

**DETERMINANTES DE LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA  
FUENTE: LA EVIDENCIA DE BOGOTÁ**

**CAROLINA DOMÍNGUEZ TORRES**

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE ECONOMÍA  
MAESTRÍA EN ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS  
NATURALES (PEMAR)  
BOGOTÁ, JUNIO DE 2004

**DETERMINANTES DE LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA  
FUENTE: LA EVIDENCIA DE BOGOTÁ**

Tesis de grado para optar por el título de  
Magíster en Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales

Autor:

**CAROLINA DOMÍNGUEZ TORRES**

Asesor:

Eduardo Uribe Botero

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE ECONOMÍA  
MAESTRÍA EN ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS  
NATURALES (PEMAR)  
BOGOTÁ, JUNIO DE 2004

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
2. Situación actual del manejo de residuos sólidos en Bogotá.....	4
2.1. Composición y clasificación de los residuos .....	6
2.2. Manejo de residuos sólidos .....	8
3. El servicio de aseo y la separación en la fuente.....	9
4. Revisión de literatura.....	12
5. Marco teórico.....	16
6. Estimación empírica .....	21
6.1. Base de datos.....	21
6.2. Modelo econométrico.....	27
6.3. Resultados.....	29
7. Conclusiones y recomendaciones.....	39
8. Referencias .....	42

RESUMEN Este artículo estudia la ciudad de Bogotá: Las empresas, el regulador ambiental y las comunidades. Reconociendo que las decisiones de dichos agentes pueden ser mutuamente dependientes, se estima un modelo de ecuaciones simultáneas para encontrar los determinantes del desempeño ambiental de las empresas, del control del regulador y de la presión de la comunidad sobre las firmas contaminadoras. Los resultados evidencian que, contrario a lo que ocurre en otras ciudades del tercer mundo, el comportamiento ambiental de la industria en Bogotá depende principalmente del control ejercido por el regulador y no depende, significativamente, de la presión proveniente de las comunidades afectadas. Se encontró también que

## **1. Introducción**

En relación con los temas asociados a la protección ambiental, la gestión integral de residuos sólidos tiene una gran importancia dentro de la gestión ambiental. La gestión integral de residuos sólidos hace relación a las actividades asociadas con el manejo de residuos sólidos, de forma que se les dé el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final (MDE, 2002).

La recuperación de los residuos sólidos, con el objeto de reincorporar al ciclo productivo una gran parte de los mismos, es una actividad que parece urgente y necesaria en el contexto actual de manejo de residuos sólidos en Colombia. En efecto, por una parte, existen dificultades de diferentes clases para encontrar tierras disponibles donde ubicar los sitios de disposición final y la vida útil de los rellenos sanitarios que funcionan actualmente se encuentra cada vez más reducida debido a la cantidad de residuos sólidos que se disponen (SSPD, 2002). Por otra parte, se tienen los efectos ambientales de la disposición final a través de técnicas de botadero, enterramiento, relleno sanitario e incineración. Asimismo,

existe un costo de oportunidad asociado a la no utilización de residuos que son dispuestos y que tienen gran potencial de reutilización (vidrio, papel, metal, plástico, residuos orgánicos, entre otros materiales).

La creciente generación de residuos sólidos se torna en un problema adicional, que justifica la búsqueda de alternativas de disposición final de residuos sólidos económica y ambientalmente eficientes. Este problema es prioritario debido a, entre otros, la ausencia de un marco de apoyo a la introducción de tecnologías limpias para la disposición final de residuo, la ausencia de un marco normativo que defina la responsabilidad de los sectores productivos en la generación, manejo y disposición de residuos postconsumo; y la ausencia de conciencia ciudadana sobre la relación entre los residuos, el ambiente y la economía (MMA, 1997).

Una parte importante de la cadena de recuperación de residuos sólidos es la decisión del hogar de separar en la fuente, es decir, la clasificación de los residuos sólidos generados por el hogar en el sitio donde se generan para su posterior recuperación (MDE, 2002). En éste sentido, es pertinente identificar los factores que influyen la decisión del hogar de separar en la fuente o no hacerlo. Por tanto, la presente investigación se enfoca en la separación en la fuente. Para tal efecto, conviene señalar las ventajas y desventajas de esta forma de separación sobre la separación en estaciones especializadas (Giraldo, 2000). Dentro de las ventajas de la separación en la fuente se encuentra que ésta evita que los materiales se contaminen, lo cual implica que sea más fácil su posterior reincorporación al ciclo productivo, una mayor parte de los mismos se reutilicen y la calidad del material reutilizable sea mejor a la que obtendría de haberse contaminado. Por otra parte, la separación en la fuente supone que las personas se involucran directamente en el manejo de residuos sólidos y pueden llegar a comprender la problemática ambiental en torno a este tema, lo cual es un beneficio social de la separación en la fuente.

Una de las mayores desventajas que pueden existir de la separación en la fuente es la asociada a los costos de recolección de manera selectiva, que pueden dar lugar a que el análisis costo-beneficio de esta forma de separación sea negativo. No obstante, este análisis depende de la forma que se elija para la recolección de los materiales que se separan en la fuente, ya que se puede hacer mediante la instalación de centros de acopio de reciclaje (v.g. supermercados), recolección por rutas especiales y recolección con clasificación en el vehículo (Giraldo, 2000).

Sin perjuicio de lo anterior, debe tenerse en cuenta que la cadena de recuperación de residuos sólidos va más allá de la decisión de los hogares. En consecuencia, es importante tener en consideración a los demás actores sociales involucrados en esta actividad, como por ejemplo los recicladores y las personas prestadoras del servicio de aseo. Es así como, factores que pueden llegar a influir sobre la decisión del hogar es la existencia de redes organizadas o no de recolección selectiva de residuos sólidos, y el funcionamiento adecuado de un mercado de los productos reciclados.

Con base en la anterior justificación, el presente trabajo tiene como objetivo estimar un modelo de elección de separación en la fuente por parte de los hogares bogotanos, con el fin de identificar los determinantes que influyen en la decisión de estos de reciclar algún material. A partir de lo anterior, se tiene como objetivos específicos conocer el efecto sobre la decisión de reciclar que tendría el establecimiento de una tarifa que dependiera del volumen/peso de residuos sólidos producidos por los hogares (precio marginal del servicio de aseo diferente de cero), y algunas variables que permitan definir la política en torno a cómo incentivar la separación en fuente.

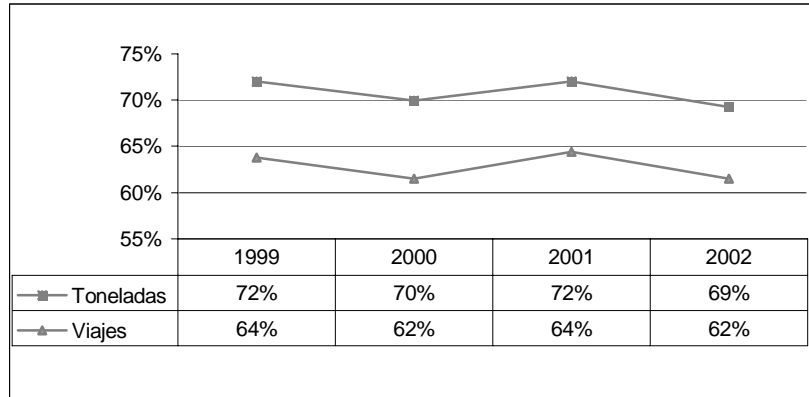
## **2. Situación actual del manejo de residuos sólidos en Bogotá**

Bogotá cuenta con un área urbana de aproximadamente 420 kilómetros cuadrados, con un población en el 2001 de 6'557.581 y una tasa de crecimiento media anual de 2,08%. Esto significa que la densidad de población por kilómetro cuadrado fuera de 15.613 habitantes para el año 2001 (UESP, 2003).

En el caso de la ciudad de Bogotá, la disposición final se lleva a cabo a través del Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ), donde todos los residuos que llegan son depositados en un frente de descargue, para ser dispuestos, sin que se lleve a cabo un proceso de selección previa de residuos sólidos. Una vez los residuos alcanzan una altura de 2.50 metros aproximadamente, estos son cubiertos con una capa de tierra de 40 centímetros de espesor (UESP, 2004).

Durante el período comprendido entre 1999 y el 2002, el porcentaje de recolección domiciliaria de residuos sólidos ha pasado de ser del 72 al 69 por ciento. Se ha reportado también una disminución en el porcentaje de viajes realizados para llevar a cabo la recolección domiciliaria sobre el total de viajes, pasando de ser 64% en 1999 al 62% en el 2002. Esta evolución se presenta en la gráfica 1.

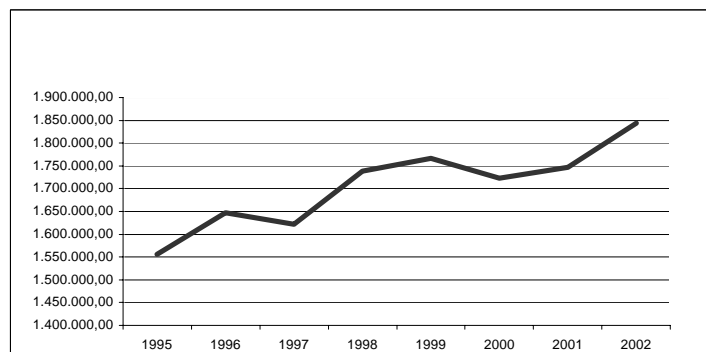
**Gráfica 1. Evolución de la participación porcentual de la recolección domiciliaria 1999:2002**



Fuente: UESP(2003 a)

Es un hecho que la tasa de generación de residuos de Bogotá aumenta año tras año, tanto por el crecimiento de la población (tasa de crecimiento promedio anual de alrededor del 2,3%) (Plan Maestro), como por la ausencia de incentivos regulatorios que conduzcan a la disminución del nivel per cápita de producción y/o a la reducción del volumen de residuos a disponer. En la gráfica 2 se observa la evolución en número de toneladas producidas.

