final, la composición de los desechos, etc. A pesar de existir cierta experiencia en la predicción a través de la modelación, no existe un gran volumen de información disponible. Esto se debe fundamentalmente a que en la mayoría de los casos los programas han sido impulsados por autoridades públicas –gobiernos municipales y estatales– las cuales no manifiestan un interés marcado en la publicación de los detalles técnicos de sus estudios.

A continuación se presentan brevemente algunos detalles de diferentes programas internacionales en los cuales se aplicó la predicción a través de la modelación.

### **3.3.1 Modelo de evaluación del potencial de reciclaje en Seattle**

En 1986 los dos rellenos sanitarios con que contaba la ciudad de Seattle tuvieron que ser cerrados debido a los niveles explosivos de gas metano que escapaban del sitio de disposición final y las terribles consecuencias que esto implicaba para la seguridad y la salud de sus habitantes. Es por ello que la ciudad no tuvo más opción que replantearse su estrategia de manejo de residuos.

Como consecuencia directa del cierre de los rellenos sanitarios los costos de disposición de residuos se elevaron súbitamente, incrementándose de 11 a 31.50 dólares por tonelada. A esto hay que añadir que el costo por el cierre de los rellenos sanitarios ascendió a 76 millones de dólares. Estos incrementos explosivos de los costos de disposición de residuos constituyeron la ruina del antiguo sistema de tratamiento de residuos y, al mismo tiempo, el factor que permitió pasar a un nuevo sistema en el cual se incorporaba la reducción de residuos, el reciclaje y la composta.

Como parte de la etapa de diseño del programa de manejo de residuos, se desarrolló un estudio comprensivo acerca de los tipos de desechos; para ello fueron tomadas 580 muestras procedentes de cuatro tipos diferentes de desechos. Además se obtuvo información económica y demográfica sobre las áreas donde eran recolectadas las muestras. Esto permitiría correlacionar tipos de basura con características económicas y demográficas. Esta información sería utilizada con posterioridad como guía para los programas de reciclaje y para generar predicciones más exactas.

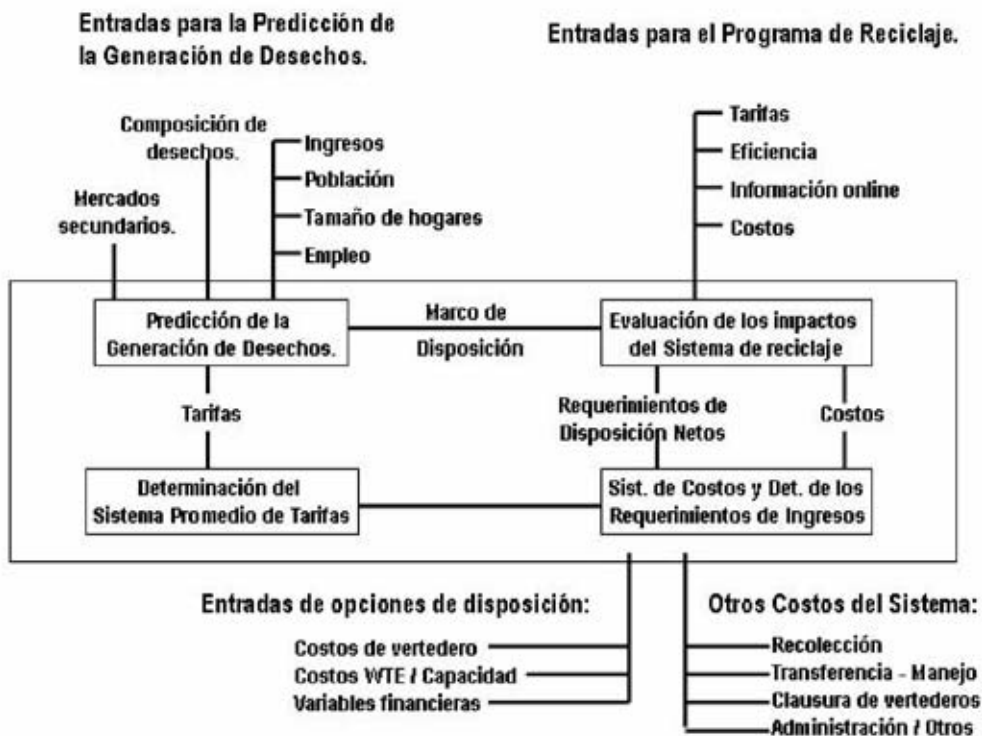
El Modelo de Evaluación del Potencial de Reciclaje de Seattle (figura 3.1) fue diseñado como una herramienta comprensiva de planeación a largo plazo que debía ser empleada para:

1. Predecir la generación de desechos y el reciclaje privado anualmente por un período de veinte años.

2. Analizar los programas de reciclaje orientados hacia subsectores y tipos de componentes de desechos específicos.
3. Analizar los efectos de estos programas sobre los sistemas de costos e índices.

También suministraría la información necesaria para desarrollar un análisis costo-beneficio más completo sobre los programas de reciclaje.

**Figura 3.1 Modelo de evaluación del potencial de reciclaje para el manejo de residuos sólidos en la ciudad de Seattle.**



El modelo predice la generación de desechos y el reciclaje de veinte materiales para cada uno de los catorce subsectores establecidos. Dichos subsectores incluyen hogares de familias sencillas (de 1 a 4 miembros) hasta hogares de familias múltiples (más de 4 miembros); así como nueve tipos de actividades de servicio (desde restaurantes hasta oficinas y hospitales). Aunque el modelo puede parecer complejo, este solo desarrolla cálculos muy simples, la complejidad radica



solo en el número de cálculos que realiza. Existe un gran nivel de detalle proporcionado por el número de materiales y subsectores. Dado que el modelo puede analizar hasta diez programas de reciclaje al mismo tiempo, las interacciones entre dichos programas también son rastreadas.

### **3.3.2 Modelo de estimación de tarifas para el manejo de residuos en King County (Estados Unidos)**

Para el caso de King County en Estados Unidos se trata de una estrategia regional de manejo integral de residuos. A diferencia del caso anterior el marco de acción del programa es mucho más amplio ya que no se trata de una ciudad sino de un condado con lo cual el análisis adquiere mucho mayor complejidad.

La principal consideración dentro del análisis para la estrategia del manejo de residuos de King County es el cierre definitivo de su relleno sanitario al final del año 2016. Una vez que este relleno sea clausurado el condado, mediante su División de Residuos Sólidos (DRS) planea una transición en la política dirigida a transportar los residuos hacia un relleno fuera de sus límites geográficos; dicha política incluía la construcción de cuatro nuevas estaciones de transferencia para el manejo apropiado de los desechos.

Con el objetivo de poner en práctica esta estrategia de transición de un modo costo-efectivo, el condado inició una serie de estudios acerca de los costos de todas las operaciones vinculadas al manejo de residuos. De este modo podrían conocerse las tarifas que se debían aplicar a los usuarios para que las operaciones fueran económicamente viables. Estas tarifas serían la base para llevar a cabo de modo eficiente los servicios de manejo de residuos a más de un millón de usuarios anualmente.

La DRS del condado estableció cuatro tipos diferentes de tarifas:

- Tarifa básica: Fue establecida para los clientes que generaban residuos que luego eran recolectados y manejados en las plantas propiedad del condado.
- Tarifa regional directa: Era una tarifa reducida que se cobraría a las compañías privadas de recolección de residuos que transfirieran desechos a las estaciones de transferencia del condado y al relleno sanitario de Cedar Hills.
- Tarifa de áreas verdes: Se cobraría por el manejo de desechos de limpieza de áreas verdes, así como de madera limpia.
- Tarifa de desechos especiales: Se establecería para los desechos que requirieran manejo especial para determinar si podían ser aceptados en los rellenos sanitarios del condado.

