



Departamento de Economía
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad Nacional de La Plata

Serie Trabajos Docentes

Finanzas Públicas II

Incentivos Económicos para un Manejo Eficiente de la Generación y Disposición de Residuos

Marcelo Garriga

Trabajo Docente Nro. 12

Febrero 2011

ISSN 2347-0313

Incentivos económicos para un manejo eficiente de la generación y disposición de residuos

Marcelo Garriga*

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Económicas

Resumen

El objetivo de esta nota es presentar una extensión del modelo de residuos sólidos urbanos desarrollado por Fullerton y Kinnaman (1995). Este modelo permite diseñar una política de precios óptima de generación y disposición de residuos. El propósito es presentar las predicciones del modelo respecto a los incentivos a disponer la basura en un relleno sanitario o a reciclarla. También se analiza la alternativa de exportar la basura a otra jurisdicción, dependiendo de los costos de transporte, y se miden los riesgos de que los residuos se dispongan de manera ilegal en basurales a cielo abierto o que se quemen en forma no permitida (dumping o burning). Estas predicciones del modelo teórico se utilizan para realizar algunas consideraciones sobre el sistema de precios e incentivos actualmente vigente en el área metropolitana de Buenos Aires.

Palabras clave: residuos, reciclado, externalidades ambientales, disposición ilegal, política de incentivos.

Clasificación JEL: H23, Q53

Dirección de contacto: marcelogarriga@yahoo.com.ar

* Agradezco la colaboración y las sugerencias de Natalia Sampietro. También agradezco los valiosos comentarios de Mariana Conte Grand realizados en la reunión anual de la AAEP 2008. Los errores y omisiones son de mi responsabilidad.

I- Introducción

El objetivo de esta nota es presentar un modelo sencillo que permita desarrollar una batería de instrumentos para realizar una gestión eficiente en el manejo de los residuos sólidos urbanos.

El proceso de urbanización, el crecimiento económico, el desarrollo de nuevas formas de empaquetado de los productos, han llevado a que el incremento de los residuos sólidos urbanos se transforme en un problema a escala mundial. La decisión de enterrar los residuos en rellenos sanitarios¹, incinerarlos, reciclarlos, reutilizarlos o compostarlos, en el caso de los residuos biodegradables², no sólo se vincula con la cultura de cada sociedad respecto al cuidado del medio ambiente, sino también con los incentivos económicos que se establezcan.

Tradicionalmente, la gestión de los residuos se ha considerado como un tema de preocupación ingenieril y medio ambiental, tanto en la Argentina como en resto del mundo. En este sentido, algunos autores han señalado que “el problema de la gestión de residuos sólidos proviene de la falta de reconocimiento hacia la naturaleza económica del problema”.³

La práctica de disponer los residuos en rellenos sanitarios es probablemente la más extendida en aquellos países en que la tierra es un recurso abundante. Obviamente, en países como los del norte de Europa o Japón, donde la tierra es un factor escaso, la incineración es la solución más utilizada. Sin embargo, ya sea la disposición de los residuos en rellenos sanitarios como su incineración, traen aparejados costos ambientales que muchas veces no se muestran en los precios de mercado. En consecuencia, el resultado es más basura y menos reutilización o reciclado de los residuos que los socialmente deseables. Esta falla en el funcionamiento del mercado debería ser corregida mediante una política de intervención pública específicamente orientada.

Numerosos instrumentos de intervención se han utilizado en la experiencia internacional, y muchos trabajos de investigación se han ocupado del tema.⁴ El objetivo de este estudio es presentar una extensión del modelo de residuos desarrollado por Fullerton y Kinnaman (1995). Se pretende analizar las predicciones del modelo extendido respecto a los incentivos a disponer la basura en un relleno sanitario (incinerarla si fuera el caso), o a reciclarla. También se presenta la alternativa de exportar la basura a otra jurisdicción, dependiendo de los costos de transporte, y se miden los riesgos de que los residuos se dispongan de manera ilegal en basurales a cielo abierto o que se quemen en forma no permitida (dumping o burning). Finalmente se muestran los impuestos y subsidios que podrían llevar a una política de incentivos óptima de manera de corregir externalidades o distorsiones. Estas predicciones del modelo teórico se utilizan para realizar algunas consideraciones sobre el sistema de precios e incentivos actualmente vigente en el área metropolitana de Buenos Aires.

¹ El relleno sanitario es el método de tratamiento de los residuos más utilizado a nivel internacional. Es una obra de ingeniería que procura minimizar el daño ambiental, al disponer un sitio donde se coloca la basura para su compactación y enterramiento de manera que sea posible el control de las sustancias y gases originados por los mismos elementos desechados.

² El compost es un abono natural que se obtiene principalmente a partir de residuos vegetales que se han descompuesto por la acción de hongos y bacterias.

³ Ver Goddard, H. (1995).