**Gráfica 2. Toneladas anuales 1995- 2002**





El cuadro 1 muestra la evolución del crecimiento de la población en Bogotá para los años 1993, 1995 y 1999.

**Cuadro 1. Crecimiento población Bogotá**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>
1993	5.484.244	
1995	5.678.343	
1999	6.276.428	
2000	6.437.842	2,57 %
2005	7.185.889*	2,22 %*
2010	7.919.120*	1,96 %*
2015	8.602.814*	1,67 %*

Fuente: DANE - \* Proyecciones Plan Maestro. Anexo A 3 – Proyección de Cantidades

Uno de los factores que tradicionalmente ha influido en el nivel de producción de residuos sólidos tiene que ver con el nivel de ingreso per capita (Mahar, 1999). Siguiendo esta tendencia, es de esperarse que aumentos en el ingreso generen aumentos de los residuos sólidos. De acuerdo con las proyecciones, se estima que para el año 2015 el ingreso medio mensual familiar en Bogotá será de \$930.370 (pesos de 1995), que implica un incremento del 42% con respecto al ingreso de 1999(\$657.127, pesos de 1995) (Plan Maestro).

Lo anterior significa que para el año 2015 se estarían produciendo hasta 8.503 toneladas/día, lo que implica un incremento del 40% en la producción de residuos tomando como base la 6,111 toneladas de residuos sólidos ordinario que para 1999 eran producidas diariamente.

## **2.1. Composición y clasificación de los residuos**

De acuerdo con el Plan Maestro de Residuos Sólidos para Bogotá, los residuos sólidos se clasifican en 5 grupos: residuos sólidos ordinarios, residuos sólidos peligrosos, residuos sólidos hospitalarios, escombros y lodos. Los residuos sólidos

ordinarios son producidos por usuarios residenciales, pequeños productores y grandes productores<sup>1</sup>.

El 94% de los residuos totales dispuestos en el Relleno Sanitario de Doña Juana son residuos ordinarios. El restante 6% se distribuye entre residuos provenientes de plazas mercado (1,6%), residuos peligrosos (0,8%), patógenos (0,2%) y escombros (4,3%). Del total de residuos sólidos ordinarios (6.117 toneladas), el 68% corresponde a residuos producidos por usuarios residenciales y comerciales, el 22% corresponde a grandes productores, exceptuando terminales de transporte y plazas de mercado, cuya participación es irrelevante. La recuperación de residuos sólidos ordinarios generados por usuarios residenciales y pequeños productores para 1999 alcanzaba un 14%, ya que de un total de 4.173 toneladas diarias 592 eran recicladas (Plan Maestro).

En la gráfica 3 se presenta la composición de residuos sólidos ordinarios que se depositan en el relleno sanitario de Doña Juana, con base en información del período comprendido entre junio de 1998 y diciembre de 1999. Como se puede observar, el 53% de los residuos sólidos son orgánicos, el 25% es material plástico y caucho, el 12% es cartón, el 4% es textiles, y aproximadamente el 6% corresponde a otros materiales, entre los que están metales, cuero, minerales, muro y cerámica, ladrillo y cenizas, y madera<sup>2</sup>. Obsérvese que dentro de estos

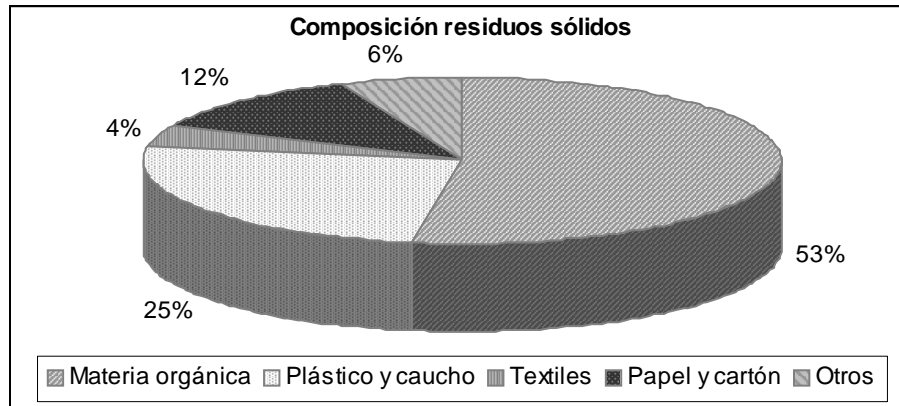
---

<sup>1</sup> Son aquellos usuarios que producen más de un metro cúbico de residuos sólidos por mes. Artículo 1. Decreto 1713 de 2002.

<sup>2</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. – Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos (2000). Plan Maestro para el manejo integral de residuos sólidos. Anexo A 2 – Análisis Estadístico de la Información Básica. La composición físico-química de los residuos que se presenta es el resultado de muestras aleatorias de 100 kg de basura, que resulta del cuarteo de los residuos provenientes de un carro de cada consorcio recolector. Las muestras fueron tomadas entre los meses de junio de 1998 y diciembre de 1999.

materiales no se encuentra el vidrio, lo cual indica que este material no se está enviando o se está enviando en cantidades mínimas a la disposición final.

**Gráfica 3. Composición de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Doña Juana en Bogotá**



Fuente: Plan Maestro - Anexo A 2 – Análisis Estadístico de la Información Básica

## 2.2. Manejo de residuos sólidos

La recolección por parte de la empresa prestadora del servicio de aseo no se efectúa de manera separada de acuerdo con la clase de residuos sólidos, de forma que una vez el camión recoge la basura del hogar la misma se revuelve. En algunos casos, los recicladores recogen determinados materiales en las puertas de las casas o en los conjuntos residenciales antes de que pase la ruta de recolección de basuras. Por tanto, no toda la basura producida por el hogar es transportada por el operador de aseo. Los residuos sólidos son transportados directamente hasta el sitio de disposición final (relleno sanitario), sin que se realice un tranvasije previo en estaciones de transferencia. Una vez en el relleno sanitario los residuos sólidos son dispuestos no realizándose proceso de separación alguno.

En concordancia con lo anterior, en Colombia es ilegal que los hogares quemen o entierren o boten en cualquier lugar la basura, por lo cual están obligados a contratar con una empresa de servicios públicos el servicio de recolección de basuras<sup>3</sup>. Adicionalmente, actualmente no existe un programa formal por parte del municipio dirigido a la reducción de la producción de residuos por parte de los hogares ni tampoco de aprovechamiento o reciclaje.

### **3. El servicio de aseo y la separación en la fuente**

De acuerdo con la normatividad vigente, el servicio público de aseo comprende principalmente los servicios de recolección de residuos sólidos, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, transporte y disposición final de los residuos sólidos, y las actividades de transferencia, tratamiento y aprovechamiento<sup>4</sup>.

La actividad de aprovechamiento puede ser una de las formas de llevar a cabo la disposición final de residuos sólidos. El proceso de aprovechamiento de residuos sólidos se realiza a través de las actividades de reutilización, reciclaje, incineración con fines de generación de energía, compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos (MDE, 2003). Cada una de las actividades a través de las cuales puede ser llevado a cabo el aprovechamiento presenta diferentes características económicas, que dependen de la tecnología utilizada.

---

<sup>3</sup> De acuerdo con el Código de Policía de Bogotá, “No podrán efectuarse quemas abiertas para tratar residuos sólidos o líquidos”.

<sup>4</sup> Artículo 1 de la Ley 632 de 2000, por medio de la cual se modifica la definición inicial introducida por el numeral 24 del artículo 14 de la Ley 142 de 1994.

A pesar de que la experiencia de aprovechamiento es reciente, en la regulación deben preverse los mecanismos para promover el aprovechamiento de residuos sólidos, que comprometan a todos los actores involucrados en el proceso de generación, recolección, tratamiento, disposición y consumo de residuos sólidos; cuando quiera que el aprovechamiento resulte ser una actividad costo-eficiente. Así, en cada comunidad debe evaluarse la viabilidad económica de la puesta en marcha de programas de reciclaje, ya que esta actividad presenta economías de escala significativas, lo que indica que para que esta actividad sea costo efectiva debe recuperarse un gran volumen de materiales (Jakus, Tiller y Park, 1997). De una parte se debe evaluar el costo real de disponer los residuos sólidos a través de un relleno sanitario, y evaluar los costos del aprovechamiento (directos e indirectos de capital, anuales de operación y mantenimiento, y el derivado del ahorro por la no utilización del relleno sanitario). De otra parte, se debe evaluar los ingresos de cada alternativa, que vienen dados por las tarifas de prestación del componente de disposición final, que depende directamente del número de toneladas dispuestas, y los ingresos provenientes de la venta de productos y subproductos resultantes del proceso de aprovechamiento.

De conformidad con la actual metodología tarifaria, las tarifas del servicio público de aseo no tienen en cuenta el volumen o peso de los residuos sólidos realmente producidos por los usuarios. La regulación parte de una parametrización para tratar de aproximarse a la producción de residuos sólidos de los hogares, que se manifiesta en la definición de un factor de producción per capita por usuario (PPU) y factores de producción por estrato. En consecuencia, el aumento o disminución de los residuos sólidos por parte del hogar no tiene impacto sobre la tarifa.