**Tabla 3.1 Comparación entre las tarifas existentes y las propuestas.**

**Fuente: División de Residuos Sólidos King County.**

TARIFAS	ÚLTIMO CAMBIO EN LA TARIFA	TARIFA ACTUAL	TARIFA PROPUESTA (2008-2010)	CAMBIO (US\$ x Ton.)	CAMBIO (%)	GENERACIÓN ANUAL (ESTIMADA)
		US\$ por tonelada				
Básica	1999	82.50	95.00	12.50	15.00	1,049,617
Regional Directa	2004	69.50	80.00	10.50	15.00	10,814
Áreas verdes	1999	75.00	82.50	7.50	10.00	4,067
Especial	1999	132.00	145.00	13.00	10.00	2,060

La tarifa básica significaría alrededor del 97% de los ingresos obtenidos por el cobro de las diferentes tarifas. En la tabla 3.1 se muestran los cambios propuestos al sistema de tarifas a partir de enero del año 2008:

Dentro de este modelo principal el condado empleó un modelo econométrico para predecir el volumen futuro de desechos que debían ser manejados ya que estos constituirían la base de la cual dependería la estrategia a aplicar. A continuación se muestran las variables del modelo de estimación de los volúmenes de generación de residuos:

- Número de habitantes dentro del área de servicio.
- Número de puestos de trabajo y estructura del mercado de trabajo (sector de servicios versus sector de manufacturas).
- Número de personas por hogar.
- Ingreso per cápita (en términos reales).
- Precio del servicio de manejo de residuos (costos de todas las etapas del proceso de manejo, desde la recolección hasta la disposición final).

El modelo econométrico, basado en una regresión, utiliza información sobre la relación entre las variables mencionadas anteriormente y los volúmenes de desechos manejados. Las predicciones de los montos futuros de residuos se realizan sobre las proyecciones de población, empleo, tamaño de los hogares, ingreso real y precio de los servicios de manejo de desechos. El valor promedio dentro del rango se designa como el volumen proyectado de generación de residuos.

El proceso de predicción comienza con el establecimiento de un escenario base, el cual toma en consideración las políticas actuales y nuevas en la medida en que se conocen los impactos y los programas de implementación.

La siguiente etapa se basa en tomar en consideración todos los eventos y sucesos conocidos que pueden impactar sobre el volumen de residuos a manejar, dentro de estos se encuentran por ejemplo el cierre de plantas de selección, rellenos sanitarios o cambios en los programas de reciclajes.

Una vez planteados estos impactos se estiman a corto plazo los volúmenes futuros de desechos (tabla 3.2). Luego se establece un presupuesto para el manejo de este volumen de generación de residuos estimados.

**Tabla 3.2 Comparación entre la estimación de la generación de residuos a corto plazo para la cual se adoptó el presupuesto y los volúmenes de generación real.**

**Fuente: División de Residuos Sólidos King County.**

<b>AÑO</b>	<b>VOLUMEN ESTIMADO</b>	<b>VOLUMEN REAL</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
1995	819,000	822,585	0.40
1996	839,000	817,602	-2.60
1997	833,000	872,577	4.80
1998	837,000	883,722	5.60
1999	852,000	929,306	9.10
2000	920,000	947,174	3.00
2001	965,000	936,310	-3.00
2002	950,000	939,489	-1.10
2003	950,000	978,837	3.00
2004	955,000	1,006,163	5.40
<b>PROMEDIO</b>			<b>2.50</b>

Como se puede apreciar en la tabla 3.2 resulta sumamente complejo poder predecir con exactitud los volúmenes de generación de residuos para un área específica, ya que depende de las estimaciones de factores socioeconómicos (ingreso real, tamaño de los hogares, etc.) y de la interrelación que existe entre estos.

En este caso también es importante señalar el papel que juegan otras variables – exógenas al modelo y que no se incluyeron en este– de muy difícil pronóstico, entre las cuales encontramos: la seguridad nacional, el precio de bienes claves como el petróleo o los alimentos, los fenómenos climáticos (lluvias torrenciales, tornados, huracanes, sequías, terremotos) los cuales inciden directamente sobre las variables del modelo.

**Tabla 3.3 Estimación de la generación de residuos a corto plazo (Plan 2001) versus volumen real versus estimación a largo plazo (Plan 2005).**

**Fuente: División de Residuos Sólidos King County.**

<b>AÑO</b>	<b>ESTIMACIÓN (PLAN 2001)</b>	<b>VOLUMEN REAL</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>	<b>ESTIMACIÓN (PLAN 2005)</b>
2001	963,000	936,500	-2.80	
2002	978,000	939,500	-4.10	
2003	990,000	978,836	-1.10	
2004	1,000,000	1,006,163	0.60	
2005	1,007,000	990,000	-1.70	990,000
2006	1,014,000			976,700
2007	1,029,000			1,020,800
2008	1,048,000			1,050,800
2009	1,068,000			1,080,800
2010	1,092,000			1,115,200
2011	1,100,000			1,133,800
2012	1,101,000			1,160,200
2013	1,113,000			1,178,800
2014	1,117,000			1,210,200
2015	1,122,000			1,242,100
2016	1,133,000			1,264,900
2017	1,146,000			1,295,700
2018	1,159,000			1,327,700
2019	1,176,000			1,353,800
2020	1,194,000			1,388,500
2021				1,402,500
2022				1,436,400
2023				1,442,300
2024				1,478,500
2025				1,515,900
2026				1,524,400
2027				1,563,400
2028				1,588,100
2029				1,628,700
2030				1,670,300

En la misma medida en que se dispone de nueva información se actualizan los datos del modelo. Para otros propósitos de planeación se desarrolla una predicción de largo plazo (tabla 3.3). Aquí se emplean las mismas fuentes de información pero el horizonte se amplía a veinticinco años dependiendo de la información disponible. Es importante tener en cuenta que en la misma medida

que se amplía el horizonte de la estimación (veinticinco años para el caso de la estimación llevada a cabo por la División de Residuos Sólidos de King County), existe un mayor riesgo de error en las proyecciones debido a la incidencia de las variables exógenas al modelo que fueron descritas anteriormente.

A pesar de que estas estimaciones muestran un determinado margen de error, resultan sumamente útiles para diseñar los programas de manejo integral de residuos. Además, en la medida en que transcurren los años y se amplían las bases de datos de generación de desechos, también aumenta la exactitud de los pronósticos.

El caso de King County en Estados Unidos se considera un ejemplo exitoso de política pública basada en estimaciones. En la actualidad se implementa el programa de tarifas con resultados alentadores tanto para los usuarios como para las autoridades locales.

### **3.3.3 El modelo de predicción de la generación de residuos en Europa**

Este modelo fue diseñado para el uso de las autoridades municipales con fines de predicción de los volúmenes futuros de generación de residuos en las grandes ciudades europeas. El horizonte de planificación se definió para quince años con el objetivo de apoyar las decisiones relacionadas con las estrategias de manejo de residuos.

La selección del enfoque aplicado al modelo se basó en metodologías de predicción recientes<sup>78</sup>. El criterio del método de selección se basó en el tamaño y el tipo de bases de datos, así como el conocimiento de las relaciones existentes en ese momento.

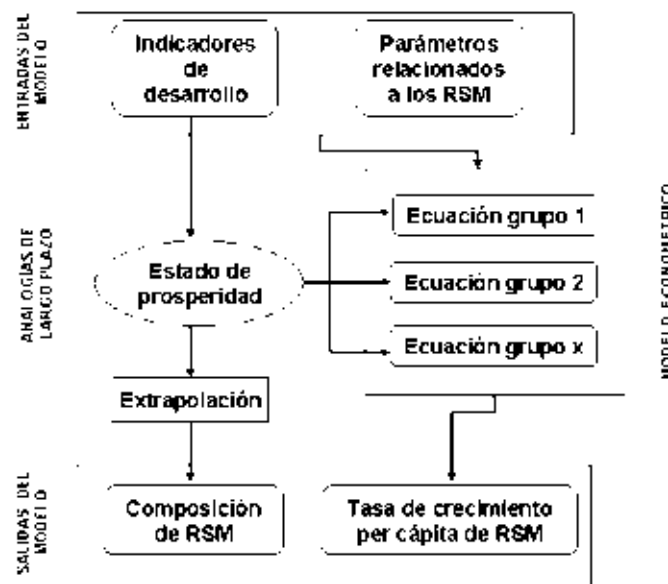
---

<sup>78</sup> Armstrong, J. S. *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Kluwer Academia Publishers, Boston. 2001.