⁴ Ver OECD (2006); Miranda, L., Bauer, S. and Aldy, J. (1996); Kinnaman, T. and Fullerton, D. (1999); Goddard, H. (1995).

El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se presenta el modelo básico para optimizar la gestión de residuos; en la sección III se incorpora el problema de las externalidades; en la sección IV se analiza la posibilidad de exportar basura a otra jurisdicción; en la sección V se evalúan los riesgos de la quema ilegal; en la sección VI se resumen algunas políticas de intervención óptima ante la presencia de distorsiones y en la sección VII se realizan algunas consideraciones finales.

II- Un modelo simple aplicable al diseño de una política de precios óptima para la gestión de los residuos urbanos

En esta sección se presenta un modelo a través del cual el planificador central obtiene las condiciones de optimalidad para producir una cantidad eficiente de basura y material reciclable. Este modelo, basado en una extensión del desarrollado por Fullerton y Kinnaman (1995), será utilizado como marco para la discusión de las políticas en el sector.

Se supone una sociedad con N individuos similares cuya utilidad depende del consumo de una canasta de bienes (c), que genera residuos que pueden disponerse en un relleno sanitario (g) o reciclarse para su reutilización (r):

$$c = c(g, r) \quad (1)$$

Donde las derivadas parciales (c_g, c_r) son positivas.

Esta función muestra el modo en que los individuos pueden cambiar la forma de disposición final de residuos: distintas combinaciones de g y r consistentes con un cierto nivel de consumo c . Así por ejemplo, para un consumo dado, los individuos pueden reducir g y aumentar r , reciclando papel, plástico, vidrio, aluminio, etc. Este modelo resulta una versión simplificada del desarrollado por Fullerton y Kinnaman, sin incorporar, en un inicio, los problemas de externalidades en la generación de residuos. De esta forma se puede observar el modo en que maximizan el planificador central y el individuo representativo en un mercado competitivo.

La función de utilidad de los individuos puede expresarse como:

$$U = U[c(g, r)] \quad (2)$$

Donde $U_c > 0$

Es decir, la utilidad aumenta como resultado de un mayor consumo de la canasta de bienes c .

En cuanto a la función de producción de c , puede obtenerse a partir de una función de rendimientos constante a escala que depende de un conjunto de insumos englobados en k (capital, trabajo, tierra) y de la utilización de material reciclable r .

$$c = f(k^c, r) \quad (3)$$

La disposición final de residuos también demanda insumos productivos k^g de acuerdo con la siguiente función lineal:

$$g = \gamma k^g \quad (4)$$

Finalmente hay una cantidad limitada de recursos productivos k :

$$K = k^c + k^g \quad (5)$$

Por lo tanto, el planificador central maximiza la función de utilidad del individuo representativo sujeto a las restricciones de producción y a los recursos disponibles:

$$\text{Max } L: U[c(g, r)] + \lambda [f(k^c, r) - c(g, r)] \quad (6)$$

Reemplazando en (6) las ecuaciones (3), (4) y (5) se obtiene

$$\text{Max } L: U[c(\gamma k^g, r)] + \lambda [f(K - k^g, r) - c(\gamma k^g, r)] \quad (7)$$

Luego, derivando con respecto a las variables k^g y r se obtienen las siguientes condiciones de primer orden (los subíndices indican derivadas parciales):

$$U_{c_g} = \lambda \left(\frac{f_k}{\gamma} + c_g \right) \quad (8)$$

$$U_{c_r} = \lambda [c_r - f_r] \quad (9)$$

El lado derecho de la ecuación (8) muestra que la utilidad marginal de incrementar el consumo y consecuentemente generar más basura la cual se deposita en rellenos sanitarios (g), es igual al costo de disponer la basura (igual a la productividad marginal del insumo k que se utiliza en los rellenos sanitarios f_k/γ) más el costo marginal de c (c_g).

En la ecuación (9) se ve que la utilidad marginal de consumir un bien cuyo residuo se destina al reciclaje (r), es igual al costo marginal de consumir dicho bien c_r menos la productividad marginal del insumo reciclado f_r .

A su vez de las ecuaciones (8) y (9) se puede obtener la tasa marginal de sustitución entre la actividad de reciclado y la de disponer la basura en rellenos sanitarios.

$$\frac{c_g}{c_r} = -\frac{f_k/\gamma}{f_r} \quad (10)$$

La relación de sustitución entre el consumo de bienes que se disponen y aquellos que se reciclan es igual a la relación de productividades marginales.

