Fundamentos Económicos e Instrumentos de la Política Ambiental

Marcelo Caffera
Universidad de Montevideo

Curso "Economía de la Fiscalización Ambiental"

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Mayo 2007

1 Supuestos Generales

(1) La contaminación no es acumulable en el medio ambiente. Ejemplos: ruido, contaminación orgánica, etc.

Presupone que medio receptor tiene cierta capacidad de asimilación.

Nos permite trabajar en un marco estático que simplifica la exposición.

(2) La contaminación es la única falla de mercado.

2 La Contaminación como Sub-Producto de las Firmas

Una firma competitiva que produce y vende un bien q.

Un vector de insumos x cuyos precios, vector w, toma como dados.

Función de producción: $f(x)$, cóncava, monótonamente creciente, y continuamente diferenciable dos veces.

La produción de q genera emisiones de un contaminante e al ambiente como producto-colateral.

$e = h(x)$, convexa y continuamente diferenciable dos veces.

Para obtener la función de costos (mínimos) $c(w, q, e)$ de esta firma:

$$\min_x \mathbf{wx}$$
$$\text{sujeto a } \overline{q} \leq f(\mathbf{x})$$
$$\overline{e} \geq h(\mathbf{x})$$
$$\overline{e} \in (0, e^u)$$

Donde,
$\overline{q}$ es un nivel dado de producto
$\overline{e}$ es un nivel dado de emisiones, un estándar de emisión
e^u es el nivel de emisiones que la firma produciría en ausencia de regulaciones.

La solución a este problema es el vector de demandas de insumos condicionales $x(w, \overline{q}, \overline{e})$.

La función de costos (mínimos) de la firma es entonces

$$c(\mathbf{w}, \overline{q}, \overline{e}) = \mathbf{wx}(\mathbf{w}, \overline{q}, \overline{e})$$

Bajo los supuestos sobre $f(x)$ y $h(x)$, la función $c(w, \overline{q}, \overline{e})$ es no-creciente en el estándar de emisiones $\overline{e}$, y es conjuntamente convexa en $(\overline{q}, \overline{e})$.

Para simplificar la notación suprimiremos las "barras" sobre q y e de aquí en adelante. No debemos olvidar por ello que q y e son niveles objetivos de producción y contaminación

Para simplificar el análisis que sigue, haremos los siguientes supuestos:

1. $c(w, q, e)$ es continuamente diferenciable dos veces en todos sus argumentos.
2. $c(w, q, e)$ es estrictamente creciente en q y estrictamente decreciente en e.
3. $c(w, q, e)$ es estrictamente convexa en (q, e)

3 Una Firma Contaminante en un Mercado Competitivo: La Función de Beneficios

Supongamos que la firma maximiza beneficios y ofrece su producto en un mercado perfectamente competitivo.

La firma ofrecerá el nivel de q que maximice $pq - c(w, q, e)$, la cual es estrictamente cóncava en q.

Restringiendo nuestra atención a soluciones interiores, la condición de primer orden $p - c_q(w, q, e) = 0$ es necesaria y suficiente para identificar la función de oferta $q(w, p, e)$ de la firma.

Usando la función de oferta obtenemos la función de beneficios (máximos):

$$\pi(\mathbf{w}, p, e) = pq(\mathbf{w}, p, e) - c(\mathbf{w}, q(\mathbf{w}, p, e), e)$$

La función $\pi(w, p, e)$ es estrictamente creciente y estrictamente cóncava en el nivel de emisiones objetivo.

4 Un Mercado Competitivo con Contaminación: La Función de Daños

Ahora suponga que:

En un mercado competitivo existen n firmas como la descrita más arriba.

El nivel total de emisiones generado es $E = \sum_{i=1}^{n} e_i$.

J consumidores.

La función de utilidad del consumidor $j : U_j(c_j, E)$, $c_j = (c_{1j}, ..., c_{Qj})$, el nivel de consumo de Q bienes.

El consumidor j resuelve el siguiente problema:

$$\max_{c_j} U_j(c_j, E)$$

sujeto a

$$\mathbf{p}c_j = R_j$$

donde $p = (p_1, ...p_Q)$ es el vector de precios de los bienes de consumo y

R_j es la riqueza del individuo j.

De este problema se obtiene la función de utilidad indirecta

$$V_j(p, R_j, E) = U_j(c_j^*(p, R_j, E), E)$$

donde c_j^* es la solución al problema anterior.

Asumimos que $V_j(p, R_j, E)$ es doblemente diferenciable en todos sus argumentos y que $\partial V_j / \partial E < 0$ y $\partial^2 V_j / \partial E^2 < 0$.