No obstante, la Ley 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos Domiciliarios) establece el derecho de los usuarios de los servicios públicos a obtener de las empresas la medición de sus consumos reales y que el consumo sea la variable

principal en la construcción del precio que se cobra al suscriptor o usuario. En desarrollo de ésta previsión, el Decreto 1713 de 2002 definió al multiusuario del servicio público de aseo como aquel usuario agrupado<sup>5</sup> que presenta en forma conjunta sus residuos sólidos y que solicita el aforo de esos residuos para que la medición sea la base de la facturación del servicio ordinario de aseo. Así, hoy en día es posible que a aquel usuario que solicite acogerse a la opción tarifaria de multiusuario se le cobre con base en el volumen y peso de los residuos aforados. La tarifa final al usuario del servicio de aseo se reducirá bajo la opción tarifaria de multiusuario siempre que el volumen de residuos sólidos producido sea inferior al parametrizado<sup>6</sup> en la metodología actual.

El servicio de aseo en Bogotá se estructura bajo la forma de Área de Servicio Exclusivo (ASE)<sup>7</sup>. El ASE es un área delimitada en la cual una entidad territorial, previa invitación pública, asigna a un solo operador el derecho de prestar el servicio durante un tiempo determinado. En el caso de Bogotá, la Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos a través de licitación pública adjudicó a cuatro operadores las actividades de: recolección y transporte, de los residuos generados por usuarios residenciales, pequeños productores, grandes productores; barrido y limpieza integral de vías, áreas y elementos que componen el amoblamiento urbano público, incluyendo la recolección y el transporte, de los residuos generados por estas actividades; corte de césped, en vías y áreas públicas hasta el sitio de tratamiento, disposición final o aprovechamiento, de los residuos

---

<sup>5</sup> La agrupación puede ser de varias unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios, centros comerciales o similares.

<sup>6</sup> 120 kg/mes/usuario para estratos 1, 2, 3 y 4; 177.6 kg/mes/usuario para estrato 5 y 199.2 Kg / mes/usuario para estrato 6.

<sup>7</sup> Figura consagrada en los Artículos 40 de la Ley 142 de 1994 y 9 de la Ley 632 de 2000. Esta figura se reglamentó a través del Decreto 891 de 2002. Para el caso de Bogotá, la CRA se pronunció favorablemente sobre la inclusión y otorgamiento de áreas de servicio exclusivo en Bogotá mediante Resolución CRA 235 de noviembre 7 de 2002.

generados por esas actividades, por el término de siete años<sup>8</sup>. Cada uno de los 4 prestadores opera en un área geográfica delimitada. La adjudicación del ASE no afectó las tarifas del servicio de aseo, ya que éstas no fueron un elemento central de decisión para la adjudicación.

#### **4. Revisión de literatura**

Como señala Estrada (2003), la literatura alusiva al tema de residuos sólidos, tratamiento y disposición en rellenos sanitarios se puede clasificar en dos grandes categorías. Por una parte, la literatura enfocada desde la ingeniería, que trata sobre el diseño, la localización, el manejo, el transporte, el tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos. De otra parte, se encuentra el enfoque económico que establece parámetros de eficiencia económica respecto del manejo de residuos sólidos. A continuación se presentan los resultados de algunos estudios, relacionados con el segundo de los enfoques mencionados.

Macauley y Walls (1995) resaltan la importancia que para los ambientalistas reviste la reducción de residuos sólidos; señalan que los principales objetivos de las políticas públicas relacionadas con residuos sólidos deben ser reducir los impactos ambientales y sobre la salud asociados a la existencia de rellenos sanitarios e incineradores; conservar la energía y los recursos naturales; reducir la emisión de gases de efecto invernadero; aumentar la demanda de materiales de “segunda” para ayudar a las comunidades locales en la venta de los productos reciclables que colectan. A partir de lo anterior, los autores concluyen que el principal problema para alcanzar los objetivos planteados es la valoración de cero

---

<sup>8</sup> Resolución de UESP de febrero 22 de 2004, “Por la cual se fijan las tarifas del servicio público domiciliario de aseo para Bogotá D.C, de acuerdo con el plan de transición tarifaria, para el mes de febrero de 2004”.

que los usuarios le dan a los procesos de recolección y disposición de residuos sólidos en la mayoría de ciudades de Estados Unidos. El precio cero implica que la disposición sea mayor a la socialmente óptima, alejándose del verdadero costo marginal social.

Roberts, Douglas y Park (1991), estimaron a través de la metodología de valoración contingente las externalidades generadas a los residentes de las zonas ubicadas en cercanías del relleno sanitario en Knix County, Tennessee. El resultado obtenido por disponibilidad a pagar (DAP) fue de \$227 dólares anuales por vivienda. Dentro de las variables consideradas, y que resultaron relevantes para la estimación, se encuentran el ingreso, el número de años en la comunidad, la distancia entre el hogar y el relleno sanitario, la educación del encuestado, entre otros. En aquellos casos en los cuales el encuestado se encontraba además expuesto a tomar aguas contaminadas por efectos de la operación del relleno sanitario la DAP aumentó en \$141 dólares anuales por vivienda.

Hong, Adams y Love (1993) analizaron los factores socioeconómicos que influyen en la decisión de reciclar, así como la incidencia de incentivos económicos, en el caso de la ciudad de Portland, Oregon. En ésta ciudad existe un sistema de pago diferenciado, de acuerdo con el número de canecas que se recogen, de forma que el costo marginal de una caneca adicional de 32 galones es diferente de cero. Estos autores encontraron que a mayor ingreso, nivel educativo y número de personas por hogar aumentaba la probabilidad de reciclar. Asimismo, frente a aumentos en la valoración por parte del hogar, la probabilidad de reciclar disminuye.

En el estudio desarrollado por Jakus, Tiller y Park (1996), se encontró que es posible aumentar el reciclaje de los hogares a través de la adopción de programas en los cuales los hogares perciban que deben invertir poco tiempo en reciclar.



Estos autores estimaron que la DAP mensual por reciclar es de U\$ 5,78 por hogar. En la misma línea que el anterior artículo, en 1997 los mismos autores encontraron que la DAP por reciclar por hogar es de 5,78 dólares. Los resultados indican que los usuarios responden positivamente a reciclar papel pero no vidrio. Igualmente, encontraron que existen costos pequeños de promover medidas a favor del reciclaje. De la misma forma, los programas deben estar dirigidos a promocionar el reciclaje como un bien público que beneficia a todos y que disminuye los costos de disposición final.

De manera semejante, Caplan, Grijalva y Jakus (2002), a través del método de elección discreta y ranking contingente, aproximaron la disponibilidad a pagar por los servicios de separación en Ogden, UT. Los resultados indican que la DAP está en el rango de 3.7- 4.6 centavos de dólar por galón de residuos sólidos, por el servicio que haga posible la separación de residuos reciclables de otros residuos sólidos.

Jenkis et. al (2003) encontró que el acceso a recolección selectiva de los materiales en la acera tiene un impacto positivo sobre el reciclaje de cinco materiales (botellas de vidrio, botellas de plástico, aluminio, papel periódico y pasto), así como la edad de los programas de reciclaje. Este autor también encontró que la obligación de reciclar no tiene impacto sobre las cantidades recicladas ni la existencia de precios por unidad producto del material reciclado.

En materia de valoración de medidas de reciclaje, se encuentra el artículo de Powell (1996), en el cual se valoran los costos y beneficios de reciclar, a través de medidas de polución, congestión y accidentes. Powell encontró que la evaluación de costos era muy inferior a los beneficios que se pueden obtener de reciclar, medidos estos últimos en términos de re-uso de materiales.

En relación con el tema de residuos sólidos orgánicos y su tratamiento, la literatura es menos extensa. Cabe destacar el trabajo de Park, Lamons, y Roberts (2002), sobre factores asociados a la decisión de compostar. Los resultados indican que el comportamiento, las actitudes y el conocimiento son muy significativos para determinar la disponibilidad a compostar de los agentes.

Choe y Fraser (1998) encontraron que en ausencia de incentivos económicos, ni los hogares ni las empresas toman medidas para reducir la cantidad de residuos sólidos que estén asociadas a costos. Incentivos explícitos pueden inducir la reducción de residuos sólidos, y en algunos casos aumentos en el precio del servicio de recolección pueden conducir al aumento de la disposición ilegal. Los autores encontraron que las políticas óptimas asociadas al reciclaje deben contemplar la posibilidad de disposición ilegal y los esfuerzos en que deben incurrir los hogares y las firmas para adelantar programas de separación en la fuente.

La literatura revisada permite orientar el presente estudio hacia la identificación para el caso de Bogotá de los factores que inducen el reciclaje, y contrastar estos resultados con los obtenidos en otras comunidades. Debe señalarse que en gran parte de los estudios antes referidos se examinó el efecto de cierto tipo de incentivos económicos explícitos sobre la decisión del hogar o los efectos de programas de reciclaje preexistentes. En el presente estudio se parte de una regulación que no provee incentivos económicos para la reducción y/o la separación en la fuente de residuos sólidos, y de una realidad en la que no existe promoción del reciclaje ni un programa obligatorio de separación. En consecuencia se examinan los determinantes que conducen de manera voluntaria al hogar a separar los residuos sólidos.

## 5.Marco teórico

Como se señaló en la introducción, la separación de residuos sólidos para aprovechamiento puede hacerse en la fuente o en centros especializados. Éste documento se centra en la primera de estas formas y en consecuencia el hogar es la unidad de análisis, ya que es quien toma la decisión de separar en la fuente y a quién se dirige la política pública relativa al reciclaje. El modelo que se presenta se basa en el trabajo de Jakus, Tiller y Park, (1996).