De esta forma se seleccionaron diferentes enfoques metodológicos para dos tipos de módulos: un módulo de generación de Residuos Sólidos Municipales (RSM) para predecir las tasa de generación total de RSM, y un módulo de composición de RSM, el cual estimaba los volúmenes futuros de residuos según su composición. La disponibilidad de una base de datos de series de tiempo y secciones cruzadas acerca de los volúmenes históricos de generación de RSM facilitó la implementación de un modelo econométrico. Sin embargo no existían bases de datos confiables de la composición de desechos lo cual permitió únicamente la aplicación de métodos simples de extrapolación.

**Figura 3.2 Modelo de generación de RSM.**

**Fuente: Beige, Wassermann, Schneider & Salhofer, 2004.**



La figura 3.2 muestra los elementos del modelo. El primer paso de cálculo es similar para ambos módulos y está basado en los hallazgos de analogías entre los niveles de prosperidad y la generación de RSM. Las ciudades serían designadas en el futuro según cuatro grupos de prosperidad utilizando predicciones o supuestos basados en la interpretación de indicadores de desarrollo tales como el Producto Interno Bruto (PIB) o las tasas de mortalidad infantil.

El módulo de generación de RSM es un modelo econométrico basado en un sistema múltiple de ecuaciones lineales para cada grupo de ciudades. Debido al corto plazo al que estaban referenciadas las series de tiempo disponibles, se implementó un enfoque de Vector Autorregresivo (VAR).

Por su parte, el módulo de composición de RSM estaba basado en el supuesto de que los cambios en los niveles de prosperidad influían de manera directa en la composición de los RSM. Debido a las limitaciones de la información sobre la composición de los residuos, se utilizó una estimación de tendencias representada por valores preestablecidos.

El modelo especificó cuatro grupos de ciudades de acuerdo al nivel de prosperidad: a) muy alta, b) alta, c) mediana, y d) baja.

Las ecuaciones estimadas para el modelo final de generación de RSM para los grupos de ciudades fueron<sup>79</sup>:

- Para ciudades de prosperidad muy alta:

$$MSW^t = 359.5 + 0.014GDP^t - 197.1\log(INF_{urb}^t)$$

- Para ciudades de prosperidad alta:

$$MSW^t = 276.5 + 0.016GDP^t - 126.5\log(INF_{urb}^t)$$

- Para ciudades de prosperidad media y baja:

$$MSW^t = -360.7 - 375.6\log(INF_{nat}^t) + 8.93POP_{15-59}^t - 123.9HHSIZE^t + 11.7LIFEEXP^t$$

---

<sup>79</sup> Beigl, P. Wassermann, G., Schneider, F. & Salhofer, S. *Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Major European Cities*. University of Natural resources and Applied Sciences, Vienna. Austria. 2004.



Donde  $MSW^t$  es el volumen de RSM per cápita generado anualmente,  $GDP^t$  es el PIB nacional per cápita a precios de 1995,  $INF$  es la tasa de mortalidad infantil por cada mil nacidos vivos en la ciudad ( $INF_{urb}$ ) o en el país ( $INF_{nat}$ ),  $POP^t_{15-59}$  es el porcentaje de población con edad entre 15 y 59 años,  $HHSIZE^t$  es el tamaño promedio de los hogares,  $LIFEEXP^t$  es la expectativa de vida al nacer y  $t$  es el año.

Todos los parámetros son significativos para un nivel de error de 5%. Solo al parámetro tasa de mortalidad infantil se le aplica logaritmo natural debido a su naturaleza exponencial. El modelo explica en un 65% las variaciones de la tasa de generación de RSM per cápita entre ciudades en el tiempo. Se validó el modelo con una muestra que incluyó el 59% de todos los casos.

A continuación se hace referencia a los factores que mostraron un alto impacto sobre la generación de RSM:

- PIB: Resultó ser un factor significativo para ciudades con altos niveles de prosperidad pero no para los casos de las ciudades con bajos niveles de ingreso. Esto se debe a los altos niveles de disparidad en el ingreso entre las regiones fundamentalmente en los países del centro y este de Europa<sup>80</sup>.
- Indicadores sociales: Los estudios previos nunca utilizaron la tasa de mortalidad infantil y la esperanza de vida al nacer para analizar el comportamiento de la generación de RSM. Sin embargo estos parámetros demostraron ser significativos ya sea sustituyendo al PIB o como variable adicional. Las ventajas de su uso radican en el alto poder explicativo del bienestar regional, la gran disponibilidad de bases de datos y la relativa facilidad para realizar predicciones por parte de los gobiernos municipales.
- Estructura de edades: La relación positiva entre el porcentaje de grupos de edades medias y la generación de RSM confirmó los estudios previos (Sircar, et. al., 2003; Lindh, 2003.).

---

<sup>80</sup> Förster, M., Jesuit, D. & Smeeding, T. *Regional poverty and income inequality in central and eastern Europe: Evidence from Luxembourg income study*. Syracuse University, New York. 2002.

- Tamaño de los hogares: Al igual que en el estudio de Dennison et. al., 1996, la significativa relación negativa entre el promedio de tamaño de los hogares y la generación de RSM quedó confirmada en este análisis regional.

Hasta aquí hemos presentado algunos ejemplos de casos reales en los cuales se han desarrollado estimaciones para predecir los volúmenes de generación de residuos como parte de estrategias de diseño de programas para el manejo de desechos. Los casos anteriores abarcan desde estudios a nivel local (Seattle) hasta intentos más ambiciosos con una perspectiva regional (King County y Europa).

Nuestro propósito como ya se ha explicado no es el de proponer todo un programa de manejo de residuos, sino únicamente desarrollar una estimación del potencial de generación de RSU para el caso mexicano.

### ***3.4 Caso de estudio: ámbito nacional***

El modelo econométrico pretende analizar algunos de los factores que influyen en la generación de Residuos Sólidos Urbanos para las 32 Entidades Federativas mexicanas. Los antecedentes de este modelo se hallan en los análisis previos a la implementación de estrategias y programas para el manejo de RSU en Seattle y King County (Estados Unidos de Norteamérica) y en Europa. En dichos análisis se pretendía pronosticar la generación de RSU, basándose en la relación existente entre esta variable y otras tales como el Producto Interno Bruto, el nivel de empleo, el tamaño de los hogares y otras variables demográficas.

En nuestro caso los límites temporales del análisis fueron tomados en base a las estadísticas disponibles en el sitio WEB del INEGI en INTERNET, así como en nuestra percepción para llevar a cabo un estudio prospectivo de corto plazo. Las estadísticas del INEGI sobre generación de residuos para las 32 Entidades Federativas abarcan el período 1998-2004 y las variables son las siguientes:

GENPC: Generación anual per cápita de residuos por Entidad Federativa (Kilogramos/habitante).

INGPC: Ingreso real anual per cápita (Pesos mexicanos a precios de 1993/habitante).

POBTOTHBAJO: Población anual con grado de hacinamiento bajo (Habitante).

POBOCSTER: Población ocupada anualmente en el sector terciario de la economía<sup>81</sup> (Habitante).

Durante la investigación se estimó un modelo panel para la generación de Residuos Sólidos Urbanos de las 32 Entidades Federativas mexicanas. La modelación pretendía medir el impacto que causaban el ingreso per cápita, el empleo en el sector terciario y el número de habitantes con bajo grado de hacinamiento en sus viviendas, en la generación de residuos. Dadas las características de los datos se decidió trabajar un modelo con variables en logaritmos.