Para el individuo representativo el problema a resolver consiste en maximizar la utilidad sujeto a su restricción presupuestaria

$$\text{Max } U[c(g, r)] \text{ s.a } y = c + p^g g - p^r r \quad (11)$$

Donde el precio de c es el numerario de la economía y el reciclado de residuos es un ingreso para las familias (podría también presentarse como un costo). La función a maximizar es la siguiente:

$$\text{Max } L: U[c(g, r)] + \delta[y - c(g, r) - p^g g + p^r r] \quad (12)$$

Utilizando (4) se obtiene;

$$\text{Max } L: U[c(\gamma k^g, r)] + \delta[y - c(\gamma k^g, r) - p^g \gamma k^g + p^r r] \quad (13)$$

Y derivando con respecto a las variables de decisión k^g y r se obtiene;

$$u_c c_g = \delta(p^g + c_g) \quad (14)$$

$$u_c c_r = \delta(c_r - p^r) \quad (15)$$

De la relación entre (14) y (15) surge;

$$\frac{c_g}{c_r} = -\frac{p^g}{p^r} \quad (16)$$

Para el consumidor individual la relación de sustitución entre consumir un bien que finalmente se va a disponer en un relleno sanitario y un bien que se va a reciclar es igual a la relación de precios entre la disposición final y el reciclado. Este mismo resultado podría obtenerse de la maximización del planificador central (ecuación (10)) suponiendo que el mercado actúa en condiciones de competencia para la producción del bien c y suponiendo que el precio de c es el numerario de la economía⁵.

⁵ El productor maximiza la siguiente función de beneficios:

$$\begin{aligned} \pi(c) &= c - p^k k^c - p^r r \\ \pi(c) &= f(K - k^g, r) - p^k (K - k^g) - p^r r \end{aligned} \quad (1')$$

para obtener las condiciones de óptimo se deriva y se iguala a cero la función con respecto a las variables de decisión k^g y r :

con respecto a k^g :

$$\begin{aligned} \frac{\delta\pi}{\delta k^g} : -f_k + p^k &= 0 \\ f_k &= p^k \end{aligned} \quad (2')$$

la productividad marginal del capital es igual al precio del capital

y con respecto a r :

$$\frac{\delta\pi(c)}{\delta r} : f_r - p^r = 0 \quad (3')$$

De donde;

$$f_r = p^r \quad (4')$$

$$f_r = p^r$$

la productividad marginal de utilizar un insumo reciclado es igual al precio del material reciclado

En el caso de la disposición final de residuos en un mercado competitivo se obtiene el siguiente resultado⁶: $p^g = \frac{f_k}{\gamma}$

Así puede verse que las condiciones de óptimo a las que llega el consumidor en condiciones de competencia perfecta resultan ser iguales a las que llega el planificador central:

$$\frac{c_g}{c_r} = -\frac{f_k/\gamma}{f_r} = -\frac{p^g}{p^r} \quad (17)$$

En consecuencia, las tasas marginales de sustitución entre disposición final y reciclado dependerán de los precios relativos de la disposición de residuos y del reciclado.

⁶ El productor maximiza la siguiente función

$$\begin{aligned} \pi(g) &= p^g g - p^k k^g \\ \pi(g) &= p^g \gamma k^g - p^k k^g \end{aligned} \quad (6')$$

derivando la función de beneficio con respecto a k^g se obtiene

$$\frac{\delta\pi(g)}{\delta k^g} : p^g \gamma - p^k = 0 \quad (7')$$

y reemplazando se obtiene:

$$p^g = \frac{f_k}{\gamma} \quad (8')$$

De la diferenciación total de las condiciones de primer orden puede derivarse la siguiente relación:

$$\frac{\partial c_g}{\partial p^g} < 0$$

Cuanto mayor es el precio de la disposición final de residuos, menor es la cantidad de bienes consumidos cuyos residuos se destinan a rellenos sanitarios. Este resultado es producto de dos efectos: i) un efecto sustitución que muestra la reducción de la cantidad de basura dispuesta y el incremento en el volumen de basura reciclada como respuesta al cambio de precios relativos $\frac{\partial c_r}{\partial p^g} > 0$ y ii) un efecto ingreso que disminuye la cantidad de basura dispuesta al reducirse el consumo de bienes finales. El aumento en el precio de la disposición de basura reduce el ingreso disponible para el consumo de bienes finales y, por lo tanto, disminuye la generación de residuos.⁷

Por lo tanto, adecuadas señales de precios para la disposición final y para el reciclado son condiciones necesarias para la producción de una cantidad óptima de residuos.

El caso de la Provincia de Buenos Aires y la experiencia internacional

En el área metropolitana de Buenos Aires la basura se dispone en rellenos sanitarios administrados por el CEAMSE, que es una Sociedad del Estado propiedad conjunta de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Provincia de Buenos Aires. Los municipios tienen la responsabilidad de recolectar la basura de los domicilios de los vecinos y de llevarla a un centro de disposición final (o relleno sanitario) o de enviarla a una estación de transferencia donde la basura se compacta y luego se transporta en camiones cerrados de mayor tamaño hasta los centros de disposición.