En el modelo se asume que no existen incentivos económicos explícitos para la reducción/separación, como podrían ser un esquema de depósito-reembolso o una penalización por no separar los residuos sólidos o reducirlos. En el caso colombiano, en general, no existe un esquema de medidas de comando y control o de instrumentos económicos dirigidos a este fin. En concordancia con lo anterior, se asume una tarifa plana ( $F$ ), es decir, una tarifa que el usuario debe pagar por el servicio de aseo, que incluye componentes adicionales a la recolección y transporte de residuos de origen doméstico. Esto significa que el volumen o peso de los residuos sólidos producidos por el hogar no tiene influencia sobre la tarifa, salvo la excepción prevista para el caso de la opción tarifaria de multiusuario<sup>9</sup>.

En el modelo se considera que los residuos sólidos producidos por el hogar ( $T$ ) dependen de la cantidad de insumos ( $x$ ) asociados al consumo del bien  $Z$ , donde  $x$  es un vector  $nx1$ , de acuerdo con la función  $T(x)$ , donde  $T_{x_j} > 0$ . El total de los

---

<sup>9</sup> La opción tarifaria de multiusuario tiene como objeto que la facturación de los usuarios que conforman el usuario agrupado (multiusuario) se realice de acuerdo con la producción real de residuos presentados. Para el efecto, la persona prestadora deberá efectuar el aforo de los residuos sólidos. En éste caso, la tarifa que paga cada uno de los usuarios depende de manera directa del volumen y peso de los residuos que presentan para recolección y transporte del respectivo operador (CRA, 2002).

residuos sólidos producidos por el hogar son divisibles en dos fracciones, a saber: No reciclables ( $G$ ) y Reciclables ( $R$ ). La cantidad de cada una de estas fracciones viene determinada por la cantidad de insumos ( $x$ ) y del tiempo dedicado a la separación en la fuente ( $S$ ), en tanto que la cantidad total de residuos sólidos ( $T$ ) no se altera por el tiempo dedicado a la separación y en esta medida sólo depende de  $x$ , así:

$$T(x) = G(S, x) + R(S, x) \quad (1)$$

De acuerdo con lo anterior, es posible formular la siguiente ecuación:

$$G(S, x) = T(x) - R(S, x) \quad (2)$$

La utilidad depende del consumo del bien  $Z$  - que es una función de los insumos  $x$ -, del ocio ( $L$ ) y de la cantidad de residuos no reciclables generados por el hogar ( $G$ ). La función de utilidad se escribe de la siguiente manera

$$U[Z(x), L, G(S, x)] \quad (3)$$

Se asume que la primera derivada de la utilidad con respecto a  $Z$  y  $L$  es mayor que cero, en tanto que la primera derivada de la utilidad con respecto a  $G$  es menor o igual a cero<sup>10</sup>. Reemplazando (2) en (3) se llega a:

$$U[Z(x), L, T(x) - R(S, x)] \quad (4)$$

---

<sup>10</sup>  $U_G \leq 0$ , ya que la generación de basuras puede impactar negativamente la utilidad de los hogares que consideren voluntariamente reciclar, en tanto que la misma no afecta la utilidad de aquellos hogares a quienes le sea indiferente el nivel de generación de residuos sólidos.

El ingreso del hogar viene dado por la cantidad de horas trabajadas ( $\omega$ ) por el valor de la hora ( $H$ ). Este ingreso debe ser igual a la cantidad de dinero invertido en los insumos  $x$  al precio  $\rho$  (se expresa como un vector  $n \times 1$ ), más el valor del servicio de aseo ( $F$ ), que es una tarifa fija que no depende de la producción de residuos sólidos del hogar. Esta restricción se escribe:

$$\omega H = \rho x + F \quad (5)$$

Igualmente, el hogar se enfrenta a una restricción temporal, en donde el total de tiempo disponible en el período ( $D$ ), es igual a la cantidad de tiempo de ocio disponible por período ( $L$ ), a la cantidad de horas trabajadas en el período ( $H$ ), y a la cantidad de tiempo dedicado a la separación en la fuente ( $S$ ). Esta restricción se escribe:

$$D = (L + H + S) \quad (6)$$

El hogar tiene como propósito maximizar  $x$ ,  $S$  y  $L$ , sujeto a las restricciones de tiempo y presupuesto. El Lagrangiano del anterior problema se escribe de la siguiente manera:

$$\text{Max } L = U(Z(X), T(x) - R(S, x), L) + \lambda [\omega H - \rho x - F] - \mu [D - L - H - S] \quad (7)$$

Las condiciones necesarias para optimizar  $x$ ,  $S$  y  $L$  están dadas por las siguientes expresiones (donde  $j = 1, 2, \dots, n$ ):

$$(8a) \quad \frac{\partial L}{\partial x_j} = U_Z Z_{x_j} + U_G (T_{x_j} - R_{x_j}) - \lambda(\rho_j) \leq 0$$

$$(8b) \quad \left( \frac{\partial L}{\partial x_j} \right)_{x_j} = 0$$

$$(8c) \quad \frac{\partial L}{\partial S_j} = -U_G (R_{s_j}) - \mu \leq 0$$

$$(8d) \quad \left( \frac{\partial L}{\partial S_j} \right)_{S_j} = 0$$

$$(8e) \quad \frac{\partial L}{\partial L} = U_L - \mu \leq 0$$

$$(8f) \quad \left( \frac{\partial L}{\partial L} \right)_L = 0$$

La condición (8a) indica que la elección óptima de la cantidad de insumos  $x$  viene dada por la utilidad marginal del producto (Z) y por la potencial desutilidad de la basura derivada del consumo de dicho insumo, en el caso de que la generación de basuras implique una desutilidad. Esta condición refleja el valor de mercado del insumo  $x_j$  ( $\rho_j$ ), pero no su costo de disposición, ya que la tarifa no depende de la cantidad producida de residuos sólidos.

La tercera y cuarta condiciones indican la elección óptima de tiempo dedicado a la separación en la fuente (S). Si se recicla, la condición se convierte en una igualdad.

Como se puede observar en las anteriores condiciones de primer orden, la tarifa plana no afecta las decisiones de reciclaje y por lo tanto las cantidades finales de basura son excesivas, desde el punto de vista social. Así, si se observa la condición (8a) si hubiera una tarifa que dependiera de la cantidad de residuos sólidos no reciclables  $G(S, x)$ ,  $f$ , aparecería un nuevo valor en la condición que

vendría dada por  $-\lambda f(T_{xj} - R_{xj})$ , es decir, que reflejaría el costo de disposición., y como consecuencia de ello las cantidades no recicladas se reducirían como efecto de una política de precios diferencial a la disposición. En efecto, si existiera un cargo por recolección de basuras variable, los consumidores elegirían productos tales que redujeran  $T(x)$  o aumentarían  $R(S,x)$ . Igualmente, de existir un cargo diferencial, en la condición (8c) aparecería un término adicional  $\lambda(fR_{sj})$ , tal que dividiendo toda la expresión por  $\lambda$ , se convierten todos los términos en valores monetarios. A partir de lo anterior, se llegaría a que el beneficio marginal del tiempo dedicado a reciclar debe ser igual al costo marginal de reciclar.

Las condiciones (8e) y (8f) se relacionan con la elección óptima de ocio ( $L$ ). En este caso la utilidad marginal del ocio debe ser igual al precio sombra del mismo, que viene dado por  $\mu$ .

El modelo expuesto explica como los hogares actúan frente a la separación en la fuente. Así, como antes se expresó, al no existir un cargo variable de recolección de basuras, los individuos optimizan  $x$  sin consideración de los costos de disposición, que es uno de los resultados que se esperan obtener en la estimación empírica. El modelo provee una explicación para aquellos hogares que reciclan en ausencia de incentivos monetarios: las compras de los insumos  $x$  se incrementan en el caso en el cual su valor mercado caiga ( $\rho$ ). Igualmente, el tiempo dedicado a la separación ( $S$ ) decrece en el caso en el cual el costo marginal de reciclar se incrementa. La decisión de reciclar existe siempre que el beneficio marginal de reciclar  $-(U_G R_{sj})$  sea positivo.

A partir del modelo teórico expuesto, en el modelo empírico no se tendrán en cuenta variables asociadas con incentivos económicos, ya que como se vio al no estar estas implementadas la decisión del hogar de separar en la fuente viene

dada por otras razones, como por ejemplo el tiempo que el hogar percibe que se requiere para llevar a cabo la separación de residuos sólidos.

## **6. Estimación empírica**

Debido a que existe una tarifa plana y que no existe un mercado estructurado de materiales reciclables, tales como esquemas de depósito reembolso, en la actualidad las decisiones de los hogares no dependen de incentivos económicos. Esto significa que la decisión del hogar de participar en programas de aprovechamiento o de separar en la fuente responde a razones sociales, éticas, ambientales, o de otro tipo. Para propósitos de la presente investigación se aplicó una encuesta en donde se preguntaba a las familias si reciclaban o no ciertos tipos de material y las razones subyacentes. A partir de los resultados obtenidos en esta encuesta se propone un modelo econométrico para determinar las principales razones o factores que afectan la decisión de reciclaje.