### 3.4.1 Modelo econométrico de generación de residuos para México

Inicialmente se generó un *modelo de efectos comunes* (Anexo 1)<sup>82</sup> cuya ecuación se presenta seguidamente:

$$\text{LGENPC} = 1.157998 + 0.244446 \text{ LINGPC} - 0.293897 \text{ LPOBTOTHACBAJO} + 0.388517 \text{ LPOBOCSTER}$$

Como se puede apreciar el modelo arroja signos positivos para el término constante y las variables ingreso per cápita y empleo en el sector terciario; y signo negativo para la variable población con bajo grado de hacinamiento. El valor del estadístico  $R^2$  era significativo (0.87) y todas las variables fueron significativas.

---

<sup>81</sup> Este sector comprende las actividades de comercio, comunicaciones, transporte y servicios.

<sup>82</sup> Los modelos se desarrollaron en E-Views. Las salidas de máquina para cada uno de los modelos pueden ser consultadas en la sección de anexos.

El modelo de efectos comunes sugiere una relación directa entre la generación de residuos y las variables ingreso per cápita y empleo en el sector terciario; y una relación inversa con la población con bajo grado de hacinamiento. Se observa que el mayor impacto viene dado por el nivel de empleo en el sector terciario, lo cual indica que entre mayor sea la actividad de servicios, mayores serán los volúmenes de generación de residuos.

Todo lo anterior revela efectos muy parecidos a los reportados en las metodologías de análisis de generación de RSU implementadas en Seattle, King County y Europa.

En este caso de estudio también se generó un *modelo de sección cruzada* (Anexo 2), en el cual se estudió el comportamiento de las variables en las 32 Entidades Federativas pero solo para uno de los años del período, en este caso el año 2001, en el cual se registraron los mayores incrementos en los volúmenes de generación de residuos. La ecuación de este modelo fue:

$$\text{LGENPC} = 1.003333 + 0.262846 \text{ LINGPC} - 0.243297 \text{ LPOBTOTHACBAJO} + 0.343774 \text{ LPOBOCSTER}$$

Para este año los resultados mostraban que la elasticidad empleo en el sector terciario (0.343774) continuaba siendo superior a la elasticidad ingreso per cápita (0.262846). La constante tenía un valor de 1.003333. El valor de  $R^2$  era alto (0.88) y las variables eran significativas en este año.

Comparando las ecuaciones del *modelo de efectos comunes* y las del *corte transversal* podemos ver que en el año 2001 el impacto del empleo en el sector terciario es apenas un poco menor que el promedio durante el período de análisis y el impacto del ingreso per cápita sobre la generación de residuos es un tanto mayor. De manera general el impacto de las variables en el año 2001 es muy parecido a las relaciones que se manifiestan en el modelo con efectos comunes.

En la investigación se desarrollaron también modelos de efectos fijos y efectos aleatorios, todo ello con el objetivo de obtener un mayor nivel de información acerca de las relaciones entre las variables exógenas y endógenas para cada una de las entidades federativas. En el *modelo de efectos fijos* (Anexo 3) la mayoría de las variables resultaron no significativas.

En cambio el *modelo de efectos aleatorios* (Anexo 4) mostró resultados alentadores ya que todas las variables superaron las pruebas de significancia. La ecuación se muestra a continuación:

$$\text{LGENPC} = 0.974025 + 0.258035 \text{ LINGPC} - 0.139310 \text{ LPOBTOTHACBAJO} + 0.234320 \text{ LPOBOCSTER}$$

En este modelo de efectos aleatorios se puede apreciar que el impacto de las variables ingreso per cápita y empleo en el sector terciario sobre los niveles de generación de residuos es muy parecido. De igual modo disminuyó la relación inversa con la población con bajo grado de hacinamiento; el estadístico  $R^2$  disminuyó considerablemente (0.54).

Con el objetivo de analizar la posible correlación entre los efectos aleatorios y los regresores y poder así decidir entre la estimación por efectos fijos o por efectos aleatorios se desarrolló el contraste de Hausman (Anexo 5). Los resultados mostraron una probabilidad menor a 0.05 con lo cual se rechazó la hipótesis nula. Debido a los resultados del contraste de Hausman, la riqueza de información que proporciona este modelo de efectos aleatorios y por su concordancia con los resultados empíricos reportados por investigaciones anteriores (Seattle, King County y Europa), se asume este como el modelo que describe los procesos de generación de RSU en México.

El modelo para el caso mexicano supone que el ingreso per cápita y el nivel de empleo en el sector terciario van a incidir directamente sobre la generación de residuos. Efectivamente a un mayor nivel de ingresos y de actividad del sector terciario –específicamente de servicios– se corresponde un mayor nivel de consumo y por ende un crecimiento en los volúmenes de generación de residuos. De igual modo en la medida en que haya un menor número de habitantes en los hogares (bajo nivel de hacinamiento), se generarán menores cantidades de desechos.

### **3.4.2 Escenarios para la estimación**

Una vez que se ha determinado el modelo que describe las relaciones que inciden en la generación de residuos sólidos en México, se procederá a establecer los diferentes escenarios para estimar los volúmenes de generación en el futuro. Como se explicó con anterioridad, una efectiva política de gestión de residuos tiene como eje central una correcta estimación de los volúmenes de generación para el futuro; sin embargo, existe un componente aleatorio cuyo pronóstico resulta sumamente complejo.

En este caso de estudio establecimos cuatro escenarios para la estimación de los volúmenes de generación de residuos. Los escenarios suponen contextos básicos que pudieran manifestarse en el futuro cercano. Dado el hecho que se trata de un modelo que debe validarse con el tiempo se decidió llevar a cabo una estimación a mediano plazo (seis años).

A continuación se muestran los escenarios y sus supuestos:

La dimensión temporal de la estimación es de seis años y abarca el período 2005-2010. La variable a estimar será la generación de residuos diaria.

Escenario 1: La tasa de crecimiento de cada una de las variables exógenas del modelo es el promedio del crecimiento experimentado por estas en el período 1998-2004 para cada una de las Entidades Federativas.

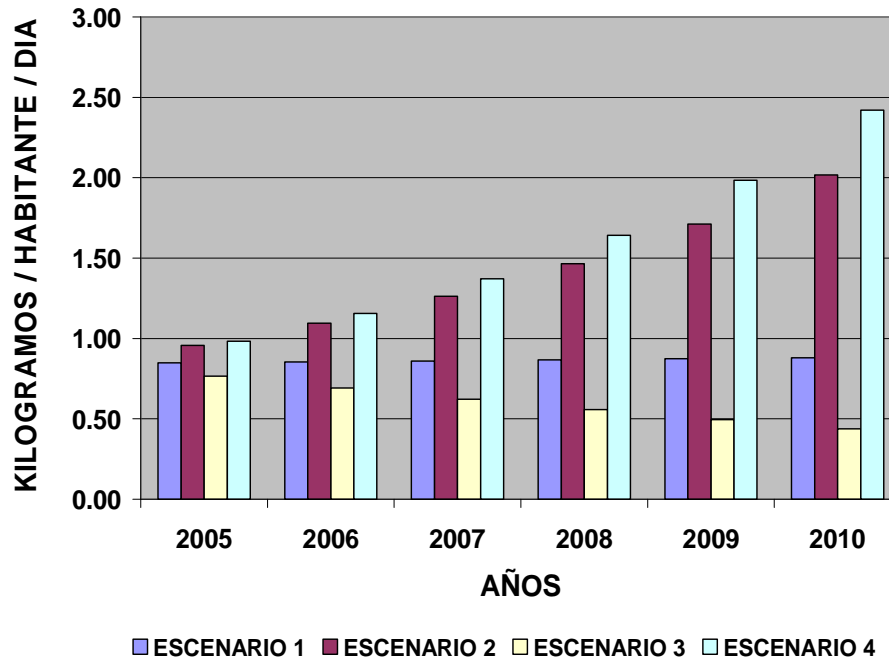
Escenario 2: La tasa de crecimiento de cada una de las variables exógenas del modelo es el promedio del crecimiento experimentado por estas en el período 1998-2004 para cada una de las Entidades Federativas, excepto para el ingreso per cápita que es del 5%.