La función de daños individual para el individuo j será

$$d_j(\mathbf{p}, R_j, E) = V_j(\mathbf{p}, R_j, E = 0) - V_j(\mathbf{p}, R_j, E)$$

La función de daños sociales:

$$D(\mathbf{p}, R_1, , ...R_J, E) = \sum_{j=1}^{J} d_j(\mathbf{p}, R_j, E)$$

Dado los supuestos sobre V_j, la función de daños sociales es estrictamente creciente y convexa en E.

Para simplificar la notación un poco, de aquí en adelante escribiré la función de beneficios $\pi_i(w, p, e)$ como $\pi_i(e)$.

De la misma forma, escribiré $D(\mathbf{p}, R_j, E)$ simplemente como $D(E)$.

5 Óptimo Social y la Sub-Optimalidad de los Mercados Competitivos

5.1 Modelo de Elección de Emisiones

Bienestar social: $\sum_{i=1}^{n} \pi_i(e_i) - D(E)$

El problema a resolver por el planificador social:

$$\max_{(e_1,\ldots e_n)} \sum_{i=1}^{n} \pi_i(e_i) - D(E)$$
$$\text{sujeto a } e_i \geq 0 \text{ y } E = \sum_{i=1}^{n} e_i$$

Condiciones necesarias y suficientes:

$$\pi_i'(e_i^*) - D'(E^*) \leq 0, \text{ con igualdad si } e_i^* > 0 \quad (1)$$

Esta condición establece que el nivel eficiente (positivo) de emisiones es aquel en donde los beneficios marginales de contaminar igualan a los daños marginales.

En ausencia de regulación respecto al nivel de emisiones, la firma competitiva maximizará $\pi_i(e)$, eligiendo el nivel de emisiones e_i^u que satisface las siguientes condiciones, las cuales son necesarias y suficientes:

$$\pi_i'(e_i^u) \leq 0, \text{ con igualdad si } e_i^u > 0$$

Comparando la condiciones de primer orden del planificador social y de las firmas competitivas, es fácil ver que si $e_i^u > 0$, en un mercado competitivo sin regulación las firmas producirán más contaminación que la socialmente óptima: $(e_i^u > e_i^*)$

6 Política Ambiental con Información Perfecta

Un planificador social (o un regulador ambiental) interesado en maximizar el bienestar social debe fijar $E = E^* = \sum e_i^*$, tal que $\acute{\pi}_i(e^*) = \acute{D}(E^*)$.

Ésta no es una tarea sencilla.

Pero por el momento nos mantenemos en el enfoque económico clásico (pigouviano), donde el regulador no tiene problemas de información: puede observar la función de daños de la contaminación, la función de beneficios de las firmas y sus niveles de emisiones sin costo.

Esto nos permite presentar los aspectos básicos de los diferentes instrumentos con los que cuenta el regulador para lograr su objetivo, cuando no hay problemas de información asimétrica entre el regulador y las firmas reguladas, y los mercados son competitivos, lo que se hace a continuación.

Se hará hincapié en los límites (o estándares), impuestos y permisos de emisión transferibles.

6.1 Impuestos a las Emisiones

Sea t un impuesto a las emisiones definido como una cantidad de dinero que las firmas deben pagar por unidad (kg., tonelada, etc.) de emisión de un contaminante en particular

Enfrentada a t, la firma i resolverá el siguiente problema:

$$\max_{e_i} \pi_i(e_i) - te_i$$

cuyas condiciones necesarias y suficientes son

$$\pi_i'(e_i^o) - t \leq 0, \text{ con igualdad si } e^o > 0$$

Es fácil ver que si el regulador fija $t = D'(E^*)$, la firma emitirá $e^o = e^*$, de acuerdo con la ecuación 1.

El resultado nos dice que si enfrentamos a las empresas a un impuesto por unidad de emisión igual al daño marginal que la contaminación produce en el nivel de emisiones que maximiza el bienestar, firmas que maximizadoras de beneficios producirán el nivel eficiente de emisiones. La externalidad se internalizará.

El impuesto t es el impuesto "Pigouviano".

6.1.1 Impuestos a las Emisiones y el Largo Plazo

En un mercado competitivo los impuestos pigouvianos proveen los incentivos correctos también en el largo plazo. (Spulber, 1985).

En un contexto de equilibrio general: (1) los niveles del impuesto pigouviano en presencia de otros impuestos distorsionantes deberán ser menores al daño marginal social (Bovenberg and Goulder, 1996), (2) existe el argumento del doble-dividendo

6.2 Subsidios

El regulador le paga a la firma una cantidad de dinero s por unidad de emisión por debajo de un determinado nivel $\overline{e}_i$.