### **6.1. Base de datos**

Los datos de reciclaje en los hogares fueron recolectados en Bogotá, a través de encuestas directas a 328 hogares de diferentes estratos socioeconómicos, realizadas durante el mes de abril de 2004. Para el efecto, se tuvo en cuenta la distribución de la población según la estratificación de la ciudad elaborada por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). De acuerdo con la metodología urbana para la estratificación socioeconómica de Bogotá, los porcentajes por estrato se muestran en el cuadro 2. Es importante señalar que el 11,97% sin estratificación corresponde a manzanas con usos distintos al residencial, que no se consideran en el presente estudio. En consecuencia, fue



preciso reponderar la participación de cada estrato con el objetivo de obtener el número de encuestas a ser practicadas en cada uno de estos (cuadro 2)<sup>11</sup>.

**Cuadro 2. Porcentaje Estratificación DAPD, reponderación y No. de encuestas**

<b>Estrato</b>	<b>Porcentaje estratificación DAPD</b>	<b>Porcentaje reponderación Estratificación</b>	<b>No. Encuestas</b>
1	15,19	17%	57
2	34,54	39%	128
3	28,12	32%	105
4	5,59	6%	21
5	2,46	3%	9
6	2,11	2%	8
Sin estratificación	11,97		
Total		100%	328

El cuadro 3 contiene las estadísticas resumidas de variables dependientes. Las preguntas sobre la decisión de reciclar se hicieron por tipo de material, a saber: vidrio, cartón o papel, aluminio, plástico y residuos orgánicos. Téngase en cuenta que no todos los hogares reciclan todos los materiales, y que la pregunta fue formulada para cada material. De acuerdo con estos resultados, el 50% de los hogares encuestados reciclan al menos un material. El 41% y el 43% de los hogares de la muestra reciclan vidrio y cartón, respectivamente. Estos altos

---

<sup>11</sup> El número de encuestas tomadas en cada estrato se determinó con base en el porcentaje del Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). A pesar de que los hogares de los estratos más altos son quienes generan mayor cantidad de residuos sólidos reciclables, no se alteró el porcentaje de estratificación y en consecuencia no se aumentó el número de encuestas en estos estratos, ya que el presente estudio pretende determinar los factores que para los hogares bogotanos influyen en la separación dentro del hogar. Un cambio en los porcentajes de estratificación podría alterar los resultados encontrados.

porcentajes pueden deberse al conocimiento difundido que se tiene sobre el reuso de vidrio y el cartón.

**Cuadro 3. Estadísticas descriptivas variables acerca de la decisión de reciclar**

<b>Variabl e</b>	<b>Definición</b>	<b>Media o %</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>n</b>
RECI	Variable dicotómica 0=No recicla; 1=Recicla algún material	0.509	0.501	0	1	328
VIDR	Variable dicotómica 0=No recicla vidrio; 1= Recicla vidrio	0.415	0.494	0	1	328
CART	Variable dicotómica 0=No recicla cartón; 1= Recicla cartón	0.436	0.497	0	1	328
ALUM	Variable dicotómica 0=No recicla aluminio; 1= Recicla aluminio	0.241	0.428	0	1	328
PLAS	Variable dicotómica 0=No recicla plástico; 1= Recicla plástico	0.333	0.472	0	1	328
ORGA	Variable dicotómica 0=No recicla residuos orgánicos; 1= Recicla residuos orgánico	0.265	0.442	0	1	328

Las personas que reciclan cierto material, fueron preguntadas por el tiempo de almacenamiento del mismo, esto es, el tiempo que transcurre entre la separación en la fuente y la entrega. Para todos los materiales, una gran proporción de los mismos permanecen almacenados por menos de una semana (cuadro 4). Esto puede explicarse por que un 87% de los hogares consultados cuentan con un servicio de recolección de basuras de 3 veces por semana.

**Cuadro 4. Tiempo de almacenamiento materiales reciclados**

<b>Material</b>	<b>Menos de una semana</b>	<b>1 semana</b>	<b>2 semanas</b>	<b>1 mes o más (menos de un año)</b>
Vidrio	59%	20%	9%	12%
Cartón- papel	44%	20%	8%	26%
Aluminio	36%	11%	5%	7%
Plástico	47%	18%	5%	12%
Residuos orgánicos	58%	5%	2%	0%

Un 25% de las personas entrevistadas que afirmaron NO reciclar algún material, adujeron como razón la falta de interés en el tema. Un 10% sostuvo que no recicla por que las basuras se revuelven en el camión. El 75% restante expresó diferentes razones para no reciclar, tales como que reciclar es muy demorado (7%) o que no existe nadie que compre el material reciclado (2%). A pesar de estos resultados, en un elevado porcentaje las personas que no reciclan (por encima del 70%, para todos los materiales) estarían dispuestas a hacerlo si recibieran algún dinero por unidad del material reciclable, como se presenta en el cuadro 5. Los precios ofrecidos corresponden a un estudio de mercado elaborado en el mes de abril de 2004, entre recicladores populares.

**Cuadro 5. Disponibilidad a reciclar**

<b>Material</b>	<b>Oferta</b>	<b>Número de hogares que no reciclan el material</b>	<b>Estarían dispuestos a reciclar</b>	<b>No estarían dispuestos a reciclar</b>
Vidrio	\$30 por botella grande de vidrio	184	78%	22%
Cartón- papel	\$200 por cuarta grande de papel	178	76%	24%
Aluminio	\$1500 por cada 20 latas de aluminio	240	79%	21%
Plástico	\$400 por cada bolsa grande de plástico limpio	211	80%	20%
Residuos orgánicos	\$300 por cada bolsa grande de residuos orgánicos	234	76%	24%

La encuesta incluye también preguntas relacionadas con variables como edad, genero, nivel educativo y número de años de la persona que toma o tomaría las decisiones sobre reciclaje dentro del hogar (cuadro 6). La variable TOMATIEM fue codificada de forma que el signo esperado sea positivo. Estudios anteriores han revelado que los hogares no están en la capacidad de responder cuanto tiempo dedican a reciclar (Jakus, Tiller y Park, 1997) y que si se pregunta sobre el tiempo específico dedicado a reciclar los hogares que no reciclan no están en la capacidad de responder la pregunta. Por lo tanto, se optó por formular la pregunta de forma que pudiera ser contestada por hogares que reciclan y que no reciclan, y a la vez que capturara la percepción del tiempo necesario para reciclar<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> La percepción del costo del tiempo es una medida apropiada es un modelo como el escogido, ya que dicha percepción representa una de las mayores barreras para que el hogar reciclen.

**Cuadro 6. Estadísticas descriptivas variables socioeconómicas encuestados**

Variable	Definición	Signo esperado	Media o %	Desviación estándar	Mín	Máx	n
GEND	Genero de quien toma la decisión de reciclar dentro del hogar. Variable dicotómica 0=mujer; 1=hombre.	(-)	0.24	0.428	0	1	325
EDAD	Edad de quien toma la decisión de reciclar dentro del hogar.	(+)	43.2	14.455	15	84	325
AMIG	Amigos o conocidos que reciclan. Variable dicotómica 0=No tiene amigos que reciclen; 1= Tiene amigos que reciclan.	(+)	0.259	0.439	0	1	328
BENE	Conoce algún beneficio de reciclar. Variable dicotómica 0=NO ; 1=SI conoce algún beneficio de reciclar	(+)	0.625	0.485	0	1	328
LUGA	Lugar para reciclar. Variable dicotómica: 0= En desacuerdo; 1= De acuerdo.	(+)	0.655	0.476	0	1	328
TOMATIEM	Tiempo de reciclar. Variable dicotómica: 0=Mucho tiempo; 1= poco tiempo, muy poco tiempo, no toma tiempo.	(+)	0.872	0.335	0	1	328

Las personas fueron preguntadas por diferentes aspectos relacionados con el manejo de residuos sólidos en Bogotá y el reciclaje del hogar (cuadro 7). Los resultados de la aplicación de la encuesta muestran que un porcentaje alto (63%) de los encuestados saben cuanto pagan por el servicio de aseo en la ciudad de Bogotá. El 93% de los encuestados percibe que Bogotá tiene un problema de manejo de residuos. En general, según éstos el problema más grande es el de que la basura se bota en la calle, bien por que la empresa de aseo no la recoge a tiempo, y los animales y personas la desordenan, o por la ausencia de una conciencia en torno a la limpieza de la ciudad. Un 26% de las personas que creen que Bogotá tiene un problema de basuras consideran que se debe al funcionamiento inadecuado del servicio de aseo. Entre las razones dadas se encuentran la baja frecuencia de recolección domiciliaria de residuos sólidos, y la recolección a deshoras de estos. Un 15% considera que el problema de residuos sólidos de Bogotá es que no se reciclan.