Escenario 3: La tasa de crecimiento de cada una de las variables exógenas del modelo es el promedio del crecimiento experimentado por estas en el período 1998-2004 para cada una de las Entidades Federativas, excepto para la población con bajo grado de hacinamiento que es del 5%.

Escenario 4: La tasa de crecimiento de cada una de las variables exógenas del modelo es el promedio del crecimiento experimentado por estas en el período 1998-2004 para cada una de las Entidades Federativas, excepto para la población ocupada en el sector terciario de la economía que es del 5%.

La figura 3.3 muestra los resultados de las estimaciones para cada uno de los escenarios especificados anteriormente. Como se puede apreciar, el aumento en los volúmenes de generación de residuos para el escenario 1 es apenas imperceptible. Tan solo se registra un incremento de 0.02 Kg./habitante/día en los seis años del período.

Figura 3.3 Estimaciones para la generación diaria de residuos (2004-2010)



Para el segundo escenario se comprueba un crecimiento notable en los volúmenes de generación, provocado por un incremento del 5% en los niveles de ingreso per cápita. En este caso se registra un incremento de 1 Kg./habitante/día en el período de análisis.

En el tercer escenario, en cambio, se manifiesta una caída en la generación de residuos, todo ello debido a un incremento del 5% en la población con bajo grado de hacinamiento.

El cuarto escenario muestra un crecimiento explosivo del volumen de generación de residuos provocado por un aumento del 5% en los niveles de empleo en el sector terciario. El volumen de generación en este escenario para el año 2005 es de casi 1 Kg./habitante/día, en tanto que el último año del período registra un volumen de 2.42 Kg./habitante/día.



De esta estimación se puede concluir que efectivamente el ingreso per cápita y el empleo en el sector terciario son variables que inciden de modo directo sobre la generación de residuos. Dentro de estas, el nivel de empleo en el sector terciario parece ser la variable que logra un mayor impacto. En cambio un grado de hacinamiento bajo implica una relación inversa respecto a la generación de RSU.

Suponiendo que el crecimiento promedio de las variables exógenas del modelo se mantendrá durante los próximos seis años, el crecimiento de los volúmenes de generación de residuos será muy leve, apenas 0.02 Kg./habitante/día.

Según el modelo especificado y los escenarios descritos anteriormente, la tendencia es al incremento de los volúmenes de generación de residuos en México. Todo esto, unido al bajo porcentaje de reutilización de estos residuos, a la escasez de suelos con fines de disposición final de desechos y a la poca sensibilidad social al respecto, implica el agravamiento de la situación actual. Solo una efectiva política de gestión de residuos basada en la disminución de los desechos a partir de la fuente de generación, el reciclaje y la reutilización de los desechos orgánicos, puede revertir el alarmante contexto actual.

### ***3.5 Utilización de los residuos orgánicos con fines energéticos***

El reciclaje y la reducción de los residuos a partir de las fuentes de generación constituyen acciones importantes en el manejo de los RSU. No obstante existe un alto volumen de residuos orgánicos cuya manipulación y reutilización resulta compleja si no se cuenta con la infraestructura y los conocimientos adecuados.

Los proyectos de rellenos sanitarios controlados –también conocidos como landfill en inglés– están dirigidos a evitar la contaminación del medio ambiente. Este tipo de proyectos se enfocan en la captura del biogás que emiten los residuos orgánicos depositados en los vertederos y con ello evitan la emisión de GEI a la atmósfera. Los vertederos controlados deben cumplir con todas las normas de protección ambiental, ello implica que sus instalaciones deben contar con un sistema de recogida de lixiviados, así como de quema controlada o utilización práctica de gas recuperado.

Existen tres enfoques primarios para el uso del gas recuperado: (1) uso local directo del gas (ya sea en el mismo lugar o en los alrededores); (2) generación de electricidad y distribución a través de la red de energía; (3) inyección a una red de distribución de gas.

El uso local directo del gas con frecuencia resulta el enfoque más sencillo y el que presenta una mejor relación costo-eficiencia. El gas de calidad media puede utilizarse de muchas formas, entre ellas se pueden mencionar: uso residencial (cocina, calentadores de agua, calefacción), combustible de caldera para la calefacción y distintos usos industriales que requieren calor o vapor en su proceso (la fabricación de cemento o vidrio y el secado de piedra). Si el uso directo no resulta práctico, el gas puede generar electricidad al emplearse como combustible para una turbina o un motor de combustión interna. Si no se requiere electricidad en el lugar, puede distribuirse a través de la red de energía local.

Cada caso particular puede presentar otras opciones para la utilización de la energía. Por ejemplo, el gas comprimido puede utilizarse como combustible en camiones recolectores de basura que lleven los desechos al relleno sanitario. Otra posibilidad es que se necesite gas en las cercanías, por ejemplo para un invernadero con calefacción. Sin embargo, las anteriores son aplicaciones funcionales que no han demostrado tener una buena relación costo-eficiencia en los países en vías de desarrollo.

El financiamiento de este tipo de proyectos está condicionado por entidades que deseen cooperar con este tipo de inversiones con la finalidad de apoyar el cuidado y la protección del medio ambiente. Tradicionalmente, este tipo de proyecto tienden a ser financiados por:

a) Financiamiento internacional a partir de créditos de gobiernos y organizaciones internacionales<sup>83</sup>.

---

<sup>83</sup> Entre las organizaciones internacionales que apoyan este tipo de proyectos podemos mencionar al Banco

b) Financiamiento internacional a partir de donaciones cuyos objetivos serían la mejora en las condiciones de vida de la población y la protección del medio ambiente.

Los proyectos de rellenos sanitarios son susceptibles de ser registrados como proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) dentro del marco del Protocolo de Kyoto. Usualmente este tipo de proyectos son financiados por los gobiernos u organizaciones financieras de los países industrializados que ratificaron el PK y se comprometieron a reducir sus emisiones de GEI. Este financiamiento puede ser parcial o total en dependencia del alcance del proyecto, sin embargo a pesar de ser una modalidad de Asociación Público Privada (APP)<sup>84</sup> siempre la propiedad sobre los activos pertenecerá a la parte nacional y no a la contraparte internacional.

El desarrollo de proyectos de MDL supone un incentivo para los países en desarrollo ya que implican la obtención de tecnologías limpias que contribuyen a impulsar sus planes de desarrollo sustentable. Además, una vez registrado el proyecto como MDL es posible comerciar bonos de carbono lo cual supone una fuente adicional de ingresos.

### **3.6 Conclusiones**

En este capítulo se hizo referencia a las particularidades de la estimación econométrica mediante la metodología de panel, así como sus ventajas dentro del marco de los estudios acerca de la generación de residuos sólidos.

---

Mundial (BM), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Global Environment Facility (GEF).

<sup>84</sup> Una asociación pública privada (APP) es cualquier mecanismo o esquema de participación entre los sectores público y privado para alcanzar un objetivo común o proporcionar un servicio público; las APP cubren diferentes niveles de integración entre los dos sectores.

De igual modo se expusieron las características que presentan las políticas de gestión integral de residuos en diferentes ámbitos geográficos. Las diferencias que existen entre los países desarrollados y subdesarrollados en cuanto al diseño, la implementación y el monitoreo de las políticas ambientales relacionadas con el manejo de residuos, constituye también un factor que influye en las repercusiones de la generación de desechos.

El eje central de las políticas de gestión de residuos descansa en una correcta estimación de la generación de desechos en el futuro. En este capítulo se hizo referencia a tres casos de estudio en los cuales se implementaron políticas de este tipo. El alcance de este tipo de acciones varía desde efectos locales, hasta regionales y nacionales. La gestión de residuos demanda una estrecha vinculación de las autoridades locales y nacionales, así como la aplicación de un enfoque interdisciplinario.

Utilizando la metodología de panel se desarrolló un modelo de efectos aleatorios para explicar la interrelación entre la generación de residuos y el ingreso per cápita, el empleo en el sector terciario de la economía y la población con bajo nivel de hacinamiento. También se desarrolló la estimación de los volúmenes de generación de residuos para las 32 Entidades Federativas mexicanas en el período 2004-2010.