En la actualidad, los vecinos pagan indirectamente los servicios a través de la tasa de alumbrado, barrido y limpieza, que generalmente no alcanza a cubrir los costos del servicio y debe financiarse de otras fuentes. Dicha tasa no discrimina entre los montos que corresponden a cada uno de los servicios prestados (alumbrado, barrido y limpieza). Además, esta tasa es independiente de la cantidad de basura generada por cada uno de los hogares. Es decir que el costo marginal de generar un kilo más de basura es cero. No hay relación entre el precio del servicio y la cantidad de basura que los vecinos producen. En términos del modelo presentado esto equivale a un precio de la disposición de basura, p^g , igual a cero, situación esta que conduce a generar más residuos que los deseables desde el punto de vista de la eficiencia económica y un menor volumen de material reciclado, debido a los menores incentivos a desarrollar dicha actividad.

La tendencia en los países desarrollados, Estados Unidos, países miembros de la Unión Europea, Japón, etc., es a cobrar un precio por cada bolsa de basura que los hogares destinan a la disposición final. Los mecanismos más utilizados son a través de la adquisición de un sticker que se pega en la bolsa de residuos y que indica que se ha pagado el servicio o directamente a mediante bolsas que se venden especialmente

⁷ Un desarrollo detallado de este punto puede verse Kinnaman y Fullerton (1999).

para la basura. Ninguno de estos dos mecanismos permite diferenciar el tipo de basura que se dispone, es decir si contiene sustancias peligrosas como por ejemplo pilas, sin embargo establece una relación cercana entre la cantidad de basura que se genera y el precio que se paga.⁸

III- Externalidades y disposición de basura

El caso anteriormente presentado no incluye las externalidades G , que genera al conjunto de la sociedad cada unidad de basura adicional que los individuos disponen en un relleno sanitario. Estas externalidades están relacionadas con los problemas de salud que se derivan de los rellenos sanitarios, malos olores, contaminación del agua, etc. (en muchos estudios dichas externalidades son valuadas en función de la reducción en el valor inmobiliario de las viviendas cercanas a los rellenos)⁹. En el siguiente modelo la utilidad ya no sólo depende de la cantidad consumida de c , sino también del total de basura depositada:

$$U = u[c(g, r), G] \quad (18)$$

$$G = Ng \quad (19)$$

En este caso la introducción de la externalidad da lugar a que la solución del planificador central sea diferente a la de los individuos actuando descentralizadamente.

Si el planificador central maximiza considerando la externalidad negativa sobre la sociedad, donde $U_g < 0$, se obtiene la siguiente función a maximizar:

$$\text{Max } L: U[c(g, r); G] + \lambda[f(k^c, r) - c(g, r)] \quad (20)$$

$$\text{Max } L: U[c(\gamma k^s, r); N\gamma k^s] + \lambda[f(K - k^s, r) - c(\gamma k^s, r)]$$

Las condiciones de primer orden con respecto a k^g y r son las siguientes:

⁸ La dificultad de estos sistemas es que finalmente la basura se deposite o queme de manera ilegal. En las grandes ciudades la existencia de "free riders" puede generar un considerable monto de basura no identificada que derivaría en una mayor desutilidad para la sociedad.

⁹ Numerosos estudios muestran que hay una relación directa entre el tamaño del relleno y el daño ambiental que provoca.

$$u_c c_g + u_G N = \lambda \left(\frac{f_k}{\gamma} + c_g \right) \quad (21)$$

$$u_c c_r = \lambda (c_r - f_r) \quad (22)$$

En la ecuación (21) $u_G N$ es la desutilidad que genera sobre el conjunto de los individuos la externalidad negativa que produce la basura que se acumula en los rellenos sanitarios. De esta forma la cantidad de basura socialmente óptima es menor que en el caso en que no se considera la externalidad negativa.

Ahora la tasa marginal de sustitución entre el consumo de bienes que se destinan al reciclado y a la disposición final es:

$$\frac{c_g}{c_r} = \frac{\frac{f_k}{\gamma} - \frac{U_g N}{\lambda}}{-f_r} \quad (23)$$

No solo depende de la relación de productividades sino también de la externalidad negativa.

Reemplazando por p^g y p^r , en el caso de una economía de mercado, se obtiene:

$$\frac{c_g}{c_r} = \frac{p^g - \frac{U_g N}{\lambda}}{-p_r} \quad (24)$$

En el caso de la solución privada, los individuos no consideran la externalidad generada por la disposición de basura al maximizar su utilidad, por lo tanto los resultados que se obtendrán sin intervención alguna serán los mismos que en el caso anterior (ecuación (16)):

$$\frac{c_g}{c_r} = -\frac{p^g}{p^r}$$

Esta maximización difiere de la deseada por el planificador central. Una forma de alcanzar el óptimo social es a través de un impuesto (o subsidio) que modifique los precios relativos de la disposición de residuos. Al evaluarse una imposición sobre el bien c , sobre la disposición de residuos o sobre la actividad de reciclado; se obtiene que los consumidores maximizarían la siguiente función:

$$\text{Max } U[c(g, r)] \text{ s.a } y = c(g, r) + (p^g + t_g)g - (p^r + t_r)r \quad (26)$$

$$Max L: U[c(g, r)] + \mu[y - c(g, r) - (p^g + t_g)g + (p^r + t_r)r] \quad (27)$$

$$Max L: U[c(\gamma k^g, r)] + \mu[y - c(\gamma k^g, r) - (p^g + t_g)\gamma k^g + (p^r + t_r)r]$$