Un esquema lineal: $s(\overline{e}_i - e_i)$

Bajo este esquema, la firma i

$$\max_{e_i \geq 0} \pi(e_i) - s(\overline{e}_i - e_i)$$

Un subsidio $s = D'(E^*)$ hará que la firma emita el nivel óptimo e_i^*.

La diferencia entre un impuesto y un subsidio se da en el largo plazo.

El número de firmas de largo plazo en un esquema de subsidios será mayor al óptimo.

Un subsidio puede aumentar el número de firmas con relación al mercado sin regular y aumentar la contaminación (Ver Baumol y Oates, 1988).

6.3 Permisos de Emisión Transferibles

En lugar de cobrar por unidad de emisión el regulador puede emitir una cantidad de licencias o permisos para contaminar, tal que la cantidad de permisos emitidos sea igual a la cantidad total máxima de emisiones permitidas, fijada por ley.

Cada uno de estas licencias le otorga a la firma que lo posee el permiso legal de emitir una unidad (kg., tonelada, etc.) de un contaminante en particular (NO_x, SO_2, etc.), generalmente durante un período de tiempo determinado (un año, por ejemplo).

Sea $L = \sum_i l_i$ la cantidad de permisos emitidos por el regulador.

Sea l_i^0 la cantidad inicial de permisos en poder de la firma i.

La demanda final de permisos por parte de la firma es $(l_i - l_i^0)$.

Asumiendo $e_i = l_i$,es decir, que la firma cumple con los permisos, el problema que resuelve la firma competitiva es

$$\max_{l_i \geq 0} pq_i(\mathbf{w}, p, l_i) - c(\mathbf{w}, q(\mathbf{w}, p, l_i), l_i) - p^L(l_i - l_i^0)$$

O simplemente

$$\max_{l_i \geq 0} \pi_i(l_i) - p^L(l_i - l_i^0)$$

donde p^L es el precio de mercado de los permisos. La condición necesaria y suficiente de primer orden para el l_i que maximiza beneficios será

$$\pi'_{i'}(l_i) - p^L \leq 0, \text{con igualdad si } l_i > 0 \tag{2}$$

De esta condición surge que si $p^L = D'(E^*)$, $l_i = l_i^*$, o lo que es lo mismo, suponiendo cumplimiento perfecto, $e_i = e_i^*$.

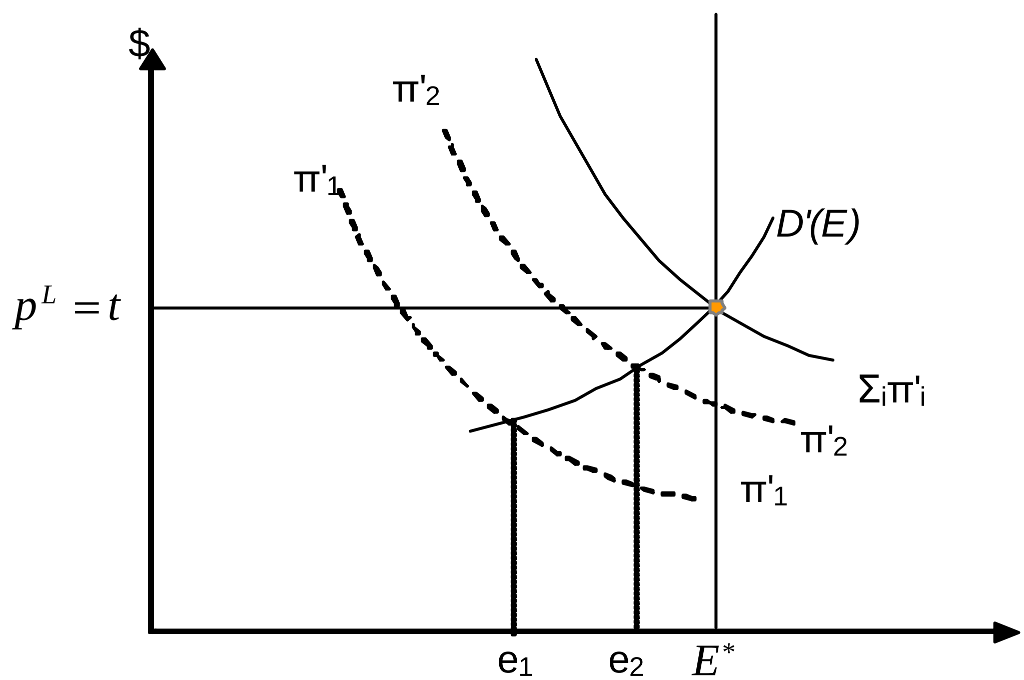
De esta misma condición podemos obtener la función de demanda de permisos por parte de la firma: $l_i(\mathbf{w}, p, p^L)$.