**Cuadro 7. Preguntas de percepción del servicio**

Pregunta	SI		NO	
<b>Sabe cuanto paga por el servicio de aseo</b>	<b>206</b>	<b>63%</b>	<b>122</b>	<b>37%</b>
<b>Piensa que Bogotá tiene un problema de basuras</b>	<b>304</b>	<b>93%</b>	<b>24</b>	<b>7%</b>
* La botan en la calle	217	71%		
* Servicio no funciona	79	26%		
* Hay muchas basuras	60	20%		
* No se recicla	45	15%		
*No hay donde botarlas	39	13%		
<b>Sabe que pasa después de que se recogen</b>	<b>216</b>	<b>66%</b>	<b>112</b>	<b>34%</b>
* Se botan en un botadero	189	88%		
* Se aprovechan	14	6%		
<b>Sabe que es reciclar</b>	<b>303</b>	<b>92%</b>	<b>25</b>	<b>8%</b>
<b>Conoce algún beneficio de reciclar</b>	<b>205</b>	<b>63%</b>	<b>123</b>	<b>38%</b>
* Ambientales	124	60%		
* Económicos	96	47%		
* Sociales	25	12%		

## 6.2. Modelo econométrico

Se considera un modelo de decisión de reciclaje por parte de los hogares, utilizando un modelo probit. Las especificaciones econométricas han sido escogidas utilizando el modelo teórico propuesto por Jakus, Tiller y Park, (1996). El hogar responde a la encuesta, si recicla algún material (RECI=1) o no recicla algún material (RECI=0). Por tanto, la variable dependiente es una variable dicotómica, que toma valores de 1 o 0. La especificación empírica incluye parámetros de tiempo y espacio disponible para reciclar, como una aproximación a la tecnología de producción de los hogares y que capturan el costo de reciclar. Asimismo se incluyen factores como la edad, el género, que el hogar tenga amigos que reciclen, entre otros, que pueden llegar a explicar la decisión del hogar de reciclar, los cuales se recogen en un vector  $\mathbf{x}$ , de manera que:

$$\text{Prob}(\text{RECI} = 1) = F(x, \beta)$$

$$\text{Prob}(\text{RECI} = 0) = 1 - F(x, \beta)$$

El vector  $\beta$  es un vector de parámetros, que refleja el efecto que cada una de las variables (contenidas en el vector  $\mathbf{x}$ ) tiene sobre la probabilidad de reciclar algún material. Para un vector  $\mathbf{x}$  dado, se espera que:

$$\lim_{\beta'x \rightarrow +\infty} \text{Prob}(\text{RECI}=1) = 1$$

$$\lim_{\beta'x \rightarrow -\infty} \text{Prob}(\text{RECI}=1) = 0$$

El modelo con variable dependiente dicotómica es un modelo de regresión, que se expresa así:

$$E[\text{RECI} | x] = 0[1 - F(\beta'x)] + 1[F(\beta'x)] = F(\beta'x)$$

La primera derivada de la anterior ecuación con respecto a  $\mathbf{x}$  se escribe así:

$$\frac{\partial E[\text{RECI} | x]}{\partial x} = \left\{ \frac{dF(\beta'x)}{d(\beta'x)} \right\} \beta = f(\beta'x)\beta$$

Donde  $f$  es la función de densidad relacionada con la función de distribución  $F(\cdot)$ . Se debe anotar que la anterior derivada representa los efectos marginales.

La función de densidad acumulada (FDA) que se utilizará para estimar el modelo es una FDA normal (modelo probit)<sup>13</sup>, con media cero y varianza unitaria. Dado el

---

<sup>13</sup> La elección de un modelo probit responde al mejor ajuste encontrado en los modelos econométricos. No obstante lo anterior, las diferencias con las estimaciones obtenidas mediante modelos logit son mínimas. Se debe recordar que las estimaciones realizadas mediante modelos logit y probit son semejantes, debido a que se está trabajando con una muestra grande. Si bien los coeficientes de regresión son diferentes, los efectos marginales que se obtienen en los modelos logit y probit son similares.

supuesto de normalidad, la probabilidad de que la variable dependiente RECI tome el valor 1 vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_i = \Pr(\text{RECI} = 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta_1 + \beta_2 X_i} e^{-(\beta_1 + \beta_2 X)^2 / 2} dt$$

### 6.3. Resultados

A partir de una muestra de 328 observaciones de las variables independientes, se trata de obtener una combinación que proporcione la probabilidad de que las variables dependientes (RECI, VIDR, CART, ALUM, PLAS, ORGA), en cada caso, tomen el valor de 1, correspondiente a la decisión del hogar de reciclar algún material o cada uno (según corresponda) en función de ciertos determinantes.

Se corrieron diferentes regresiones para cada una de las variables dependientes, aplicando un modelo de elección binaria (probit). A partir de estas estimaciones, de la aplicación de pruebas estadísticas y de la combinación de diferentes variables, se identificaron las más significativas. El cuadro 8 presenta los resultados de la regresiones estimada en LIMDEP, sin tener en cuenta los valores omitidos, donde la variable dependiente es RECI.

$$\text{Prob}(\text{RECI} = 1) = \Phi[\alpha + \beta_1 \times \text{GEND} + \beta_2 \times \text{EDAD} + \beta_3 \times \text{EDAD}^2 + \beta_4 \times \text{AMIG} + \beta_5 \times \text{LUGA} + \beta_6 \times \text{TOMATIEM} + \beta_7 \times \text{IEDU} + \beta_8 \times \text{BENE}]$$



**Cuadro 8. Modelo probit determinantes RECI**

<b>Variable</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>z-estadístico</b>	<b>Prob.</b>
C	-3.844	0.731	-5.26	0.000
GEND	-0.287	0.183	-1.572	0.116
EDAD	0.095	0.028	3.365	0.001
EDAD2	-0.001	0.000	-2.855	0.004
AMIG	0.756	0.182	4.153	0.000
LUGA	0.312	0.164	1.905	0.057
TOMATIEM	0.797	0.255	3.144	0.002
IEDU	0.512	0.319	1.604	0.109
BENE	0.335	0.163	2.047	0.041

La razón de verosimilitud de la regresión es alta y estadísticamente significativa lo que indica que el reciclaje de algún material por parte del hogar puede se explicado por las variables incluidas dentro de la regresión.

Los valores positivos (negativos) de los coeficientes de regresión estimados en los modelos probit indican que la variable incrementa (reduce) la posibilidad de que el hogar recicle algún tipo de material.

Como se puede observar en el cuadro 8 los signos de los coeficientes son consistentes con los resultados esperados. El signo positivo de la variable AMIG indica que tener amigos o conocidos influye positivamente en la probabilidad de reciclar, manteniendo el resto de las variables iguales. En forma similar, si el hogar considera que tiene un lugar adecuado para reciclar (LUGA=1) o considera que reciclar toma poco tiempo, muy poco tiempo o no toma tiempo (TOMATIEM=1), la posibilidad de que el hogar recicla algún material aumenta. Las variables LUGA y TOMATIEM pueden ser consideradas la tecnología de producción de los hogares.

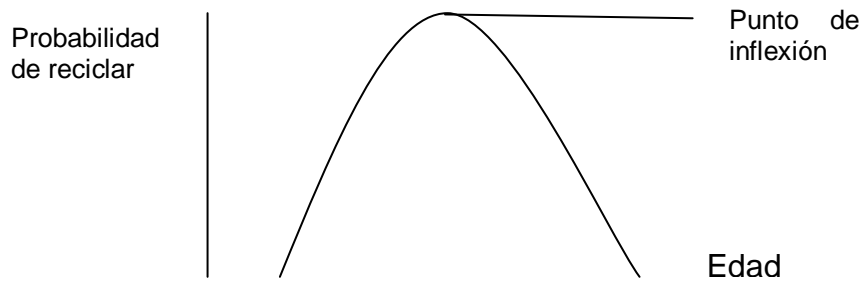
Asimismo, si el hogar conoce los beneficios de reciclar ( $BENE=1$ ), las posibilidades de que el hogar recicle se verán favorecida. Con respecto al nivel educativo, se esperaba que entre mayor fuera el nivel educativo de las persona que toma o tomaría la decisión de recicla dentro del hogar, las posibilidades de reciclar aumentaran. Esta expectativa fue confirmada por la estimación econométrica, ya que el signo del coeficiente de la variable IEDU (índice de educación) resultó positivo.

La variable GEND representa el genero de la persona que toma o tomaría la decisión de reciclar dentro del hogar, siendo 0 si se trata de una mujer y 1 si se trata de un hombre. Los resultados de la aplicación de la encuesta indican que en el 75% de los hogares la decisión es o sería tomada por una mujer (247 observaciones). Esto puede explicarse por que las labores dentro del hogar a partir de las cuales se generan residuos sólidos en general son asumidas por la mujer. En éste sentido, es de esperarse que si la decisión sobre el reciclaje es tomada por una mujer las posibilidades de que el hogar recicle algún material sean mayores. Debido a la forma como fue definida la variable para efectos de la estimación econométrica (0 para mujer, 1 para hombre) el signo esperado de la variable es negativo. Los resultados de la estimación econométrica coinciden con lo esperado, ya que el signo del coeficiente de la variable GEND es negativo.

En relación con las variables EDAD y  $EDAD^2$  los signos de los coeficientes esperados son positivo y negativo, respectivamente. A través de estos signos se trata de probar la hipótesis de que la variable RECI con respecto a la edad se comporta en forma de U invertida. Esto es, que en los primeros años las personas no tienen interés en reciclar o no reciclan, debido a que tienen muy poca exposición al problema. A medida que la edad aumenta se espera, hasta cierto punto, que las personas adquieran una mayor conciencia de los beneficios derivados del reciclaje y de los costos asociados a no reciclar (ambientales,

económicos, etc). Después de cierta edad, se espera que los individuos no reciclen, ya que de alguna manera se asume que no existe altruismo con respecto a las generaciones futuras. Éste comportamiento se presenta en la gráfica 4.

**Gráfica 4. Comportamiento de la probabilidad de reciclar contra la edad**



En consecuencia, se espera que en determinado rango de edad la probabilidad de reciclar del hogar aumente, en tanto que a partir de cierto punto (punto de inflexión), la edad tiene un efecto negativo sobre las posibilidades de que el hogar recicle algún material. Los resultados de la regresión confirman esta hipótesis. Para encontrar el punto de inflexión es preciso utilizar el resultado de los efectos marginales, derivar con respecto a la edad e igual a cero, de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \text{Efecto marginal}}{\partial \text{edad}} = 0.3784 - 2 \times (0.3413) \times \text{edad} = 0$$

$$0.6826 \times \text{Edad} = 0.3784$$

$$\text{Edad} = 0.55$$

Esto significa que la edad a la cual la probabilidad de reciclar se maximiza (RECI=1) son los 55 años. De acuerdo con la muestra, las personas que tomarían la decisión de reciclar en promedio tiene una edad de 43.2 años. La edad mínima de la muestra es 15 y la máxima 84.