Derivando respecto a las variables de decisión como en los casos anteriores, se obtiene:

$$[U_c - \mu]c_g = \mu(p^g + t_g) \quad (28)$$

$$[U_c - \mu]c_r = -\mu(p^r + t_r) \quad (29)$$

De la relación entre (28) y (29) surge que las tasas marginales de sustitución son:

$$\frac{c_g}{c_r} = -\frac{p^g + t_g}{p^r + t_r} \quad (30)$$

A partir de (30), puede establecerse que para alcanzar el óptimo social el gobierno deberá aplicar un impuesto pigouviano (t_g) sobre la disposición final de residuos, de manera que se internalice la externalidad negativa

$$t_g = -\frac{U_g N}{\lambda} \text{ con } \lambda = \mu \quad (31)$$

$$t_r = 0$$

dónde λ es la utilidad marginal del ingreso que valoriza la externalidad.

En suma, el gobierno debería fijar un impuesto que se adicione al precio p^g para asegurar la producción de una cantidad de basura socialmente óptima. En muchos países desarrollados de Europa y una cantidad importante de estados de los Estados Unidos se cobra un precio más impuesto ($p^g + t_g$) por cada bolsa de basura que se saca a la calle para la recolección y disposición final, de forma de cubrir los costos de la disposición más la externalidad negativa.¹⁰

A continuación y una vez demostrada la necesidad de la intervención gubernamental se analizan las diferentes extensiones al modelo básico a partir de la optimización llevada a cabo por el planificador central.

¹⁰ En Inglaterra los rellenos deben pagar un impuesto de 24 libras por cada tonelada de basura depositada, con el objeto de desalentar su uso y hacer más rentable el reciclado y la reutilización de los materiales (envases, papel, cartón, vidrio etc.). La estrategia de Inglaterra del año 2007 (Waste Strategy 2007) prevé un incremento de 8 libras por año de este impuesto a partir de 2008 hasta al menos el año 2011. La evaluación realizada por el Department of Environment, Food and Rural Affairs sobre el impacto del gravamen ha sido muy positiva en términos de incentivar la separación en origen y la reutilización de los materiales, reduciendo el volumen total que se deposita si se compara con el crecimiento económico.

IV- Exportación de basura a otra jurisdicción

Una alternativa a la disposición final de basura o a su reciclado es que como resultado del consumo del bien c , los residuos no sólo puedan disponerse o reciclarse en la comunidad local, sino también exportarse (e) a otra jurisdicción, pagando los costos de transporte y los gastos de disposición final. Esta posibilidad no evaluada en el trabajo de Fullerton y Kinnaman, es una ampliación del modelo original de dichos autores. Ahora la función de consumo es igual a:

$$c = c(g, r, e) \quad (32)$$

Se supone que la exportación de residuos utiliza recursos productivos (k) de acuerdo con la siguiente función de producción:

$$e = v k^e \quad (33)$$

Ahora la función lagrangeana a maximizar es la siguiente:

$$\text{Max } L: u[c(g, r, e), G] + \lambda [f(K - k^s - k^e, r) - c(g, r, e)] \quad (34)$$

Las derivadas parciales con respecto a k^g y r son similares a (21) y (22) y la derivada con respecto a k^e es:

$$u_c c_e = \lambda \left(\frac{f_k}{v} + c_e \right) \quad (35)$$

La utilidad marginal de consumir un bien cuyos residuos se exportan a otra jurisdicción es igual a la productividad del insumo k que se destina a la exportación de basura (igual al costo marginal de exportar basura) más el costo marginal de consumir c .

Por su parte, la tasa marginal de sustitución entre consumir bienes cuyos residuos se exportan o se disponen en un relleno sanitario en la propia jurisdicción, suponiendo que los productores que disponen los residuos en el otro distrito actúan de una manera competitiva¹¹, es igual a:

¹¹ Las condiciones de maximización de las firmas que reciben la basura en otras jurisdicciones es igual a: $\pi = p^e e - p^k k^e$

$$\frac{c_g}{c_e} = \frac{\left(\frac{f_k}{\gamma} - \frac{u_G n}{\lambda} \right)}{\frac{f_k}{\vartheta}} = \frac{p^g - \frac{u_G n}{\lambda}}{p^e} \quad (36)$$

$$\frac{c_r}{c_e} = \frac{-f_r}{\frac{f_k}{\vartheta}} = -\frac{p^r}{p^e} \quad (37)$$

La tasa marginal de sustitución entre la disposición final y la exportación de residuos dependerá de los precios relativos (p^g/p^e) y de la magnitud de la externalidad. Nuevamente para corregir la externalidad el gobierno debe aplicar un impuesto pigouviano de la magnitud de la distorsión.