La estimación reflejó que, de mantenerse las condiciones actuales, la generación de residuos en México continuará incrementándose y con ello se agravará la situación actual.

En este capítulo también se plantearon algunas alternativas para la reutilización de los desechos orgánicos depositados en los vertederos. Si bien es cierto que el reciclaje y la disminución de los volúmenes de generación en la fuente constituyen acciones efectivas, también es innegable que siempre existirán desechos orgánicos susceptibles de ser reutilizados con los más diversos fines. Este

aprovechamiento de los residuos orgánicos depende de factores tales como la voluntad política, la sensibilidad social, los avances tecnológicos y las características propias de este tipo de residuos en cada ámbito geográfico. Aunque existen determinados autores que proponen un índice de valor calórico del biogás emitido en los vertederos, este varía en dependencia de los hábitos alimentarios de la población y las características del clima.

Es evidente que en México existe un considerable potencial para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, dados los amplios volúmenes generados anualmente. Los proyectos de MDL pudieran ser una solución efectiva al problema de los elevados volúmenes que actualmente se depositan en los vertederos mexicanos; sin embargo es preciso sensibilizar a las autoridades políticas y a la sociedad en general.

## Conclusiones finales

En la presente investigación se ha hecho referencia a la importancia de la estimación de la generación de residuos como herramienta fundamental para el diseño, la planeación e implementación y el monitoreo de una efectiva política de gestión integral para el manejo de desechos.

Ha quedado demostrado que es posible predecir el comportamiento futuro de la generación de residuos en México, teniendo en cuenta la relación que existe entre esta y una serie de factores económicos y sociales. Específicamente hablamos de la relación que existe entre la generación de desechos, el nivel de ingreso per cápita, la población ocupada en el sector terciario de la economía y el número de habitantes con bajo nivel de hacinamiento en los hogares.

Es importante aclarar que la investigación no incluye todas las posibles variables que pueden influir en la generación de residuos en México; la falta de información fue el principal factor que restringió el alcance de la presente investigación.

Los resultados de la investigación confirman la hipótesis: *es posible estimar la generación de RSU en México empleando variables socioeconómicas para, sobre esta base, articular una efectiva política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional*. El modelo de predicción necesita ser validado con información actualizada y confiable en la misma medida en que transcurre el tiempo; nuevas variables y escenarios pueden ser incorporados con el fin de hacer de este modelo una herramienta eficaz en la estimación de los volúmenes de generación de residuos en México.

De igual modo los resultados de la estimación para los escenarios sugeridos confirman el hecho que existe un grave problema con la disposición final de desechos en México. Específicamente en el Distrito Federal y el Estado de México la situación adquiere gran complejidad dada la enorme concentración poblacional de estas dos áreas geográficas. Se impone llevar a cabo un estudio detallado de las opciones a implementar para revertir el problema.

El Inventario de RSU del Distrito Federal constituye una iniciativa sumamente válida sin embargo es preciso desarrollar acciones enfocadas en la implementación de una política eficaz que sea sostenible en el tiempo. El problema del manejo de RSU en el Distrito Federal es de una enorme complejidad, en gran parte debido a la pasividad de las autoridades políticas y a las relaciones sociales históricas en torno a los llamados “dueños de la basura”. La evidencia empírica ha demostrado que solo las acciones de los gobiernos locales, regionales y nacionales, con el apoyo social, han sido capaces de implementar políticas realmente eficaces para el manejo de los residuos.

La situación actual del manejo de los residuos sólidos en México resulta favorable para implementar proyectos de captura y reutilización del biogás generado en los vertederos. Más del 80% de los residuos recolectados son depositados en vertederos y tiraderos a cielo abierto. Más del 50% de los desechos recolectados son orgánicos lo cual implica que no son susceptibles de ser reciclados como ocurre con algunos de los desechos inorgánicos. Todo ello representa un enorme potencial para la reutilización de los residuos orgánicos con fines energéticos. Este aprovechamiento con fines energéticos adquiere mayor importancia si tenemos en cuenta los dramáticos incrementos en los precios del petróleo, así como el hecho que las reservas probadas del crudo mexicano tienen un horizonte máximo de diez años.

Existen numerosas experiencias que permiten afirmar la factibilidad económica, social y ambiental de los proyectos de captura de biogás para la generación eléctrica. Independientemente de si estos proyectos están o no registrados dentro del marco de los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio, la realidad demuestra su éxito: constituyen una fuente de empleos, reducen el riesgo ambiental, mejoran la calidad de vida de los pobladores de la región en la que se ubican, hacen un uso racional del suelo, contribuyen al desarrollo sostenible y reducen la dependencia de combustibles fósiles.

Es innegable que al estar registrados como proyectos MDL este tipo de proyectos resultan más beneficiosos desde el punto de vista financiero y permiten tener una mayor capacidad de sustentabilidad. Imaginemos por ejemplo el proyecto de Monterrey en el cual fueron destruidas cerca de 600 mil toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, suponiendo un precio de venta de los bonos de carbono de 5 dólares por tonelada<sup>1</sup>, entonces este proyecto contaría con unos 3 millones de dólares adicionales hasta la fecha.

Para el caso específico del Distrito Federal y el Estado de México, donde la concentración económica y poblacional ha provocado el encarecimiento de los bienes y servicios básicos y ha comenzado a generar deseconomías, este tipo de proyectos de rellenos sanitarios puede ser una solución que ayude a resolver la gravísima situación en la que se encuentra hoy el servicio de recogida y disposición final de los RSU. Si el proyecto contempla la generación eléctrica, tal como lo hace el proyecto de Monterrey, entonces contribuiría a mejorar la difícil situación de la generación eléctrica, cuyos costos se han incrementado notablemente en los últimos años. Con un diseño eficiente<sup>2</sup> de los rellenos sanitarios también podría solucionarse el problema de la escasez de sitios para la disposición efectiva de RSU, situación que amenaza con volverse insostenible.

Si tomamos en cuenta los datos actuales de generación de residuos en el Distrito Federal y suponiendo que estos valores se mantendrán más o menos constantes en el período 2000-2020, lo cual es sumamente optimista si analizamos los resultados de la estimación que llevamos a cabo para el período 2004-2010; tendríamos más de 87 millones de toneladas de desechos. Sin lugar a dudas se trata de un gran volumen de residuos (aproximadamente el doble de lo que hoy se

---

<sup>1</sup> Los precios actuales (julio de 2008) de los bonos de carbono procedentes de proyectos registrados como MDL superan los 15 dólares por tonelada como promedio.

<sup>2</sup> Estos diseños proponen un uso alternado de “piscinas” para la deposición de RSU. O sea que se contaría con más de un sitio donde depositar los residuos sólidos y se irían alternando durante ciertos períodos de tiempo a fin de contar con sitios ociosos. Para ello es preciso tener en cuenta que se considera un período de diez a quince años a partir de su cierre en el cual un relleno sanitario está generando biogás.



procesa en el proyecto de Monterrey) que permitiría apoyar la generación de energía eléctrica provocando una diversificación de las fuentes de generación y contribuyendo a la sustentabilidad económica.

Para el caso de sitios con baja concentración poblacional (ciudades pequeñas y comunidades rurales) se sugiere desarrollar iniciativas de menor alcance como el aprovechamiento del biogás para la cocción de alimentos o para ser utilizado en actividades productivas que así lo requieran.

Sin dudas es necesario desarrollar una política nacional con el apoyo de las autoridades regionales y locales. Es importante señalar que no existe un modelo único para implementar proyectos basados en el aprovechamiento energético de los residuos. Cada región tiene características propias que reclaman soluciones diversas.

## Recomendaciones

Dada la grave situación generada por el notable incremento del volumen de generación de RSU en México, y teniendo en cuenta los obstáculos asociados a la implementación de un Programa Integral de Manejo de residuos, sería apropiado sugerir inicialmente la implementación de programas educativos y de promoción dirigidos a sensibilizar a la sociedad en el tema del manejo de los RSU. De igual modo es necesario lograr un entendimiento con las fuerzas laborales implicadas en las tareas de recolección y disposición de los desechos con el fin de dirigir todos los esfuerzos en un único sentido: lograr implementar un programa que resulte efectivo en el manejo de los residuos.