Debido a que no se utilizó una estimación lineal, los coeficientes presentados en el cuadro 8 no son un buen indicador de la magnitud del efecto de cada una de las variables sobre la probabilidad de reciclar. Para determinar estos efectos, es preciso calcular los efectos marginales de las variables dependientes sobre la variable dependiente, los cuales se muestran en el cuadro 9.

**Cuadro 9. Efectos marginales RECI**

<b>Variable</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Z-estadístico</b>	<b>Prob.</b>	<b>Media o %</b>
C	-1.533	-5.249	0.0000	
GEND	-0.115	-1.572	0.116	0.238
EDAD	0.378	3.365	0.001	43.013
EDAD2	-0.341	-2.855	0.004	2058.486
AMIG	0.302	4.155	0.000	0.260
LUGA	0.124	1.905	0.057	0.661
TOMATIEM	0.318	3.143	0.008	0.875
IEDU	0.204	1.604	0.109	0.605
BENE	0.133	2.047	0.041	0.627

Esto significa que la probabilidad de que el hogar recicle (RECI=1) aumenta en un 30% cuando el hogar tiene conocidos o amigos que reciclan. Esto implica que el conocimiento sobre la forma de hacer la separación en la fuente o sobre los beneficios de ésta para el hogar o para el medio ambiente que tengan personas cercanas al hogar tiene un gran efecto multiplicador positivo.

Asimismo, conocer algún beneficio de la separación en la fuente aumenta la probabilidad de que el hogar recicle en un 13%. Esto coincide con el efecto que tiene el nivel educativo sobre la probabilidad de reciclar, ya que cuando el índice de educación aumenta en una unidad la probabilidad de reciclar aumenta en un 20%. Estos resultados revelan la importancia de dirigir la política de separación en

la fuente hacia el conocimiento de las formas de llevarla a cabo y sobre las diferentes clases de beneficios que del mismo se derivan.

Si el hogar percibe que cuenta con un lugar adecuado para reciclar o que el esfuerzo en tiempo de reciclar es poco, la probabilidad de reciclar aumenta en un 12% y un 31%, respectivamente. Lo anterior implica que la percepción de los hogares sobre los costos de oportunidad de reciclar, medidos en términos de lugar a destinar para la disposición transitoria del material separado y en términos del tiempo necesario para llevar a cabo la separación, es definitiva a la hora de adelantar programas de reciclaje. En consecuencia, se debe buscar cambiar la percepción de los hogares que no reciclan por consideraciones de espacio y tiempo, poniendo de presente que si bien reciclar tiene unos costos de oportunidad los beneficios que se derivan de esta actividad pueden exceder esos costos.

Para analizar la bondad de ajuste de la estimación econométrica se realiza un análisis de predicción, con base en los valores que aparecen en el cuadro 10.

**Cuadro 10. Valores Predichos**

Actual	Predicho		Total
	0	1	
0	100	56	156
1	43	120	163
Total	143	176	319

El cuadro 10 muestra que el modelo predice 220 de 319 observaciones correctamente, o 69% de las observaciones. Para el caso de las personas que responden NO a la pregunta sobre si reciclan algún material, predice

correctamente 64%, mientras que para el caso de los individuos que respondieron SI tenemos que el modelo predice correctamente el 73%.

Conviene destacar que las variables relacionadas con el precio del servicio no resultaron significativas econométricamente. Esto puede explicarse por la actual ausencia de incentivos económicos, tanto de premios o castigos, que induzcan a la separación en la fuente. En consecuencia, y como antes ha sido expresado, en el presente los determinantes que explican la participación de los hogares en la separación de residuos sólidos en la fuente se relacionan principalmente con la percepción de los hogares sobre los costos de reciclar y variables socio culturales.

Otra variable que resultó no ser relevante econométricamente fue la relacionada con el conocimiento de los hogares sobre la obligación de reciclar, establecida en el actual Código de Policía de la ciudad. El resultado obtenido es que hacer mandatorio el reciclaje no tiene ningún efecto sobre las posibilidades de que el hogar recicle. Esto puede ser explicado por la falta de divulgación de la medida, que implica que en un 98% de los hogares encuestados la misma no sea conocida.

A continuación se presentan los resultados de los modelos probit determinantes de las variables dependientes VIDR, CART, PLAS, ALUM, ORGA (cuadro 11).

**Cuadro 11. Modelo probit determinantes por material**

VARIABLE	VIDR	CART	PLAS	ALUM	ORGA
C	3.986 (-5.561)*	-3.149 (-4.648)*	-4.110 (-5.248)*	-4.691 (-5.223)*	-4.226 (-5.056)*
EDAD	0.105 (3.556)*	0.066 (2.386)*	0.090 (3.014)*	0.093 (2.819)*	0.098 (3.048)*
EDAD2	-0.102 3(3.249)*	-0.001 (-2.139)*	-0.001 (-2.581)*	-0.001 (-2.451)*	-0.001
AMIG	0.784 (4.457)*	0.825 (4.707)*	0.576 (3.285)*	0.696 (3.806)*	0.537 (3.000)*
LUGA	0.372 (2.252)**	0.213 (1.312)****	0.423 (2.429)*	0.586 (2.976)*	0.680 (-2.820)*
TOMATIEM	0.659 (2.518)*	0.924 (3.373)*	0.653 (2.312)*	0.966 (2.480)*	0.507 (1.690)***
BENE	0.483 (3.017)*	0.410 (2.605)*	0.472 (2.684)*	0.448 (0.022)*	0.361 (1.974)**
IEDU	n.i.	n.i.	0.702 (1.918)**	0.480 (1.229)****	0.555 (1.456)***
IEST	n.i.	n.i.	-0.761 (-1.543)***	-0.979 (-1.844)**	-0.804 (-1.563)***

n. i. : variable no incluida en la regresión

\* Significancia al 1%

\*\* Significancia al 5%

\*\*\* Significancia al 10%

\*\*\*\* Significancia al 20%

Las cifras entre paréntesis representan el t-estadístico

Como se puede observar en la anterior tabla, existe consistencia en los signos de las regresiones para cada uno de los materiales y la regresión en la cual la variable dependiente es RECI. Esto significa que los factores que en general determina que el hogar separe en dos fracciones los residuos sólidos que produce, en principio son los mismos que para cada uno de los materiales considerados en el presente estudio. Se decidió incluir la variable IEDU a pesar de

ser significativa al 20% en la regresión con variable dependiente ALUM, ya que teóricamente el nivel educativo es decisivo sobre el comportamiento de los hogares de reciclar, y ya que el signo del coeficiente estimado coincide con la expectativa teórica.

En todas las regresiones en las cuales se incluyó la variable IEST (índice de estrato, que va de 0 a 1), el signo que acompaña al coeficiente es negativo. Esto puede explicarse por dos razones. La primera es que los hogares con un mayor nivel de ingreso, tomando la variable IEST como una variable proxy del ingreso, producen una mayor cantidad de residuos sólidos que pueden ser aprovechados, ya que los mayores estratos consumen cierto tipo de bienes que producen mayores cantidades de residuos sólidos potencialmente aprovechables. A partir de lo anterior, sería de esperarse que el signo del coeficiente de la variable IEST fuera positivo, esto es, que a mayor estrato mayores posibilidades de reciclar. Sin embargo, puede pensarse que los hogares de altos ingresos dan un valor menor que los hogares de bajos ingresos a los materiales que potencialmente se pueden aprovechar, y a la vez el costo de oportunidad del tiempo destinado a reciclar se incrementa en los hogares con más altos ingresos. Esto conduciría a afirmar que los hogares más pobres tendrían una mayor tendencia al aprovechamiento de residuos sólidos. Debe tenerse en cuenta que en el caso de las regresiones con variable dependiente PLAS y ORGA el nivel de significancia del coeficiente de la variable IEST es de 12% y 11%, respectivamente.

En relación con la estimación de los determinantes de las variables VIDR y CART, no se incluyeron las variables IEST y IEDU por no ser significativas econométricamente. Esto implica que el nivel educativo y el estrato no son determinantes sobre la decisión del hogar de separar vidrio, cartón y papel del resto de materiales. Esto puede ser explicado por el amplio conocimiento que existe sobre el potencial de reuso del vidrio, papel y cartón, proveniente por



ejemplo la masiva aparición de etiquetas de productos que anuncian ser con vidrio, papel o cartón reciclable.

En las estimaciones efectuadas para cada uno de los materiales no resultó significativa el precio de mercado por unidad producto del material reciclado. Esto puede explicarse, de una parte, por el reducido precio que se paga por unidad de cada uno de los materiales que se reciclan (ver cuadro 5), que implica que posiblemente el costo marginal de almacenar el material sea superior al ingreso marginal (precio) y que sólo en volúmenes considerables sea atractivo para el hogar almacenar los materiales. De otra parte, por que a pesar de existir un potencial ingreso marginal diferente de cero no existe una recolección selectiva organizada de los materiales, que asegure que con determinada frecuencia los materiales van a ser recogidos.

En general, los efectos marginales de las variables independientes son similares para las regresiones de las variables PLAS, ALUM y ORGA, en las cuales los determinantes son los mismos. Igual sucede entre los efectos marginales de las regresiones de las variables VIDR y CART, como se observa en el cuadro 12. La explicación de los efectos marginales es el mismo al antes analizado para la regresión de la variable dependiente RECI.