El supuesto de que $l = e$ nos permite definir esta función como $e_i(p^L)$.

Notar que la demanda de permisos por la firma i viene dada por la curva de beneficios marginales de e_i.

Para que se cumpla $p^L = D'(E^*)$, el regulador tiene que emitir $L = E^*$ permisos y el mercado de permisos tiene que alcanzar el equilibrio ($E^* = \sum e_i = \sum l_i$, oferta = demanda). (Ver Figura 1).

FIGURA 1: Equilibrio en el Mercado de Permisos



La Figura 1 también ilustra que el precio resultante del mercado de permisos transables, bajo los supuestos que se hicieron hasta el momento, es igual al impuesto a las emisiones necesario para alcanzar E^*.

6.3.1 En el largo plazo:

Manteniendo nuestro supuesto de cumplimiento perfecto, y asumiendo que las firmas son iguales, todas compran permisos, y que el gobierno remata los permisos al inicio, $p^L = D'(E^*)$ asegura el óptimo social de largo plazo.

Si por el contrario, al inicio del período el gobierno opta por distribuir los permisos entre las firmas sin costo, la condición de cero beneficios será

$$\pi_i(e_i) - p^L(e_i - l_i^0)$$

y habrá beneficios positivos iguales a $p^L l_i^0$ cuando $n = n^*$. Habrá más firmas que n^* en el largo plazo.

Esto no significará más contaminación (bajo el supuesto de cumplimiento perfecto), sino $p^L > D'(E^*)$.

6.4 Regulación de "Mandato y Control"

Este nombre pretende agrupar a todos aquellos intrumentos a través de los cuales el regulador le dice a las firmas directamente qué hacer (ya sea fijarles un límite máximo de contaminación o la obligatoriedad del uso de una determinada tecnología o proceso, de abatimiento o de producción).

En contraposición, con los instrumentos económicos el regulador nunca fija la cantidad máxima de emisiones que una firma individual puede realizar, ni la forma en que la firma debe abatir emisiones o produdir.

6.4.1 Estándares de Emisión

En este caso el regulador especifica el límite máximo de emisiones para cada firma. Sea $\bar{e}_i$ el máximo de emisión permitido para la firma i (estándar).

Será óptimo para la firma emitir hasta el estándar $e = \bar{e}_i$.

Si el regulador fija el estándar $\bar{e}_i = e_i^*$, se alcanzará el óptimo E^*.

6.4.2 Estándar Tecnológico

El regulador también puede fijar un estándar tecnológico. ¿Porqué lo haría? Porque monitorear emisiones es más costoso

Ejemplo: Contaminación "no puntual" (escorrentía de agroquímicos).

Sea α el parámetro que mide el nivel de tecnología y sea $\bar{\alpha}$ el nivel mínimo de tecnología exigido por el regulador.

El problema de la firma en este caso es:

$$\underset{(q_i,\alpha_i)\geq 0}{Max}\, pq_i - c_i(q_i,\alpha_i)$$
$$\text{sujeto a } \alpha_i \geq \bar{\alpha}_i,$$

De las condiciones de Kuhn-Tucker de este problema, (Ver notas) obtenemos que $\alpha_i^o = \bar{\alpha}_i$.

Por lo que $q_i^o = q_i(\bar{\alpha}_i)$,

y por consiguiente $e_i^o = e_i\left[q_i(\bar{\alpha}), \bar{\alpha}\right] = e_i(\bar{\alpha})$.

Si el regulador quiere lograr un nivel e_i^+ de emisiones, tendría que fijar un estándar tecnológico $\alpha_i^+ = e_i^{-1}(e_i^+)$.

Aunque el regulador pueda fijar α ó fijar e y llegar al mismo resultado, comparando las CPO del problema de la firma en ambos casos podemos ver que la combinación de nivel de producción q y nivel de abatimiento α no serán las mismas:

$$1)\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = p - \frac{\partial c_i(q_i^o, \alpha_i^o)}{\partial q_i} - \lambda_i \frac{\partial e_i(q_i^o, \alpha_i^o)}{\partial q_i} = 0$$

$$1)\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = p - \frac{\partial c_i(q_i^o, \alpha_i^o)}{\partial q_i} = 0$$

El término $\lambda_i \partial e_i(q_i^o, \alpha_i^o)/\partial q_i$ que aparece en la primer condición (estándar de emisión) disminuye la cantidad de producto con relación a la situación sin regulación (cuando la empresa produce tal que $p - CMg(q)$).