Es preciso realizar investigaciones dirigidas a conocer con mayor exactitud qué materiales integran los desechos generados por los habitantes de cada región. Estas investigaciones permitirían realizar análisis posteriores dirigidos a valorar las diferentes opciones que pudieran ser puestas en práctica para lograr un efectivo manejo y disposición final de los residuos. Sería apropiado además tomar muestras *in situ* de los desechos con el objetivo de calcular su valor calórico, este podría ser un dato muy importante en la valoración de escenarios que contemplen la posibilidad del aprovechamiento energético del biogás. Es preciso implementar un sistema de recogida de desechos que optimice el factor tiempo y que minimice los costos de las operaciones del manejo y disposición final de los residuos; para ello es necesario fomentar programas dirigidos a la separación de los desechos desde el hogar y su posterior transportación hacia las plantas de manejo en vehículos recolectores apropiados (que transporten los desechos separados).

Concluyendo, es preciso realizar un análisis detallado de los factores que inciden en la generación de residuos en México (nivel de ingresos, empleo, número de habitantes, grado de analfabetismo, entre otros) con el fin de estimar la tendencia futura de la generación de desechos. Estudiar además la composición de estos desechos, su valor calórico, potencial de reciclaje, mercado de materiales

secundarios, ahorros por concepto de reciclaje, análisis costo beneficio de la implementación del uso de los residuos con fines energéticos, entre otros. Fundamental será, además, involucrar a todos los habitantes de las regiones, así como a las autoridades, en la toma de decisiones respecto del modelo de manejo de residuos que se decida implementar.

## Anexos

### Anexo 1. Modelo de efectos comunes.

Dependent Variable: LGENPC?  
Method: Pooled Least Squares  
Date: 08/16/08 Time: 00:12  
Sample: 1998 2004  
Included observations: 7  
Cross-sections included: 32  
Total pool (balanced) observations: 224

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.157998	0.087523	13.23085	0.0000
LINGPC?	0.244446	0.014091	17.34763	0.0000
LPOBTOTHBAJO?	-0.293897	0.034690	-8.471992	0.0000
LPOBOCSTER?	0.388517	0.034628	11.21989	0.0000
R-squared	0.868024	Mean dependent var	2.463397	
Adjusted R-squared	0.866224	S.D. dependent var	0.078531	
S.E. of regression	0.028723	Akaike info criterion	-4.244535	
Sum squared resid	0.181503	Schwarz criterion	-4.183613	
Log likelihood	479.3880	F-statistic	482.3233	
Durbin-Watson stat	0.277888	Prob(F-statistic)	0.000000	

**Anexo 2. Modelo de sección cruzada (Año 2001).**

Dependent Variable: LGENPC\_2001

Method: Least Squares

Date: 06/16/08 Time: 17:37

Sample: 1 32

Included observations: 32

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.003333	0.227203	4.416027	0.0001
LINGPC_2001	0.262846	0.037591	6.992171	0.0000
LPOBTOTHBAJO_2001	-0.243297	0.089911	-2.705973	0.0115
LPOBOCSTER_2001	0.343774	0.090927	3.780761	0.0008
R-squared	0.880637	Mean dependent var	2.457181	
Adjusted R-squared	0.867848	S.D. dependent var	0.079534	
S.E. of regression	0.028913	Akaike info criterion	-4.132608	
Sum squared resid	0.023406	Schwarz criterion	-3.949391	
Log likelihood	70.12172	F-statistic	68.85936	
Durbin-Watson stat	2.143610	Prob(F-statistic)	0.000000	

### Anexo 3. Modelo de efectos fijos.

Dependent Variable: LGENPC?

Method: Pooled Least Squares

Date: 08/16/08 Time: 00:13

Sample: 1998 2004

Included observations: 7

Cross-sections included: 32

Total pool (balanced) observations: 224

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.923860	0.321058	2.877550	0.0045
LINGPC?	0.068830	0.058935	1.167892	0.2443
LPOBTOTHBAJO?	0.055637	0.071688	0.776097	0.4387
LPOBOCSTER?	0.156930	0.044336	3.539587	0.0005
Fixed Effects (Cross)				
_ACS--C	0.077570			
_BC--C	0.063024			
_BCS--C	0.162453			
_CAM--C	0.096440			
_COA--C	0.001504			
_COL--C	0.084442			
_CHI--C	-0.117299			
_CHIU--C	0.011567			
_DF--C	0.052995			
_DUR--C	0.043557			
_GUA--C	-0.035171			
_GUE--C	-0.057714			
_HID--C	-0.069676			
_JAL--C	-0.024732			
_EDOM--C	-0.052327			
_MICH--C	-0.098697			
_MOR--C	0.028626			
_NAY--C	0.039191			
_NL--C	0.052498			
_OAX--C	-0.142928			
_PUEB--C	-0.093424			
_QUER--C	0.045230			
_QROO--C	0.060586			
_SLPO--C	-0.040183			
_SIN--C	0.016718			
_SON--C	0.002901			
_TAB--C	0.015135			
_TAM--C	-0.000757			
_TLAX--C	0.027414			

_VER--C	-0.130799
_YUC--C	-0.008045
_ZAC--C	-0.010100

---



---

Effects Specification

---



---

Cross-section fixed (dummy variables)

---



---

R-squared	0.973861	Mean dependent var	2.463397
Adjusted R-squared	0.969159	S.D. dependent var	0.078531
S.E. of regression	0.013791	Akaike info criterion	-5.586959
Sum squared resid	0.035948	Schwarz criterion	-5.053889
Log likelihood	660.7394	F-statistic	207.1089
Durbin-Watson stat	1.060331	Prob(F-statistic)	0.000000

---



---

#### Anexo 4. Modelo de efectos aleatorios.

Dependent Variable: LGENPC?  
 Method: Pooled EGLS (Cross-section random effects)  
 Date: 08/16/08 Time: 00:45  
 Sample: 1998 2004  
 Included observations: 7  
 Cross-sections included: 32  
 Total pool (balanced) observations: 224  
 Swamy and Arora estimator of component variances

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.974025	0.147346	6.610453	0.0000
LINGPC?	0.258035	0.024866	10.37702	0.0000
LPOBTOTHBAJO?	-0.139310	0.041198	-3.381489	0.0009
LPOBOCSTER?	0.234320	0.039125	5.989087	0.0000
Random Effects				
(Cross)				
_ACS--C	0.002785			
_BC--C	0.046073			
_BCS--C	0.042407			
_CAM--C	-0.012345			
_COA--C	-0.033393			
_COL--C	0.001409			
_CHI--C	-0.025774			
_CHIU--C	0.000292			
_DF--C	0.025113			
_DUR--C	0.021770			
_GUA--C	0.013625			
_GUE--C	0.002683			
_HID--C	-0.032407			
_JAL--C	0.010542			
_EDOM--C	0.045739			
_MICH--C	-0.032367			
_MOR--C	0.010035			
_NAY--C	0.023797			
_NL--C	0.018826			
_OAX--C	-0.047355			
_PUEB--C	-0.023665			
_QUER--C	-0.002842			
_QROO--C	-0.036534			
_SLPO--C	-0.023702			
_SIN--C	0.027164			
_SON--C	-0.025554			
_TAB--C	0.034068			
_TAM--C	-0.005392			
_TLAX--C	0.024771			



_VER--C	-0.034590
_YUC--C	-0.018149
_ZAC--C	0.002970

---



---

Effects Specification			
		S.D.	Rho
Cross-section random		0.026014	0.7806
Idiosyncratic random		0.013791	0.2194

---



---

Weighted Statistics			
R-squared	0.535326	Mean dependent var	0.483988
Adjusted R-squared	0.528989	S.D. dependent var	0.020850
S.E. of regression	0.014309	Sum squared resid	0.045047
F-statistic	84.48326	Durbin-Watson stat	0.923502
Prob(F-statistic)	0.000000		

---



---

Unweighted Statistics			
R-squared	0.851203	Mean dependent var	2.463397
Sum squared resid	0.204637	Durbin-Watson stat	0.203290

---



---

### Anexo 5. Prueba de Hausman.

Correlated Random Effects - Hausman Test

Pool: MODELO

Test cross-section random effects

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Cross-section random	19.839337	3	0.0002

Cross-section random effects test comparisons:

Variable	Fixed	Random	Var(Diff.)	Prob.
LINGPC?	0.068830	0.258035	0.002855	0.0004
LPOBTOTHBAJO?	0.055637	-0.139310	0.003442	0.0009
LPOBOCSTER?	0.156930	0.234320	0.000435	0.0002

Cross-section random effects test equation:

Dependent Variable: LGENPC?