**Cuadro 12. Efectos marginales determinantes por material**

<b>VARIABLE</b>	<b>VIDRIO</b>	<b>CART</b>	<b>PLAS</b>	<b>ALUM</b>	<b>ORGA</b>
C	-1.543 (0.000)	-1.236 (0.000)	-1.448 (0.000)	-1.298 (0.000)	-1.295 (0.000)
EDAD	0.405 (0.001)	0.0261 (0.017)	0.319 (0.002)*	0.258 (0.005)	(0.302) (0.002)
EDAD2	-0.393 (0.001)	-0.0002 (0.032)	-0.290 (0.009)*	-0.237 (0.014)	-0.297 (0.005)
AMIG	0.303 (0.000)	0.324 (0.000)	0.2018 (0.001)	0.193 (0.000)	0.165 (0.002)
LUGA	0.144 (0.024)	0.084 (0.189)	0.149 (0.015)	0.162 (0.003)	0.208 (0.000)
TOMATIEM	0.255 (0.012)	0.3628 (0.001)	0.230 (0.019)	0.267 (0.009)	(0.155) (0.088)
BENE	0.186 (0.003)	0.161 (0.009)	0.166 (0.007)	0.123 (0.021)	0.169 (0.014)
IEDU	n.i.	n.i.	0.247 (0.054)	0.1329 (0.218)	0.173 (0.132)
IEST	n.i.	n.i.	-0.268 (0.122)	-0.2711 (0.064)	-0.246 (0.117)

n. i. : variable no incluida en la regresión  
 Las cifras entre paréntesis representan el p-valor

## **7. Conclusiones y recomendaciones**

Los modelos presentados en este trabajo son una aproximación a la identificación de determinantes de la separación en la fuente por parte de los hogares en Bogotá, sobre lo cual es preciso profundizar hacia el futuro realizando un estudio más amplio sobre el tema. Sin embargo las estimaciones aquí presentadas nos permiten entender el comportamiento de los hogares e identificar en cierta medida

las fuerzas que los inducen a separar en la fuente algún tipo de material o cierto material.

La técnica de disposición final que actualmente se aplica para los residuos sólidos generados por los hogares de Bogotá es la de relleno sanitario. Si se tiene en cuenta que el vencimiento de la vida útil del Relleno Sanitario de Doña Juana está programado para el 2007, y que la tasa de crecimiento de producción de residuos sólidos es positiva, es necesario la adopción de mecanismos alternos a la disposición en el relleno, como por ejemplo el aprovechamiento de residuos sólidos. Sobre ésta alternativa de disposición es necesario hacer un análisis costo-beneficio, en relación con la técnica de relleno sanitario.

Por los costos crecientes de la disposición final de residuos sólidos y por los beneficios que reviste la separación en la fuente, ésta es una de las formas de lograr el aprovechamiento de residuos sólidos. Los modelos econométricos desarrollados describen las variables que influyen la participación de los hogares en la separación en la fuente, los cuales coincide con el modelo teórico subyacente y provee un conjunto de señales para diseñar la política local de reciclaje.

Las estimaciones empíricas indican que los hogares responden positivamente a restricciones introducidas por la tecnología de producción de los hogares, tales como tiempo de separación y espacio para almacenamiento de material reciclado. Así, si el hogar considera que el tiempo de separación es insignificante y que cuenta con un lugar adecuado para reciclar la posibilidad de que el hogar recicle aumenta. Por lo tanto, la política pública dirigida a la reducción de residuos sólidos presentados por los hogares depende crucialmente de la percepción del esfuerzo de reducción en que debe incurrir el agente. Por tanto, la promoción dirigida a la separación debe describir formas eficientes de reducir el tiempo de separación y

métodos adecuados de almacenamiento (v.g. formas de reducir el espacio destinado al almacenamiento de los materiales que se reciclen).

A partir de la aproximación econométrica, las variables relacionadas con el conocimiento del hogar sobre los beneficios de reciclar resultaron significativas. El anterior resultado es interesante en la medida en que indica que los esfuerzos de promoción pública de la separación en la fuente deben centrarse de forma importante en hacer visibles los beneficios públicos de las decisiones individuales que sobre el manejo de los residuos sólidos toman los hogares. Esto indica que la promoción del reciclaje debe estar dirigida a mostrar el reciclaje como un bien público que beneficia a todos. Igualmente, la información que se provee debe hacer énfasis en el rol del reciclaje sobre la protección del medio ambiente.

Las variables relacionadas con incentivos económicos no resultaron significativas econométricamente. Esto se explica por la actual ausencia de un esquema de premios o castigos, lo cual no significa que hacia futuro no sea importante introducir en la regulación un esquema de incentivos económicos. Así, se debe propender por la formulación de políticas que incluyan el componente económico adecuado para que los hogares se incentiven racionalmente a reducir en la fuente la generación de residuos, ya que los hogares que actualmente separan en la fuente lo hacen de manera voluntaria. Tarifas diferenciales son una primera aproximación que debe ser considerada. Sin embargo, se deben sopesar los costos contra los beneficios obtenidos, de manera que administrativamente también se llegue a una política viable.

A pesar de que se pueden llegar a introducir incentivos económicos para inducir la separación en la fuente, estos pueden no resultar exitosos si el análisis para el hogar de costo marginal de separación contra beneficio marginal de separación continua siendo negativo. En consecuencia, sería preciso avanzar hacia la

divulgación del beneficio social de la separación que puede resultar superior al beneficio del hogar de separación. En éste escenario, el análisis costo-beneficio podría resultar positivo, y en consecuencia se podría elevar la proporción de hogares que separan en la fuente.

## 8.Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. – Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Plan maestro para el manejo integral de los residuos sólidos.
- Caplan, Arthur J.; Grijalva, Therese C.; Jakus, Paul M. (2002). Waste Not or Want Not? A Contingent Ranking Analysis of Curbside Waste Disposal Options. *Ecological Economics*, December 2002, v. 43, iss. 2-3, pp. 185-97.
- Choe, C.; Fraser, I. (1998). The economics of household waste management: a review. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1998, v. 42, pp. 269-302.
- CRA - Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2001). Resolución 151 de 2001.
- CRA - Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (2002). Resolución 233 de 2002.
- Estrada, José Alberto (2003). Valoración económica de la contaminación por lixiviados del Relleno Sanitario Doña Juana: aplicación del método de gasto en mitigación. Tesis PEMAR. Facultad de Economía. Universidad de Los Andes.
- Giraldo Gómez, Eugenio (2000). Manejo integral de residuos sólidos municipales. Ministerio del Medio Ambiente / Uniandes.
- Hong, Seonhoon; Adams, Richard M.; Love, H. Alan (1993). An economic analysis of household recycling of solid waste: the case of Portland, Oregon. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1993, v 125, pp. 136-46.
- Jakus, Paul M.; Tiller, Kelly H.; Park, William M. (1996). Generation of Recyclables by Rural Households. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, July 1996, v. 21, iss. 1, pp. 96-108. July.
- Jakus, Paul M.; Tiller, Kelly H.; Park, William M. (1997). Explaining Rural Household Participation in Recycling. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, July 1997, v. 29, iss. 1, pp. 141-48. July.
- Ley 632 de 2000.
- Jenkis, Robin R.; Martinez, Salvador A. ; Palmer, Karen; Podolsky, Michael J. (2003). The determinants of household recycling: a material specific analysis of recycling

- program features and unit pricing. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2003, v 45, pp. 294-318.
- Macauley, Molly K.; Walls, Margaret A (1995). *Solid Waste Reduction and Resource Conservation: Assessing the Goals of Government Policy*. Resources for the Future Discussion Paper: 95/32. July.
- Mahar, Dennis. *Desarrollo económico y medio ambiente*. En: *Economía del medio ambiente en América Latina*. Editorial AlfaOmega. Segunda Edición, 1999. Págs. 29 – 37.
- MDE - Ministerio de Desarrollo económico (2002). Decreto 1713 de 2002.
- MDE - Ministerio de Desarrollo económico (2003). Decreto 155 de 2003.
- MMA - Ministerio del Medio Ambiente (1997). *Política para la gestión integral de residuos*. Santafé de Bogotá. Agosto.
- Park, William M.; Lamons, Kevin S.; Roberts, Roland K. (2002). Factors Associated with Backyard Composting Behavior at the Household Level. *Agricultural and Resource Economics Review*, October 2002, v. 31, iss. 2, pp. 147-56. October.
- Powell, Jane C. (1996). A Lifecycle Assessment and Economic Valuation of Recycling. *Journal of Environmental Planning and Management*, March 1996, v. 39, iss. 1, pp. 97-112. March.
- Roberts, Roland K.; Douglas, Peggy V.; Park, William M (1991). Estimating External Costs of Municipal Landfill Stings through Contingent Valuation Analysis: A Case Study. Source: *Southern Journal of Agricultural Economics*, December 1991, v. 23, iss. 2, pp. 155-65. December.
- SSPD - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2002). *Revista Supercifras en m3*. Revista No. 5.
- UESP (2003 a). Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Interventoría técnica, operativa y administrativa de los contratos de concesión para la recolección domiciliaria, barrido y limpieza de vías y áreas públicas y transporte al lugar de disposición final.
- UESP (2003). Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Pliego de condiciones Licitación pública N° 002 de 2003: Concesión para la gestión externa del servicio de recolección, transporte y tratamiento de residuos hospitalarios y similares - infecciosos o de riesgo biológico. Ruta de acceso: [www.uesp.gov.co](http://www.uesp.gov.co). Recuperado: 5 de junio de 2004.
- UESP (2004). Unidad Ejecutiva de Servicios Públicos. Página de Internet. [www.uesp.gov.co](http://www.uesp.gov.co).