Cuando se enfrenta a un estándar tecnológico, sí hace: $p - CMg(q) = 0$.

El estándar tecnológico $\bar{\alpha}$ no le otorga ningún grado de flexibilidad a la empresa

El estándar $\bar{e}$ sí: la firma puede producir menos q, en lugar de incrementar el abatimiento, para bajar emisiones

6.5 Externalidades en la Producción

Hasta ahora el análisis hacía referencia a una externalidad que era un mal público y afectaba básicamente a consumidores. Sin embargo, las víctimas de la contaminación pueden ser firmas.

Suponga dos firmas ubicadas en la rivera de un río. La firma 1 está ubicada aguas arriba de la firma 2.

La firma 1 utiliza el insumo x_1 en la producción de su producto de acuerdo a la función de producción $f_1(x_1)$.

La actividad de la firma 1 genera emisiones e_1 de un contaminante dado de acuerdo a la función $h_1(x_1)$.

Sean p_1 y w_1 los precios competitivos del producto y el insumo para la firma 1.

Para la firma 2, que está aguas abajo, su nivel de producción depende no sólo de su insumo x_2, sino también del nivel de emisiones de la firma 1, e_1, de acuerdo a la función de producción $f_2(x_2, e_1)$.

Las emisiones de 1 son una externalidad negativa para la firma 2 $(\partial f_2/\partial e_1 < 0)$.

Sin regulación, la firma 1 resolverá el siguiente problema:

$$\underset{x_1 \geq 0}{max} p_1 f_1(x_1) - w_1 x_1$$

Por ende, la firma utilizará un nivel de insumo x_1^o, tal que $p_1 f_1'(x_1^o) = w_1$.

Tendremos que $e_1 = e_1^o = h_1(x_1^o)$.

La firma 2 toma e como dado y resuelve:

$$\underset{x_2 \geq 0}{Max} p_2 f_2(x_2, e_1^o) - w_2 x_2$$

Eligiendo utilizar la cantidad x_2^o de su insumo, la que determina de acuerdo a $p_2 \partial f_2(x_2^o, e_1^o)/\partial x_2 = w_2$.

Dada esta condición, podemos escribir la elección de la firma 2 en función del nivel de emisiones de la firma $1: x_2^o = x_2^o(e_1^o)$.
¿Es ésta situación eficiente?

Un regulador interesado en maximizar el bienestar va a resolver el siguiente problema:

$$\underset{(x_1,x_2) \geq 0}{Max} [p_1 f_1(x_1) - w_1 x_1] + [p_2 f_2(x_2, e_1) - w_2 x_2] - D(e_1)$$
$$\text{sujeto a } e_1 = h_1(x_1)$$

donde $D(e_1)$ son los daños sociales aparte de los que sufre la firma 2.

El regulador elegirá entonces el par (x_1^*, x_2^*) de acuerdo a las CPO:

$$\begin{aligned} 1) p_1 f_1'(x_1^*) + p_2 \frac{\partial f_2}{\partial e_1} h'(x_1^*) - D'(e_1) h'(x_1^*) &= w_1 \\ 2) p_2 \frac{\partial f_2(x_2^*)}{\partial x_2} &= w_2 \end{aligned}$$

Comparando estas CPO con las de las empresas se puede ver que el regulador podrá usar un impuesto

$$t = p_2 \frac{\partial f_2}{\partial e_1} + D'(e_1)$$

ó un estándar $\overline{e}_1 = h_1(x_1^*) = e_1^*$.

n firmas: Un impuesto, o un estándar uniforme, o un mercado de permisos, puede, en este marco de información perfecta, ser usado por el regulador para alcanzar el óptimo.

Esto se cumplirá para el caso simple de dos firmas aguas arriba/abajo, o en el caso general de un mal público que afecte a todos, incluída la firma que genera contaminación.

References

[1] Mas-Colell, A., M.D. Winston y J. R. Green (1995), "Microeconomic Theory", Oxford University Press.

[2] Spulber, Daniel F. (1985), "Effluent Regulation and Long-Run Optimality", *Journal of Environmental Economics and Management*, **12** (2), June, 103-16.

[3] Stranlund, John (1999), Fundamental Economics of Environmental Policy Design, mimeo.

[4] Xepapadeas, A. (1997), "Advanced Principles in Environmental Policy", New Horizons in Environmental Economics, Edward Elgar.