De la diferenciación total de las condiciones de primer orden se obtiene

$$\frac{\partial c_g}{\partial p^e} > 0$$

Si por razones políticas se subsidia el transporte de basura a otras jurisdicciones (reduciendo el valor de p^e), como ocurre actualmente en el CEAMSE, la disposición en rellenos sanitarios de la jurisdicción local se reduce y las exportaciones aumentan. Por el contrario, cuando los gobiernos locales imponen restricciones a las exportaciones de basura, como fijaron algunos estados de los Estados Unidos, hasta que la corte lo declaró ilegal por entender que limitaba la libertad de comercio, la disposición de basura en la jurisdicción local aumenta.¹²

Así también de la ecuación (37) puede obtenerse que precios de exportación de basura subsidiados (precios de exportación por debajo de los valores de mercado) va a reducir la cantidad de residuos reciclados.

Actualmente el CEAMSE fija una tarifa en concepto de costos de transporte que es independiente de la distancia recorrida para depositar los residuos. El problema central de esta política de subsidios es que los municipios que integran el área metropolitana tienen incentivos a que los residuos se depositen lo más lejos posible de su jurisdicción ya que no importan los costos de transporte. Esto afecta la localización óptima de los rellenos sanitarios. En teoría debería depositarse la basura donde es más barata disponerla descontados los costos de transporte. Es por ello, entre otras razones, que ninguna localidad quiere que la basura se deposite en su propia jurisdicción.

¹² En un sistema de manejo eficiente de los residuos la basura se debería disponer en aquella localidad en la que, una vez descontados los costos de transporte, los costos de disponer la basura son más bajos.

V- Disposición ilegal de basura

Ahora bien, el riesgo de establecer señales de precios adecuadas para la disposición final de residuos es que la basura se disponga o sea quemada ilegalmente, b (burning o dumping). Se supone que los individuos pueden reducir g aumentando el volcado de residuos en basurales a cielo abierto, depositando la basura en lugares impropios o procediendo a la quema ilegal. Ahora los bienes consumidos c pueden ser depositados, reciclados, exportados o dispuestos ilegalmente:

$$c = c(g, r, e, b) \quad (38)$$

y la función de utilidad del individuo representativo es igual a:

$$U = u[c(g, r, e, b), G, B] \quad \text{y donde } U_B < 0 \quad (39)$$

Siendo; $B = Nb$ la externalidad negativa que la disposición ilegal de residuos provoca en el conjunto de los individuos y $U_B > U_G$ en términos absolutos es decir, la desutilidad de quemar o disponer ilegalmente la basura es mayor que la desutilidad derivada de la externalidad de la disposición de los residuos en rellenos sanitarios. De otra forma, hace más daño a la sociedad que la basura se disponga ilegalmente a que se deposite en un relleno sanitario

Por su parte la disposición ilegal demanda recursos productivos:

$$k^b = \beta(b) \quad (40)$$

La nueva función lagrangeana a maximizar es:

$$\text{Max } L : u[c(g, r, e, b), G, B] + \lambda [f(K - k^s - k^b - k^e, r) - c(g, r, e, b)] \quad (41)$$

La condición de primer orden con respecto a la variable b es la siguiente (el resto de las condiciones de primer orden no se modifican):

$$u_c c_b + u_B N = \lambda (c_b + f_k \beta_b) \quad (42)$$

La tasa marginal de sustitución entre la disposición legal e ilegal de basura es la siguiente:

$$\frac{c_g}{c_b} = \frac{\left(\frac{f_k}{\gamma} - \frac{u_G N}{\lambda} \right)}{f_k \beta_b - \frac{u_B N}{\lambda}} \quad (43)$$

Como se observó anteriormente, la externalidad negativa producida por la disposición de la basura en rellenos sanitarios puede corregirse a través de un impuesto pigouviano igual a t_g . Sin embargo, establecer penalidades a la disposición ilegal de la basura no es una tarea sencilla, al tiempo que es imposible fijar impuestos que corrijan la distorsión en una actividad que no se desarrolla a través del mercado. En este escenario, imponer precios de disposición de basura (p^g) en función de los costos marginales, más los impuestos que internalicen la externalidad de la disposición final de residuos, traería aparejado el riesgo de que resulte incentivada la quema y la disposición ilegal de la basura.¹³ ($\frac{\partial c_b}{\partial p^g} > 0$). Si efectivamente fuera imposible controlar o penalizar la disposición ilegal de basura, dado que U_B es mayor en términos absolutos que U_G , entonces sería conveniente “subsidiar” la disposición de residuos en rellenos sanitarios.