Method: Panel Least Squares

Date: 08/16/08 Time: 00:45

Sample: 1998 2004

Included observations: 7

Cross-sections included: 32

Total pool (balanced) observations: 224

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.923860	0.321058	2.877550	0.0045
LINGPC?	0.068830	0.058935	1.167892	0.2443
LPOBTOTHBAJO?	0.055637	0.071688	0.776097	0.4387
LPOBOCSTER?	0.156930	0.044336	3.539587	0.0005

#### Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)

R-squared	0.973861	Mean dependent var	2.463397
Adjusted R-squared	0.969159	S.D. dependent var	0.078531
S.E. of regression	0.013791	Akaike info criterion	-5.586959
Sum squared resid	0.035948	Schwarz criterion	-5.053889
Log likelihood	660.7394	F-statistic	207.1089
Durbin-Watson stat	1.060331	Prob(F-statistic)	0.000000

## **Bibliografía**

Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F. y Zepeda, F. *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo y Organización Panamericana de la Salud. 1998.

Arbia, G. *Spatial econometrics. Statistical foundations and applications to regional convergence*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 2006.

Armstrong, J. S. *Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners*. Kluwer Academia Publishers, Boston. 2001.

Baltagi, B. H. *Econometric analysis of panel data*. Second Edition. John Wiley & Sons. Chichester. England. 2001.

Banco Mundial. *Informe mundial sobre desarrollo*. IBRD. Desarrollo y Medio Ambiente. 1992.

Barde, Jean-Phillippe. *Economics instruments in environmental policy: Lessons from OECD experience and their relevance to developing economies*. OCDE. 1994.

Beede, D. N. & Bloom, D.E. *The economics of Municipal Solid Waste*. The World Bank Research Observer, 10 (2). USA. 1995.

Beigl, P. Wassermann, G., Schneider, F. & Salhofer, S. *Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Major European Cities*. University of Natural resources and Applied Sciences, Vienna. Austria. 2004.

Bernow, S. et al. *Ecological Tax Reform*. Ecological Tax Reform Workshop. USA. 1996.

Blight, G. *Solid Waste Management: Critical Issues for Developing Countries*. University Press of West Indies. Kingston. 2000.

Boletín Demográfico No. 76. *América Latina: Proyecciones de Población Urbana y Rural (1970-2025)*. CELADE, CEPAL. 2005.

Cointreau-Levine, S. *Private sector participation in municipal solid waste services in developing countries*. Banco Mundial. USA. 1994.

Constantino, R. *Modelos, modelación y funciones de regresión. Una versión introductoria al problema de la modelación econométrica*. Curso de econometría Colson. 2006.

Dinan, T. M. *Economics efficiency effects of alternative policies for reducing waste disposal*. Journal of Environmental Economics and Management, 25 (3). USA. 1993.

Domínguez-Villalobos, L. & Brown-Grossman, F. *El gasto ambiental: diagnósticos y reflexiones de política*. Agenda para el desarrollo. Volumen 14: Sustentabilidad y Desarrollo Ambiental. UNAM & H. Cámara de Diputados, LX Legislatura. 2007.

Dooley, F. J., Bangsund, D. A., Leistritz, F. L. & Fischer, W. R. *Estimating Optimal Landfill Sizes and Locations in North Dakota*. Agricultural Economics Report No. 294. Fargo, North Dakota: North Dakota State University, Department of Agricultural Economics. USA. 1993.

Fair, L. *Generating Public Sector Resources to Finance Sustainable Development: Revenue and Incentive Effects*. 2002.

Field, B. *Economía Ambiental: una introducción*. Mc. Graw-Hill Interamericana. Colombia. 1997.

Förster, M., Jesuit, D. & Smeeding, T. *Regional poverty and income inequality in central and eastern Europe: Evidence from Luxembourg income study*. Syracuse University, New York. 2002.

Fullerton, D. & Kinnaman, T. C. *Garbage, recycling and illicit burning or dumping*. Journal of Environmental Economics and Management, 29 (1). USA. 1995.

Fullerton, D. & Kinnaman, T. C. *Household responses to pricing garbage by bag*. American Economic Review, 86 (4). USA. 1996.

Garza, G. *La urbanización de México en el siglo XX*. El Colegio de México, A.C., México, D.F., 2003.

Greene, W. H. *Análisis econométrico*. Tercera Edición. Prentice Hall. España. 2006.

Gobierno del Distrito Federal & Secretaría de Medio Ambiente. *Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal*. 2006.

Hardoy, J.E. *Environmental Problems Third World*. Earthscan Publications. England. 1993.

Hsiao, C. *Analysis of panel data*. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge. 2003.

Jenkins, R. R. *The economics of Solid Waste Reduction*. Edward Elgar Publishing Limited. England. 1993.

Kinnaman, T. C. & Fullerton, D. *The economics of residential solid waste management*. Department of Economics, Bucknell University & Department of Economics University of Texas. USA. 1999.

Koutsoyiannis, A. *Theory of Econometrics*. Second edition. Hamsphire, London. 1977.

Malarin, H. & Vaughan, W. J. *An approach to the economic analysis of solid waste disposal alternatives. A good practice paper*. USA. 1997.

Martínez-Alier, J. & Roca-Jusmet, J. *Economía Ecológica y Política Ambiental*. Fondo de Cultura Económica. México. 2001.

Martínez-Alier, J. & Schlupmann, K. *La ecología y la economía*. Fondo de Cultura Económica. México. 1991.

Naredo, J.M. & Parra, F. *Hacia una ciencia de los recursos naturales*. Siglo XXI de España Editores. España. 1993.

Palmer, K. & Walls, M. *Materials use and solid waste: an evaluation of policies*. Resources for the future discussion paper. USA. 1994.

Pearce, D. & Turner, K. *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Colegio de Economistas de Madrid. Celeste. 1995.

Podolsky, M. & Spiegel, M. *Municipal waste disposal: unit-pricing and recycling opportunities*. Publick Works Management and Policy, 3 (1). USA. 1998.

Repetto, R., Dower, R. C., Jenkins, R. & Geoghegan, J. *Green fees: how a tax shift can work for the environment and the economy*. The World Resources Institute. USA. 1992  
Romero, C. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. II Edición Ampliada. Alianza Económica. España. 1997.

Sancho, J. & Rosiles, G. *Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México*. Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), México. 1999

Swallow, S. K., Opaluch, J. J. & Weaver, T. F. *Siting Noxious Facilities: An Approach that Integrates Technical, Economic, and Political Considerations*. Land Economics. 68. USA. 1992.

Work Group. *Solid waste costs and barriers to recycling. Beyond waste: Washington State Solid Waste Plan*. Issue paper 10. Publication No. 02-07-030. Washington State Department of Ecology, USA. 2002.

World Bank Publications. *Historic cities and Sacred Cities: Cultural Roots for Urban Futures*. 2001.

### **Referencias electrónicas**

<http://www.epa.gov/airmarkets/progress/arpreport/acidrainprogress.pdf>  
<http://www.epa.gov/airmarkets/emissions/score00/index.html>  
<http://www.lenntech.com/greenhouse-effect/greenhouse-effect-mechanism.htm>  
<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>  
<http://unfccc.int/>  
[www.chicagoclimateexchange.com](http://www.chicagoclimateexchange.com)