Por su parte la relación entre el reciclado de residuos y la disposición ilegal es la siguiente:

$$\frac{c_r}{c_b} = \frac{f_r}{f_k \beta_b - \frac{u_B N}{\lambda}}$$

El resultado esperado en la actividad de reciclado ante un aumento de la quema ilegal es la siguiente

$$\frac{\partial c_r}{\partial b} < 0, \text{ es decir incrementos en la quema o disposición ilegal de los residuos reduce la cantidad de basura reciclada.}$$

VI- Políticas de intervención óptima

En esta sección se hace una revisión dirigida a diseñar esquemas de impuestos y subsidios que lleven a alcanzar una asignación eficiente de recursos en presencia de externalidades en la disposición final de residuos y problemas de disposición ilegal de la basura. Los hogares pueden

¹³ Fullerton y Kinnaman (1995) proponen gravar la disposición ilegal de residuos indirectamente estableciendo un impuesto general al consumo del bien c y un subsidio de igual magnitud a la disposición de los residuos en rellenos sanitario y al reciclado de los mismos.

ser gravados con un impuesto por cada unidad de basura dispuesta (t^s) o recibir un subsidio por su esfuerzo de reciclar la basura (s_r). También se podría obligar a las familias a pagar un impuesto en forma adelantada cuando compran el bien c (t_c) (advanced disposal fee).

Bajo este esquema las familias maximizan la siguiente función de utilidad, sin considerar la posibilidad de exportar basura a otra jurisdicción:

$$u[c(g, r, b), G, B]$$

sujeto a la siguiente restricción presupuestaria,

$$y = (1 + t_c)c(g, r) + (p_g + t_g)g - (p_r + s_r)$$

La función lagrangeana a maximizar es la siguiente:

$$L = u[c(g, r, b), G, B] + \mu[y - (1 + t_c)c - (p_g + t_g)g + (p_r + s_r)r]$$

Derivando la función con respecto a k_g , r y b se obtiene:

$$k_g : \quad u_c c_g = \mu[(1 + t_c)c_g + p_g + t_g]$$

$$r : \quad u_c c_r = \mu[(1 + t_c)c_r - p_r - s_r]$$

$$b : \quad u_c c_b = \mu[(1 + t_c)c_b + p_g B_b]$$

Comparando con la situación de óptimo de las ecuaciones 21, 22 y 42 y suponiendo que μ es igual λ , pueden obtenerse el t_c^* , el t_g^* y el t_r^*

óptimos:

$$t_c^* = -\frac{nu_B}{\lambda c_b}$$

$$t_r^* = \frac{nu_B c_r}{\lambda c_b}$$

$$t_g^* = \frac{n[u_B c_g - u_G c_b]}{\lambda c_b}$$

Si la quema ilegal de basura no tiene efectos externos ($u_B = 0$), entonces $t_c^* = t_r^* = 0$ y $t_g^* = -\frac{nu_g}{\lambda}$. En el caso $u_B < 0$ las condiciones de óptimos llevarían a gravar todos los bienes con un impuesto t_c y reembolsar luego el gravamen a los bienes adecuadamente dispuestos o reciclados.

La disposición de basura en rellenos sanitarios finalmente tendría un reembolso por t_c^* y pagaría un impuesto por la externalidad negativa t_g^* . El resultado final dependerá u_B y u_G . Si u_B es mayor en términos absolutos que u_G la disposición final estaría subsidiada para aquellos bienes que finalmente son dispuestos en rellenos sanitarios o reciclados. La implementación de un impuesto general t_c^* tiene varios problemas: i) los impuestos generales al consumo son establecidos por el gobierno nacional (no por los gobiernos locales) lo que exige coordinación entre distintos niveles de gobierno, ii) en la literatura de las finanzas públicas un impuesto al consumo puede alterar las decisiones de trabajo y ocio generando distorsiones en la economía.

VII- Consideraciones finales

En esta nota se presenta un modelo simple a través del cual el planificador central obtiene las condiciones de optimalidad para producir una cantidad eficiente de basura y material reciclable. Estas condiciones del modelo se utilizaron para realizar algunas consideraciones sobre el sistema de precios e incentivos actualmente vigente en el área metropolitana de Buenos Aires.

Del modelo teórico y de la experiencia de algunos países desarrollados se infiere la importancia del diseño de un esquema de incentivos que permita que los individuos perciban efectivamente el costo derivado de los residuos que se obtienen del consumo de los bienes. En este sentido, el informe elaborado por la Oficina de Presupuesto del Congreso de los Estados Unidos en el año 1991, "Federal Options For Reducing Waste Disposal", lo expresa claramente: "Prices can be an effective mechanism for allocating resources, including waste disposal capacity. In order for prices to work effectively it is important that individuals bear the full costs of their actions. An ideal pricing system, in which

households and businesses were charged according to the amount and toxicity of waste they disposed off, would provide them with an economic incentive to adopt a variety of disposal reducing activities, including altering their purchasing patterns, reusing items within their homes, composting, and recycling”.

En el área metropolitana de Buenos Aires se observa un alto grado de informalidad, la disposición ilegal de la basura es una práctica habitual y no hay una cultura hacia una menor generación de residuos y cuidado del medio ambiente. En consecuencia implementar un sistema de incentivos adecuado no es una tarea sencilla, pero es necesario comenzar a generar las señales de precios que conduzcan a un sistema de recolección y tratamiento de los residuos sustentable económica y ambientalmente.

Anexo

Resumen de las ecuaciones del modelo y sus extensiones

Modelos de óptimo	(1) Modelo básico	(2) Modelo con externalidades (G)	(3) Modelo con exportación de basura a otra jurisdicción	(4) Modelo con disposición ilegal de basura
Función de utilidad del consumidor	$U[c(g,r)]$	$U[c(g,r),G];$ $G = N \cdot g$	$U[c(g,r,e),G]$	$U[c(g,r,e,b),G,B];$ $B = N \cdot b$
Funciones de producción	$c = f(k^c, r)$ $g = \gamma \cdot k^g$	$c = f(k^c, r)$ $g = \gamma \cdot k^g$	$c = f(k^c, r)$ $g = \gamma \cdot k^g$ $e = \vartheta \cdot k^e$	$c = f(k^c, r)$ $g = \gamma \cdot k^g$ $e = \vartheta \cdot k^e$ $k^b = \beta(b)$
Restricción de dotación	$k = k^c + k^g$	$k = k^c + k^g$	$k = k^c + k^g + k^e$	$k = k^c + k^g + k^e + k^b$
VARIABLES de control	k^g, r	k^g, r	k^g, r, k^e	k^g, r, k^e, b
Condiciones de primer orden (CPO)	$U_c \cdot c_g = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\gamma} + c_g \right]$ $U_r \cdot c_r = \lambda \cdot [c_r - f_r]$	$U_c \cdot c_g + U_g \cdot N = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\gamma} + c_g \right]$ $U_r \cdot c_r = \lambda \cdot [c_r - f_r]$	$U_c \cdot c_g + U_g \cdot N = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\gamma} + c_g \right]$ $U_r \cdot c_r = \lambda \cdot [c_r - f_r]$ $U_c \cdot c_e = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\vartheta} + c_e \right]$	$U_c \cdot c_g + U_g \cdot N = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\gamma} + c_g \right]$ $U_r \cdot c_r = \lambda \cdot [c_r - f_r]$ $U_c \cdot c_e = \lambda \cdot \left[\frac{f_{k^c}}{\vartheta} + c_e \right]$ $U_c \cdot c_b + U_B \cdot N = \lambda \cdot [c_b + f_{k^c} \cdot \beta_b]$
Relaciones de sustitución que surgen de las CPO	$\frac{c_g}{c_r} = \frac{f_{k^c}}{-\gamma \cdot f_r}$	$\frac{c_g}{c_r} = \frac{\frac{f_{k^c}}{\gamma} - \mu_G \cdot N}{-f_r}$	$\frac{c_g}{c_e} = \frac{\frac{f_{k^c}}{\gamma} - \mu_G \cdot N}{\frac{f_{k^c}}{\vartheta}}$ $\frac{c_e}{c_r} = \frac{f_{k^c}}{-\vartheta \cdot f_r}$	$\frac{c_g}{c_b} = \frac{\frac{f_{k^c}}{\gamma} - \mu_G \cdot N}{f_{k^c} \cdot \beta_b - \frac{\mu_B \cdot N}{\lambda}}$

Referencias bibliográficas

Garriga, Marcelo (2008): “¿Qué Hacer con la Basura en el Área Metropolitana de Buenos Aires? Un análisis de los incentivos económicos”. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política.

Garriga M (2008): “La disposición de la basura en el área metropolitana de Buenos Aires. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 100.

Goddard, H (1995): The Benefits and Costs of Alternative Solid Waste Management Policies. Resources, Conservation and Recycling.

Fullerton, D y Kinnaman, T (1995): “Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping”. Journal of Environmental Economics and Management, Julio.

Fullerton, D y Kinnaman, T (1999): “Household Responses to pricing Garbage by the Bag”. American Economic Review, 86. Septiembre , 971-84

Kinnaman, T, and Don Fullerton (1999): “The Economics of Residential Solid Waste Management”. NBER Working Paper 7326

Miranda, L; Bauer, S; and Aldy J (1996): Unit Pricing Programs for Residential Municipal Solid Waste: An Assessment of the Literature. Office of Policy, Planning and Evaluation
U.S. Environmental Protection Agency. Washington

OECD (2006): Impacts of Unit-based Waste Collection Charges. Working Group on Waste Prevention and Recycling